

---

Gliwice, dn. 04.08.2023 r.

## **RECENZJA**

**pracy doktorskiej mgr inż. Martyny Zemlik pt.**

**"Wpływ obróbki cieplnej stali Hardox i ich połączeń spawanych na odporność na zużywanie ścierne i obciążenia balistyczne"**

### **1. Podstawa opracowania**

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej, Pana Prof. dr hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego z dnia 5 czerwca 2023 r., informującego, że Rada Dyscypliny powołała mnie na recenzenta pracy doktorskiej mgr inż. Martyny Zemlik, w przewodzie prowadzonym w dyscyplinie „Inżynieria Mechaniczna”. Dokumentację otrzymałem w dniu 14.06.2023 r.

### **2. Charakterystyka i układ pracy**

Praca doktorska mgr inż. Martyny Zemlik jest obszernym, monograficznym opracowaniem liczącym 310 stron, dotyczącym analizy wpływu obróbki cieplnej stali trudnościeralnych typu Hardox i ich połączeń spawanych na odporność na zużywanie ścierne i obciążenia balistyczne. Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Dominika Grygier, prof. Uczelni, a promotorem pomocniczym dr inż. Łukasz Konat. Praca mieści się w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna, chociaż w znacznym zakresie porusza zagadnienia typowe dla inżynierii materiałowej. Interdyscyplinarność pracy oceniam jako jej zaletę. Ro zprawa doktorska liczy 9 głównych rozdziałów oraz Wykaz pojęć i Streszczenie w języku polskim i angielskim - zamieszczone na początku pracy oraz Wykaz tabel, Wykaz ilustracji i Bibliografię- zamieszczone w końcowej części opracowania. Spis treści liczący prawie 3 strony jest bardzo rozdrobniony, co z jednej strony porządkuje podjęte zagadnienia, zaś z drugiej strony narzuca encyklopedyczne podejście do analizy niektórych podrozdziałów, które liczą np. pół lub jedną stronę tekstu. Praca napisana jest na dobrym poziomie językowym z relatywnie małą liczbą potknięć językowych i edycyjnych. Praca jest bogato ilustrowana rysunkami i tablicami, a jej szata graficzna jest na bardzo dobrym poziomie.

### 3. Ocena doboru tematyki oraz celu i zakresu pracy

Tematyka odporności na ścieranie stali typu Hardox jest rozwinięciem wieloletnich badań prowadzonych na Politechnice Wrocławskiej przez zespół autorski w składzie: Ł. Konat (promotor pomocniczy rozprawy), Białobrzeska, Napiórkowski, Lemecha i in. Chociaż stale grupy Hardox - oraz podobne składem chemicznym i zastosowaniem stale trudnościeralne innych producentów - są badane od wielu lat widoczny jest ciągły światowy postęp w ulepszaniu ich charakterystyk przeciwzuzyciowych, a także w polepszaniu innych własności materiałowych, takich jak odporność na odkształcenia plastyczne, odporność na pękanie czy odporność korozyjna. Jednym z przykładów nowszych stali tej grupy jest badana w pracy doktorskiej stal Hardox Extreme, przedstawiana jako najtwardsza blacha trudnościeralna o twardości 60 HRC, rekomendowana na płyty wykładzinowe.

Badania wpływu obróbki cieplnej stali Hardox na zużycie ścierne można znaleźć w dostępnej literaturze natomiast podjęte w pracy badania połączeń spawanych z tych stali na odporność na zużywanie ścierne i obciążenia balistyczne oceniam jako trafny wybór kierunku prowadzonych badań i tematyki rozprawy doktorskiej. Oprócz waloru poznawczego tego typu badania mają szeroki aspekt użytkarny, gdyż poznanie tych charakterystyk użytkowych jest bardzo pożądane przez współczesny przemysł wydobywczy, transportowy, rolniczy, metalurgiczny i militarny.

