

Prof. dr hab. inż. Jan Sieniawski
Katedra Nauki o Materiałach
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechnika Rzeszowska
ul. Żwirki i Wigury 4, 35-959 Rzeszów

Rzeszów, 19 sierpnia 2022 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. GABRIELI FOJT-DYMARY pt. „Strukturalne i mechaniczne czynniki ciągliwości na gorąco stali wysokomanganowych”. Podstawa opracowania recenzji: pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej nr RMTiMa. RMT. 512.10.2022 r z dnia 5 lipca 2022 r.

Ogólna charakterystyka rozprawy

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Gabrieli Fojt-Dymary pt. „Strukturalne i mechaniczne czynniki ciągliwości na gorąco stali wysokomanganowych” stanowi obszernie opracowanie charakteryzowanych zagadnień uściślonych w jej tytule. Dotyczy opracowania warunków procesów wytwarzania i przetwarzania dwóch gatunków wysokomanganowej stali austenitycznej: 27Mn-4Si-2Al-Nb i 24Mn-3Si-1,5Al-Ti, analizy ich składu chemicznego i fazowego oraz charakteryzacji morfologii składników fazowych ich mikrostruktury kształtowanej zabiegami obróbki cieplnej i cieplno-plastycznej, także ich oddziaływania na właściwości mechaniczne w wysokiej temperaturze determinującej jej plastyczność w warunkach produkcji przemysłowej blach na elementy konstrukcji dla motoryzacji.

Stal wysokomanganowa znajduje obecnie szerokie zastosowanie w produkcji elementów podzespołów i zespołów konstrukcji samochodów przede wszystkim ich karoserii ze względu na dobre właściwości wytrzymałościowe oraz dużą zdolność do pochłaniania energii. Umożliwia zwiększenie bezpieczeństwa pasażerów przy jednoczesnym uwzględnieniu kryteriów bezpieczeństwa jak również kryterium ekonomiczności ich produkcji.

Szczególne znaczenie, w pracach realizowanych w ośrodkach naukowo-badawczych, mają obecnie zagadnienia dotyczące określenia warunków procesu ciągłego odlewania półwyrobów stali wysokomanganowej oraz jej obróbki cieplno-plastycznej

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 22 SIE 2022
RDiMa (RMT) 16.315.12022
nr zał. 2 egzempl.

prowadzących do zwiększenia jej plastyczności w wysokiej temperaturze oraz ograniczających jej skłonność do inicjacji i propagacji pęknięć.

Analiza danych literaturowych charakteryzujących proces ciągłego odlewania, w warunkach prowadzących do zmniejszenia objętości względnej wtrąceń niemetalicznych w stali wysokomanganowej jak również jej obróbkę cieplno-plastyczną, wskazuje na ograniczenie bądź brak wyników badań w tym zakresie. Dotyczą w szczególności oddziaływania składu chemicznego i fazowego, zawartości austenitu i średniej średnicy jego ziarna w wysokiej temperaturze $>1100^{\circ}\text{C}$ na mechanizmy odkształcenia plastycznego i stopień umocnienia warunkujące zapewnienie wymaganej plastyczności tej stali w procesach jej wytwarzania i przetwarzania. Jednocześnie wskazują, że w obszarze badań dotyczących oceny plastyczności stali wysokomanganowej i w ustaleniu stopnia synergii oddziaływania czynników charakteryzujących jej strukturę i mikrostrukturę, mechanizmów odkształcania plastycznego i umocnienia oraz czynników technologicznych procesów wytwarzania jest wiele sprzeczności w ocenie ich wpływu. Stąd w mojej ocenie zagadnienia naukowo-badawcze podjęte w opiniowanej rozprawie doktorskiej są aktualne w inżynierii materiałowej i w pełni uzasadnione.

Ocena rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Gabrieli Fojt-Dymary pt. „Strukturalne i mechaniczne czynniki ciągliwości na gorąco stali wysokomanganowych” dotyczy opracowania składu chemicznego dwóch gatunków stali: 27Mn-4Si-2Al-Nb i 24Mn-3Si-1,5Al-Nb-Ti należących do grupy austenitycznej stali wysokomanganowej oraz ustalenia jego wpływu jak również warunków procesu odlewania ciągłego, obróbki cieplnej i cieplno-plastycznej na morfologię składników fazowych ich mikrostruktury (uwzględnienie segregacji i oddziaływania pierwiastków stopowych i wtrąceń niemetalicznych, mechanizmów odkształcania plastycznego) na właściwości mechaniczne szczególnie plastyczność tej stali w wysokiej temperaturze ($>1000^{\circ}\text{C}$).

