

Prof. dr hab. inż. Sebastian Mróz

Częstochowa, 24.10.2019 r.

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia .....2.8.10.2019..

nr 133/D1006/zaf. ....19120

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Kozłowskiej

pt.: „*Wpływ temperatury na indukowaną odkształceniem przemianę martenzytyczną w wysokowytrzymałych stalach wielofazowych*” – wykonana na zlecenie Dziekana

Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej

w Gliwicach z dnia 25 września 2019 r.

Od kilkunastu lat można zaobserwować coraz większe zainteresowanie nowymi wysoko wytrzymałymi stalami wielofazowymi charakteryzującymi się zarówno wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi oraz korzystną plastycznością. Do grupy zaawansowanych wysokowytrzymałych stali (AHSS) zalicza się stale DP, TRIP, TWIP, CP oraz stale martenzytyczne typu MART. Rozwój wymienionych powyżej grup stali związany jest nieodzownie z branżą motoryzacyjną, w której to poszukuje się nowych rozwiązań konstrukcyjnych zapewniających redukcję masy pojazdów przy jednoczesnym zwiększeniu bezpieczeństwa biernego użytkowników. Redukcja masy pojazdów przekłada się również na mniejsze zużycie paliwa, co wpływa na ograniczenie zanieczyszczenia środowiska naturalnego.

Do jednej z grup stali wielofazowych można zaliczyć stale typu TRIP z austenitem szczątkowym, które ulegają umocnieniu podczas odkształcenia plastycznego w wyniku przemiany martenzytycznej fazy  $\gamma$ . Pomimo, że w specjalistycznej literaturze dostępnych jest bardzo duża liczba publikacji dotyczących wymienionych powyżej nowych rodzajów stali, to brak jest kompleksowego podejścia, dzięki któremu możliwe będzie usystematyzowanie badań naukowych określających wpływ temperatury odkształcenia na indukowaną odkształceniem przemianę martenzytyczną. Badania takie podjęła Autorka rozprawy doktorskiej. Stąd też tematykę pracy należy uznać za uzasadnioną i bardzo aktualną.

Recenzowana praca składa się ze streszczenia w języku polskim oraz angielskim, wstępu, pięciu rozdziałów oraz spisu literatury zamieszczonych na 173 stronach maszynopisu. Przyjęta struktura pracy jest właściwa, a badania własne i ich analiza stanowią ponad 60% całej objęto-

ści pracy. Cytowana literatura (227 pozycji) jest bardzo aktualna, a sam dobór literatury jest jak najbardziej adekwatny do tematyki rozprawy. Znaczna liczba publikacji dotycząca analizowanych zagadnień potwierdza również aktualność tematyki badawczej podjętej przez Doktorantkę. Bibliografia w głównej mierze składa się z najnowszych pozycji światowej literatury, które zostały opublikowane w czasopiśmie charakteryzujących się wysokim IF w okresie ostatnich 10 lat. W siedmiu pozycjach Doktorantka występuje jako współautor, również w czasopiśmie indeksowanych w bazie JCR.

Przed postawieniem tezy pracy, w przeglądzie literatury, Autorka bardzo szczegółowo omówiła wielofazowe stale o wysokiej wytrzymałości z austenitem szczątkowym, a następnie wyjaśniła teoretyczne podstawy przemiany martenzytycznej indukowanej odkształceniem, która jest podstawą umocnienia analizowanych grup stali. Szczególną uwagę Autorka zwróciła na publikacje dotyczące wpływu temperatury na właściwości mechaniczne analizowanych stali wielofazowych, podkreślając, że istnieją tylko szczątkowe informacje dotyczące wpływu tego parametru na przemianę martenzytyczną w stalach wielofazowych. Niestety w rozdziale dotyczącym przeglądu literatury brak jest podsumowania, w którym to Doktorantka mogłaby uzasadnić główne kierunki i konieczność przeprowadzenia badań w analizowanej tematyce rozprawy. Podsumowanie takie można znaleźć nietypowo we wprowadzeniu do celu i tezy pracy (Rozdział 3.1) oraz we wprowadzeniu do omówienia i dyskusji wyników badań (Rozdział 4). Pomijając fakt braku wyszczególnionego podsumowania w przeglądzie literatury stwierdzam, że przegląd ten został wykonany bardzo starannie wskazując trendy prowadzonych badań naukowych w światowych ośrodkach badawczych.