Cel naukowy pracy obejmuje identyfikację budowy fazowej niskostopowych stali martenzytycznych z mikrododatkiem boru poddanych zabiegom obróbki cieplnej po procesach spawania. Cel użytkarny dotyczy opracowania metody obróbki cieplnej połączeń spawanych stali Hardox 450 i Hardox Extreme oraz weryfikację uzyskanych wyników poprzez badania właściwości mechanicznych i odporności na zużywanie ścierne. Tak zdefiniowane cele są jasne i precyzyjnie zdefiniowane. Zakładane odtworzenie mikrostruktury i właściwości mechanicznych w strefie wpływu ciepła i materiału stopiwa połączeń spawanych stwarza możliwość rozszerzenia aplikacyjnego badanych stali o zabudowę balistyczną, czemu poświęcono końcową część pracy.

Postawiona w pracy teza jest poprawnie sformułowana, chociaż w zakresie postulowanego podwyższenia właściwości mechanicznych, odporności na zużywanie ścierne i obciążenia balistyczne brakuje parametrów ilościowych, definiujących zakładane progi referencyjne, np. w odniesieniu do właściwości materiału wyjściowego.

Zakres pracy jest poprawie dobrany do celu rozprawy oraz odpowiada jej tytułowi. W ramach pracy przeprowadzono:

- analizy składu chemicznego oraz opracowano technologię obróbki cieplnej połączeń spawanych,
- badania właściwości strukturalnych połączeń spawanych w oparciu o analizę rozmiaru ziarna austenitu pierwotnego,
- badania właściwości mechanicznych wraz z analizą fraktograficzną przełomów,
- badania odporności na zużycie ścierne połączeń spawanych,
- opracowanie technologii hartowania izotermicznego połączeń spawanych,
- próby balistyczne połączeń spawanych i materiału rodzimego.

Praca wpisuje się w dyscyplinę naukową inżynieria mechaniczna w zakresie wyznaczenia właściwości mechanicznych połączeń spawanych oraz charakterystyk ich odporności na zużywanie ścierne i obciążenia balistyczne.

## **4. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej**

### **4.1. Ocena aktualnego stanu wiedzy**

Aktualny stan wiedzy zamieszczono w rozdziale **1** Wprowadzenie, które zazwyczaj definiuje się jako Przegląd piśmiennictwa / Przegląd literatury, itd. Analiza zagadnienia obejmuje: charakterystykę procesów zużycia tribologicznego, zużywanie ściernie metali i ich stopów, charakterystykę stali trudnościeralnych, wpływ mikrodotadku boru na właściwości stali, właściwości materiałów odpornych na zużywanie ściernie oraz spawalność stali martenzytycznych. Przegląd piśmiennictwa obejmuje 175 poprawnie dobranych pozycji literaturowych, z czego 2 odniesienia stanowią cytowania artykułów z udziałem Autorki rozprawy doktorskiej. Cały spis literatury zawiera 185 pozycji oraz 3 prace współautorstwa mgr inż. Martyny Zemlik. Dobry zakres tematyczny odpowiada tytułowi rozprawy i dobrze wprowadza Doktorantkę do zrealizowania celu pracy.

Przegląd piśmiennictwa jest sporządzony na dobrym i bardzo dobrym poziomie merytorycznym (w zależności od podrozdziału). Na podkreślenie zasługuje bardzo rzetelny opis praktycznie wszystkich stali trudnościeralnych dostępnych na rynku. Autorka precyzyjnie zestawiała składy chemiczne i właściwości mechaniczne stali produkowanych przez poszczególnych wytwórców, zawierając kompleksowe zestawienia tabelaryczne, co zresztą jest typowe dla kolejnych rozdziałów rozprawy doktorskiej. Dobrze opisała zastosowanie poszczególnych gatunków stali i ich dobór na konkretne elementy konstrukcyjne oraz elementy maszyn, pracujące w warunkach zużywania ściernego. Trochę mniej uwagi poświęcono natomiast doborowi stali na elementy opancerzenia i ich warunkom eksploatacji. W opinii Recenzenta w przywołanej literaturze brakuje na pewno monografii autorstwa dr hab. inż. Jarosława Marcisza pt. „Statyczne i dynamiczne właściwości mechaniczne oraz mikrostruktura stali bainitycznych nanostrukturalnych”, Monografia nr **11**, Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice 2018, poświęconej w całości projektowaniu stali na osłony balistyczne.

W spisie literatury jest niestety dosyć dużo błędów literowych, a także związanych z niekonsekwencją cytowania prac, np. zamienne stosowanie pełnych imion i inicjałów, zamienne stosowanie pierwszeństwa nazwiska i imienia, zamienne stosowanie dużych i małych liter w tytułach artykułów, brak inicjałów przy nazwisku, brak wydawnictwa, itd. Niedociągnięcia te wskażę w uwagach końcowych.

Podsumowując uważam, że Przegląd piśmiennictwa napisany jest w stopniu dobrze wprowadzającym czytelnika w tematykę rozprawy, chociaż może brakować podrozdziału podsumowującego tę część pracy, która byłaby dobrym łącznikiem między aktualnym stanem wiedzy a częścią badawczą rozprawy.

### **4.2. Ocena zastosowanej metodyki badawczej**

Materiał badawczy stanowi kilka stali należących do grupy Hardox: 450, 500, 600 oraz Hardox Extreme, z czego zasadniczą część badań poświęconych spawalności oraz właściwościom balistycznym wykonano na stalach typu Hardox 450 - łączącej dużą twardość oraz uduerność w obniżonej temperaturze oraz bardzo twardej stali Hardox extreme. Połączenia spawane wykonano metodą spawania łukiem krytym pod topnikiem, stosując spoiny doczołowe oraz stopiwo

dedykowane do stali niskostopowych o dużej wytrzymałości o podwyższonym stężeniu Ni, Cr i Mo. W części materiałowej zawarto także skromny opis zabiegów obróbki cieplnej zastosowanych dla materiału rodzimego, jak i dla połączeń spawanych. Ta część budzi mój niedosyt, tzn. Autorka nie uzasadniła wyboru metody spawania, a także doboru parametrów obróbki cieplnej złączy spawanych. Zamiast uzasadnienia znajdujemy 2 strony szczegółowych parametrów zamieszczonych w tabelach 30-35 oraz na rys. 29.

W metodyce badań opisano badania: składu chemicznego, metalograficzne mikroskopowe, twardości, własności mechanicznych w statycznej próbie rozciągania, udarności, odporności na zużywanie ściernie oraz balistyczne. Opisy są raczej minimalistyczne za wyjątkiem opisu badań odporności na zużycie ściernie, któremu Autorka poświęciła nieco więcej uwagi, uzasadniając poprawnie np. dobór ścierniwa w postaci glebowej masy ścierniej do testów tribologicznych.

Pomimo minimalistycznego podejścia uważam, że metody badawcze zostały właściwie dobrane do realizacji celu i zakresu pracy.

### **4.3. Ocena uzyskanych wyników badań i ich dyskusji**

Odbiór pracy zdeterminowany jest przez jej objętość. Po jej lekturze stwierdzam, że jest to solidne opracowanie, szczegółowo dokumentujące w postaci graficznej i tabelarycznej uzyskane wyniki badań. Wyniki badań własnych podzielono na 3 główne rozdziały: pierwszy- odnoszący się do badań stali w stanie ich dostarczenia, który stanowi bazę referencyjną do dalszych rozważań; drugi, najbardziej rozległy - dotyczący analizy wyników badań po spawaniu oraz trzeci - zawierający wyniki badań po próbach balistycznych. Autorka w kolejnych rozdziałach programowo zamieszcza wyniki badań mikrostrukturalnych, wytrzymałościowych oraz odporności na zużywanie ściernie.