Tezę pracy stanowi stwierdzenie, że *„wzrost temperatury odkształcenia (...) ma wpływ na zwiększenie stabilności austenitu szczątkowego i własności mechaniczne stali wielofazowych przez dominujący mechanizm umocnienia oraz stężenie Mn w stali.”* Tak postawiona teza jest w pełni uzasadniona w kontekście zrealizowanych badań.

Główny cel pracy zdefiniowano jako *„... określenie wpływu temperatury na indukowaną odkształceniem przemianę martenzytyczną oraz zależności pomiędzy mikrostrukturą a własnościami mechanicznymi w wysokowytrzymałych stalach wielofazowych z metastabilnym austenitem szczątkowym.”* Należy stwierdzić, że wykonane przez Autorkę badania były jednoznacznie ukierunkowane na zrealizowanie założonego celu pracy.

Dla osiągnięcia celu i udowodnienia tezy pracy Doktorantka zrealizowała bardzo szeroki zakres badań doświadczalnych:

- walcowania blach stalowych z wytypowanych stali typu 1,5Mn, 3Mn oraz 5Mn, które należą do pierwszej i trzeciej generacji stali AHSS,
- statycznej próby rozciągania próbek wyciętych z odwalcowanych blach dla bardzo szerokiego zakresu temperatur (od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $200^{\circ}\text{C}$ ),
- kompleksowych badań strukturalnych i rentgenograficznych.

Należy tutaj podkreślić zastosowanie przez Doktorantkę najnowszej aparatury naukowej oraz wielu technik badawczych dających możliwość wzajemnego uzupełnienia, co umożliwiło kompleksowe ujęcie analizowanego tematu. Wykonane eksperymenty przeprowadzono bardzo starannie, co umożliwiło otrzymanie interesujących wyników.

Najbardziej wartościowymi rozdziałami pracy są rozdział 3.4 Wyniki badań i ich omówienie oraz rozdział 4 Omówienie i dyskusja wyników badań. Przedstawione wyniki i ich analiza w sposób kompleksowy pozwoliła określić wpływ temperatury odkształcenia, od zakresu temperatur ujemnych ( $-60^{\circ}\text{C}$ ) aż po temperatury podwyższone ( $200^{\circ}\text{C}$ ), na udział fazy  $\gamma$ . Niewątpliwą nowością pracy jest również określenie wpływu zawartości manganu na ewolucje mikrostruktury i właściwości mechanicznych blach wykonanych z różnych gatunków stali TRIP dla analizowanego zakresu temperatur. Przedstawione wyniki badań mają dużą wartość poznawczą. Należy również podkreślić, że dogłębna analiza w wielu przypadkach jest podparta poprzez cytowaną literaturę.

Praca zakończona jest wnioskami. W rozdziale tym w syntetyczny sposób mgr inż. Aleksandra Kozłowska przedstawiła i potwierdziła nowość otrzymanych wyników badań i ich poznawczy charakter określający wpływ temperatury odkształcenia oraz zawartości manganu w badanych stalach na ewolucję mikrostruktury oraz dominujący mechanizm umocnienia. Otrzymane wyniki badań potwierdziły zrealizowanie ambitnego celu oraz umożliwiły jednoznaczne potwierdzenie postawionej tezy pracy.