Największą wartość pracy stanowią dowiedzione korelacje pomiędzy twardością stali, a odpornością na ścieranie w różnych środowiskach. Autorka potwierdziła, że nie zawsze najwyższa twardość stali zapewnia największą odporność na ścieranie, a problem jest bardziej złożony i wymaga np. uwzględnienia zdolności warstwy wierzchniej do umocnienia odkształceniowego i odporności na kruche pękanie oraz zależy od rodzaju ścierniwa. Zidentyfikowała główne mechanizmy zużywania tribologicznego w zależności od poziomu twardości i właściwości warstwy wierzchniej badanych stali, tj. bruzdowanie w stali Hardox 450 i mikroskrwanie w stali Hardox Extreme. Do mocnych stron ocenianej rozprawy doktorskiej zaliczam:

- systematyczne wyniki badań w zakresie odporności na zużywanie ściernie złączy spawanych z użyciem luźnego ścierniwa oraz glebowej masy ścierniej ze zróżnicowaniem jej podtypu (lekka, średnia, ciężka), w zależności od zawartości frakcji piaszczystej, pyłowej i iłowej;
- opracowanie warunków obróbki cieplnej złączy spawanych przywracających właściwości mechaniczne, które uległy degradacji w procesie spawania;
- systematyczne wyniki badań w zakresie odporności balistycznej połączeń spawanych;
- bardzo dobre opracowanie statystyczne wyników badań mikrostrukturalnych, właściwości mechanicznych oraz odporności na zużywanie ściernie;
- dobrą jakość wyników związanych z trawieniem na pierwotne ziarno austenitu, co należy do trudnych technik mikroskopowych.

Konsekwencją bardzo rozdrobnionego spisu treści jest powielanie kolejnych wyników badań w 3 głównych rozdziałach rozprawy. Tak więc, Autorka wielokrotnie analizuje wyniki badań mikrostrukturalnych, obrazu powierzchni oraz przełomy stali po badaniach tribologicznych, wyniki badań własności mechanicznych i odporności na zużycie ściernie. Pojawiają się one kilka razy w odniesieniu do badań w stanie wyjściowym, badań po różnych warunkach austenitowania, badań po odpuszczaniu, itd. Chociaż nie ma idealnego sposobu na skonstruowanie spisu treści, czy kolejność prezentowanych wyników badań, uważam, że to rozdrobnienie treści nie wpłynęło pozytywnie na ich odbiór. Autorka niepotrzebnie prezentuje wszystkie wyniki badań, które wielokrotnie są bardzo zbliżone i analogiczne, a niektóre z nich są oczywiste i mogły zostać pominięte, albo przywołane w kilku zdaniach w odniesieniu do dostępnej literatury, np. dobrze znany wpływ temperatury austenitowania na wielkość ziarna austenitu pierwotnego, wpływ temperatury odpuszczania na twardość, itd. Zapewne znaczna część dziesiątek rysunków i mikrofotografii mogła zostać zamieszczona w atlasie mikrostruktur na końcu rozprawy, a w zasadniczej jej części mogły zostać zamieszczone tylko najbardziej zasadne, krytyczne wyniki badań. Takie syntetyczne podejście ułatwiłoby z pewnością odbiór tej rozprawy. Natomiast jej wysoce analityczna narracja budzi jednoznaczne skojarzenia z raportem z pracy badawczej, gdzie szczegółowo dokumentowane są kolejne wyniki badań.

Ilościowe podejście do prezentacji wyników badań zdominowało w wielu wypadkach jej jakościowy charakter, gdyż w zasadniczych elementach rozprawy przydałaby się bardziej pogłębiona analiza wyników badań i ich dyskusja. Nadmiar materiału graficznego dominuje nad opisem wyników badań, który jest czasami encyklopedyczny, a Autorka pozostawia czytelnikowi interpretację wyników badań poprzez tylko odwoływanie się do licznych rysunków i tabel. W ten sposób zabrakło np. odpowiedniego wyjaśnienia celowości zastosowania izotermicznej obróbki bainitycznej i uzyskanych wyników, a także bardziej pogłębionej analizy i dyskusji wyników badań odporności balistycznej w zakresie tworzenia się adiabatycznych pasm ścinania. Te zagadnienia, w mojej ocenie, miały duży potencjał do dyskusji badawczej, a zostały potraktowane minimalistycznie. Autorka prezentując wyniki badań rzadko odwołuje się do literatury. Niestety podobny styl prezentuje w 6-stronicowym Podsumowaniu, gdzie poziom dyskusji jest umiarkowany, a odwołania do literatury często ograniczają się do formy: „Powyższe wnioski są zgodne z pozycjami literaturowymi [ ], [ ]...”. Na pewno w Podsumowaniu brak jest zestawieniowych schematów prezentujących pewne mechanizmy czy zaobserwowane tendencje w związku ze zgromadzonym, bardzo obszernym materiałem badawczym.

#### **4.4. Uwagi dyskusyjne i szczegółowe**

W toku lektury pracy nasuwają się pewne uwagi krytyczne oraz spostrzeżenia o charakterze polemicznym:

##### **Uwagi krytyczne i polemiczne:**

1/ Autorka opracowała zabiegi i parametry obróbki cieplnej połączeń spawanych regenerujących ich właściwości mechaniczne utracone podczas spawania. W pracy brak jest natomiast jasnej informacji w jaki sposób przywrócenie właściwości mechanicznych odbywa się dotychczas, gdyż stale Hardox

stosowane są na konstrukcje i elementy maszyn wymagające spawania od wielu lat. Ta informacja ułatwiłaby znacznie oszacowanie wkładu Doktorantki w podjęte zagadnienie i określenie wypełnienia istniejącej luki badawczej.

2/ Mimo znacznego materiału graficznego i tabelarycznego oraz rozpiętości rozprawy brak jest podsumowujących wykresów / schematów, systematyzujących w jasny sposób (najkorzystniej ilościowy) rodzaj i wkład mechanizmów zużywania tribologicznego w badanych stalach o mniejszej i większej twardości. W analogiczny sposób warto podsumować wyniki badań mikroskopowych dla przeprowadzonych prób balistycznych przy ostrzale z użyciem amunicji pośredniej i karabinowej.

3/ W rozdziale 6 zawarto liczne mikrofotografie zatytułowane: Mikrostruktura połączenia spawanego z ujawnionymi granicami ziaren byłego austenitu ... Natomiast oprócz granic ziarn znacząca część tych mikrofotografii przedstawia perlit o ułożeniu pasmowym (np. na rys. 72, 107) lub izolowanych ziarn (np. rys. 74, 75, 76, 83, 84, 90, 91, 97, 98, 104, 109, 110, 111, 112, 162, 163). Wyjaśnienia wymaga skąd tak znaczny udział perlitu na tych mikrofotografiach. Dodatkowe zamieszczenie wprowadza fakt, że część zdjęć jest przedstawiana po wyżarzaniu normalizującym (np. rys. 73, 87, 94, 101, 108), gdzie mogą się pojawiać mikrostruktury ferrytyczno-perlityczne. Biorąc po uwagę, że ferryt zarodkuje na granicach ziarn byłego austenitu - nie wiadomo, czy prezentowane granice ziarn stanowią ziarna austenitu pierwotnego czy są to granice ziarn powstałego ferrytu. Generalnie nie ujawnia się granic ziarn austenitu pierwotnego dla struktur poddanych normalizowaniu. Dodatkowo należy wziąć pod uwagę, że perlit powstaje dopiero po zakończeniu dyfuzyjnej przemiany austenit - ferryt i jego kolonie zdeterminowane są rozrostem ziarn ferrytu. Zidentyfikowany perlit nie uwidacznia więc pierwotnych granic austenitu. Zagadnienie to wymaga wyjaśnienia.

4/ W pracy wiele miejsca zajmują mikrofotografie ujawniające granice ziarn austenitu pierwotnego. Należy zwrócić uwagę na dobrą ich jakość, np. naturalnie wyglądające obrazy na rys. 35. Czy w innych wypadkach (np. rys 52 i liczne mikrofotografie w rozdziale Wyniki badań własnych - część II) jest to jedynie wynik trawienia czy była stosowana jakaś dodatkowa obróbka graficzna?

5/ W rozdziale 6.6 przedstawiono liczne mikrofotografie SEM przedstawiające Mikrostruktury połączenia spawanego w stanie dostarczenia (bezpośrednio po spawaniu) ... (np. rys. 121, 122, 123, 126, 127). Autorka zidentyfikowała te mikrostruktury jako: ferryt płytkowy, sorbit, troostyt. W opinii Recenzenta na tych mikrofotografiach widoczne są wyspy typu MA (martenzytyczno-austenityczne) z austenitem szczątkowym ujawniającym się na obrazach SEM jako jasne obszary. Najbardziej ewidentny przykład to blokowe ziarna o ostrych krawędziach na rys. 126b. Czy Autorka zidentyfikowała mikrostruktury pod kątem obecności austenitu szczątkowego ?