#### **Uwagi do pracy:**

Praca została przygotowana bardzo starannie, poprawnie pod względem redakcyjnym i językowym, jednakże Autorka nie ustrzegła się pewnych nieścisłości, a niektóre zagadnienia nie zostały wyjaśnione w sposób wyczerpujący:

### I. Uwagi o charakterze ogólnym:

- 1) Str. 11: proszę o wyjaśnienie stwierdzenia „Czynnik temperaturowy występuje podczas kształtowania technologicznego taśm dla motoryzacji oraz jest generowany podczas ich odkształcenia w trakcie ewentualnej kolizji drogowej z dużą szybkością. W powyższych przypadkach podwyższenie temperatury odkształcanego metalu następuje w wyniku oddziaływania tarcia.” O jakie tarcie chodzi?
- 2) Zastosowana statyczna próba rozciągania do określenia wpływu temperatury odkształcenia na przemianę martenzytyczną nie odpowiada praktycznie żadnym procesom kształtowania plastycznego blach (głównie tłoczenie) oraz ewentualnej kolizji drogowej, dla których, zgodnie z rys. 27, zakres prędkości odkształcenia jest o wiele większy. Stąd też dodatkowy efekt cieplny wynikający z pracy odkształcenia w statycznej próbie rozciągania jest nieznaczny;
- 3) Str. 62, w zdaniu „Badania strukturalne prowadzono głównie w zakresie temperatury 20-200°C, jako zakres temperatury symulujący warunki przetwarzania taśm stalowych oraz występujący podczas kolizji drogowych.” Dla zakresu kolizji drogowych zakres ten powinien obejmować również temperaturę w rozszerzonym zakresie od -20°C;
- 4) Proszę o wyjaśnienie dlaczego dla próbek ze stali 1,5Mn zastosowano inny schemat odkształcenia (grubość końcowa), w porównaniu do próbek ze stali 3Mn i 5Mn? To wpłynęło na różny stosunek szerokości do wysokości próbek zastosowanych w próbach rozciągania?
- 5) Proszę o komentarz, jak wyjaśnić różnice w wartościach udziału austenitu szczątkowego  $A_{sz}$ , które zamieszczono w tablicach 12 i 13. Prawdopodobnie różnica wynika z zastosowanej metody badawczej RTG – udział  $A_{sz}$  określono metodą pośrednią i EBSD. Jeżeli tak, to które wyniki są prawidłowe?
- 6) Tablica 10, dokładność pomiaru może spowodować, że otrzymane wyniki dla wszystkich wariantów były takie same;
- 7) Proszę zdefiniować, który zakres  $Rp_{0,2}/R_m$  jest korzystny?

### II. Uwagi o charakterze szczegółowym:

- 1) Autorka używa terminu *szybkość odkształcenia*, powinno być *prędkość odkształcenia*;
- 2) Autorka używa terminu *taśmy*, powinno być *blachy cienkie* (w kręgu);
- 3) Podpis rys. 12, jest „Schemat wytwarzania stali średniomanganowej...”, na rys. przedstawiono schemat wytwarzania blach cienkich ze stali średniomanganowej;

4) Str. 67, jest „... odpowiadającej zapoczątkowaniu się szyjki w próbce.” próbki były płaskie, pojawiało się przewężenie.

#### **Wnioski końcowe:**

Biorąc pod uwagę aktualność doboru tematu, który ma bardzo istotne znaczenie poznawcze, właściwą i wartościową tezę rozprawy, która została w pełni udowodniona, a także umiejętności Doktorantki, która:

- wykazała bardzo dobre opanowanie warsztatu naukowego w inżynierii materiałowej,
- potrafiła zastosować wiele nowoczesnych metod badawczych do analizy struktur w zdefiniowanych stalach, co umożliwiło poszerzenie wiedzy w zakresie wpływu temperatury odkształcenia oraz zawartości manganu na ewolucję mikrostruktury oraz mechanizm umocnienia,
- sformułowała poprawne i wartościowe wnioski wynikające z wyników bardzo szerokiego zakresu badań doświadczalnych, stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska pt.: *„Wpływ temperatury na indukowaną odkształceniem przemianę martenzytyczną w wysokowytrzymałych stalach wielofazowych z wykorzystaniem przeróbki plastycznej”* spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez ustawę o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Aleksandrę Kozłowską do publicznej obrony.