6/ W rozdziale 3.3. Zabiegi obróbki cieplnej Autorka nie wyjaśniła doboru parametrów oraz celowości / motywacji przeprowadzenia zabiegu hartowania izotermicznego. W podrozdziale 6.10 przeszła natomiast rutynowo do krótkiego omówienia uzyskanych wyników badań (w kontekście twardości, mikrostruktury, właściwości mechanicznych, udarność, odporności na zużycie ścierne) mimo znacznego, zgromadzonego materiału graficznego i tabelarycznego. Brak jest w pracy pogłębionej analizy i jasnej końcowej konkluzji, co dały przeprowadzone badania z zastosowaniem wytrzymałości izotermicznego.

7/ W rozdziale 7 zgromadzono obszerny materiał mikroskopowy dokumentujący wyniki badań odporności balistycznej, w której udokumentowano występowanie adiabatycznych pasm ścinania (np. rys. 283, 289, 294, 301, 313, 318, 321, 324), jako efekt wystąpienia obciążeń dynamicznych. Analiza zagadnienia w zasadzie sprowadza się do określenia, że mogły one stanowić źródło inicjujące proces dekohezji. Brak pogłębionej analizy tego zjawiska jest na pewno niedociągnięciem pracy, gdyż mogłoby być jednym z ciekawszych wątków i wypełnieniem luki badawczej w tym zakresie. Nie wykorzystano także dostępnych źródeł literaturowych do głębszej dyskusji tego zjawiska. Wymagany jest komentarz w tej sprawie.

8/ W podrozdziale 6.10.3, we Wnioskach (s.270), a także w kilku innych miejscach rozprawy Autorka używa określenia „martenzyt zblokowany (martenzyt hartowania)”, szczególnie w odniesieniu do mikrostruktur uzyskanych po wygrzewaniu izotermicznym w zakresie temperatury 350-250°C. W opinii Recenzenta bardziej poprawne jest użycie „martenzyt blokowy”, co wskazuje bardziej właściwie na jego postać, w odróżnieniu od słowa „zblokowany”, co może niewłaściwie kojarzyć się z kotwiczeniem, blokowaniem, itd. Czy Doktorantka może wyjaśnić mechanizm jego tworzenia w odniesieniu do mikrostruktur wyżarzanych izotermicznie? Jak jest jego odniesienie do tzw. martenzytu świeżego (z ang. fresh martensite) tworzącego się często w stalach bainitycznych?

9/ W Podsumowaniu oraz we Wnioskach użyto stwierdzenia: ... pewna doza plastyczności materiału jest wskazana w celu zapewnienia wysokiej odporności na zużywanie ścierne ... (s.267) oraz ... materiały charakteryzujące się pewną dozą plastyczności ... (s.269). To ogólne stwierdzenie w żadnym aspekcie nie jest właściwym określeniem inżynierskim i naukowym. Mimo przeprowadzenia szerokich badań nie posłużono się w tym wypadku żadnym parametrem materiałowym i wskaźnikiem właściwości mechanicznych, aby wyrazić te spostrzeżenia w sposób ilościowy.

#### **Inne uwagi szczegółowe i edycyjne:**

- Autorka często używa określeń: wydzielanie, wydzielenia ... na określenie obecności ferrytu, perlitu, martenzytu, np. wydzielanie ferrytu (s.48); ... w celu wydzielenia licznych ziaren perlitu .. (s.52); wyspowe wydzielenia martenzytu hartowania (s.153); wydzielenia ferrytu listwowego (s.153); wydzielenia ferrytu ziarnistego (s.158). Recenzent zwraca uwagę, że użyte zwroty nie należą do wydzieleni, a są to fazy lub składniki strukturalne powstające w wyniku przemian fazowych, dyfuzyjnych lub bezdyfuzyjnych, a nie w wyniku wydzielania, jak np. węgliki, azotki, tlenki, itd;
- Brak wyjaśnienia umiejscowienia karbu w próbkach udarnościowych wykonanych z połączeń spawanych (rys. 28);
- „Do każdej grubości blachy oddano 15 strzałów, po 5 w strefie materiału spoiny, strefie wpływu ciepła oraz w materiale rodzimym.” (s.75). Nie wyjaśniono w jaki sposób oddano te strzały, biorąc pod uwagę mały obszar poszczególnych stref, a szczególnie strefy wpływu ciepła;
- Brak wyjaśnienia skrótu BSE w Wykazie pojęć (s.71);
- Czy stal zawierająca 0,28% wag. C można zaliczyć jako stal niskowęglową (s.79)?
- W wielu miejscach nie sprecyzowano czy chodzi o %wag. czy o %at., np. s.9, s.45, s.49;

- „Bor w każdym przypadku występuje w typowym dla niskostopowych stali średniowęglowych stężeniu (0,002%) ... "(s.79); W stali Hardox 500 jego stężenie jest ponad 3-krotnie niższe (tabela 40);
- W jaki sposób na rys. 34 możliwe jest rozróżnienie martenzytu hartowania od martenzytu niskoodpuszczonego (s.80);
- Błędy literowe (szczególnie w rozdziale Wprowadzenie), np. musza być ... zamiast muszą być ... (s.16); są głównie ... zamiast są głównie ... (s.24); na krawędzia tnące ... zamiast na krawędzie tnące (s.33); obserwuję się ... zamiast obserwuje się ... (s.47); Osobnym problemem jest ... zamiast Osobnym problemem jest ... (s.57); ... którą wytwórca określa ją wiodącą ... zamiast którą wytwórca określa jako wiodącą ... (s.65); ... wykazują strukturę ... zamiast wykazuje strukturę ... (s.265);
- Co oznacza sformułowanie rozrośnięty martenzyt (s.55);
- ... w czasie 3-4-krotnie wyższym ... Powinno być: ... w czasie 3-4-krotnie dłuższym (s.60).

#### ***Niekonsekwencja sposobu cytowania:***

- Pierwszeństwo nazwiska: pozycje 1, 14, 31, 184.
- Pełne imię zamiast przyjętych w pracy inicjałów: pozycje 1, 184.
- Niepoprawne inicjały imienia: pozycje 6, 37, 48, 49, 86, 87, 112.
- Duże litery tytułów: pozycje 21, 67, 98, 103, 114, 165, 182.
- Brak autorów: pozycja 96.
- Brak imienia: pozycja 153.
- Brak wydawnictwa: pozycja 181.

#### **5. Podsumowanie i wniosek końcowy**

Do najważniejszych osiągnięć pracy doktorskiej mgr inż. Martynty Zemlik zaliczam wkład do dyscypliny inżynieria mechaniczna w zakresie zidentyfikowania mechanizmów zużycia tribologicznego w warunkach różnego typu ścierniwa luźnego i głębokiego w połączeniach spawanych ze stali martenzytycznych o różnym poziomie twardości oraz określenie odporności balistycznej złączy spawanych poddanych zaprojektowanej obróbce cieplnej. Autorka w bardzo systematyczny sposób zaprojektowała i przeprowadziła szeroki zakres badań, które poprzez dobór odpowiedniej metodyki badawczej pozwoliły Jej rozwiązać zidentyfikowany problem naukowy.

Rozwiązanie problemu naukowego wymagało opanowania wiedzy teoretycznej z zakresu mechanizmów zużycia tribologicznego, spawalnictwa oraz projektowania obróbki cieplnej stali, metodycznego prowadzenia eksperymentu przy użyciu poprawnie dobranej aparatury naukowo-badawczej oraz umiejętności prowadzenia pracy naukowej i wyciągania właściwych wniosków. Stwierdzam, że opiniowana praca doktorska spełnia wymagania określone w obowiązującej ustawie: Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2022, poz. 574 z póź. zm.), wobec czego wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie mgr inż. Martynty Zemlik do publicznej obrony.