Wytwarzanie wlewka, przede wszystkim kształtowanie morfologii składników fazowych jego mikrostruktury w warstwie wierzchniej podczas odlewania ciągłego, także w kolejnych procesach jego przetwarzania (obróbka cieplna i cieplno-plastyczna) przebiega w założonych warunkach termodynamicznych, również w złożonym stanie naprężenia i odkształcenia. Stwierdzam, że w przedstawionej do recenzji rozprawie uwzględniono szeroki i wyczerpujący zakres badań dotyczących wpływu składu chemicznego (gatunki stali: 27Mn-4Si-2Al-Nb i 24Mn-3Si-1,5Al-Nb-Ti) na morfologię mikrostruktury stali o dużej zawartości manganu, także na mechanizmy jej odkształcania plastycznego i umocnienia. Oddziałują one w synergii z opracowanymi procesami technologicznymi, przyjętymi w realizowanych zadaniach badawczych i prowadzącymi

do uzyskania dobrej ich plastyczności w wysokiej temperaturze niezbędnej dla ustalenia warunków poprawnie prowadzonego procesu produkcyjnego blach dla motoryzacji.

Treść opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Gabrieli Fojt-Dymary (stron 166) podzielona jest na 5 rozdziałów i uzupełniona wykazem literatury oraz najważniejszych oznaczeń i skrótów, spisem tablic i rysunków, także streszczeniem pracy w języku polskim i angielskim. Zawiera 136 rysunków i 7 tablic oraz wykaz 239 pozycji literatury. Rozprawa została przygotowana w konwencjonalnej formie – przedstawiono przegląd piśmiennictwa z zakresu jej tematyki, sformułowano tezy oraz zakres i cel realizowanych zadań badawczych. Scharakteryzowano następnie i poddano analizie uzyskane wyniki badań własnych oraz dokonano ich podsumowania i sformułowano wnioski.

Wprowadzenie do zagadnień omawianych w rozprawie doktorskiej zawarto we *Wstępie* i 2. rozdziale (*Przegląd piśmiennictwa*). We *Wstępie* przedstawiono główne problemy związane z procesami wytwarzania i przetwarzania wysokomanganowej stali austenicznej do zastosowania w motoryzacji. Problematykę rozprawy przedstawiono w rozdziale 2. (*Przegląd piśmiennictwa*). Omówiono ogólną charakterystykę austenicznej stali wysokomanganowej: TRIP (ang. *Transformation Induced Plasticity*), TWIP (ang. *Twinning Induced Plasticity*) i TRIPLEX. Podano ogólną charakterystykę tej stali w zakresie fizyki odkształcania plastycznego i oceny jej plastyczności w wysokiej temperaturze. Również wyróżniono czynniki strukturalne i technologiczne z podaniem stopnia ich oddziaływania na inicjację i propagację pęknięć z uwzględnieniem m.in. zjawiska kawitacji międzykrystalicznej, poślizgu ziaren wzdłuż ich granic. Na dobrym poziomie scharakteryzowano mechanizmy odkształcania plastycznego i umocnienia stali austenicznej oraz możliwości kształtowania właściwości mechanicznych i użytkowych wytwarzanych wyrobów z tej stali. Podano istotne zagadnienia z tego obszaru technik wytwarzania. Wyodrębniono czynniki strukturalne stali wysokomanganowej intensywnie oddziałujące na mechanizmy odkształcania plastycznego i umocnienia występujące w gatunkach stali tej grupy. Dokonano charakteryzacji występujących zjawisk oraz właściwości fizycznych i mechanicznych oddziałujących na przebieg ich procesu technologicznego (zdrowienie i rekrytalizacja, plastyczność w wysokiej temperaturze odkształcania, kruchość, inicjacja i rozwój pęknięć międzykrystalicznych). Omówiono również defekty struktury krystalicznej mające szczególny wpływ na plastyczność stali wysokomanganowej w wysokiej temperaturze $>900^{\circ}\text{C}$. Wyodrębnienie czynników materiałowych i technologicznych było podstawą opisu problemu badawczego i celu rozprawy. Stanowią dobrą podstawę odniesienia do analizy wyników badań własnych.

W rozdziale 3. *Badania własne* przedstawiono zakres i cele rozprawy oraz sformułowano tezę: „*Synergia oddziaływania prawidłowo zmodyfikowanych wtrąceń niemetalicznych, drobnoziarnistego austenitu zrekrystalizowanego dynamicznie oraz wprowadzonego mikrododatku ograniczającego występowanie szkodliwych wtrąceń typu*

AlN i MnS-AlN wpłynie na poprawę ciągliwości na gorąco stali wysokomanganowych”. Stosowano w badaniach dwa gatunki stali wysokomanganowej: 27Mn-4Si-2Al-Nb i 24Mn-3Si-1,5Al-Nb-Ti. Dla przyjętej hipotezy badawczej i celu pracy ustalono prawidłowo skład chemiczny stali o dużej zawartości manganu (27 i 24%) oraz stężenie pozostałych pierwiastków stopowych (Si, Al, Nb i Ti). Uznaję, że podjęte zadania badawcze cechuje duża złożoność, szczególnie procesów wytwarzania stali (odlewanie ciągle i jej obróbka cieplno-plastyczna oraz obróbka cieplna) jak również w charakteryzowaniu jej właściwości fizycznych i mechanicznych w wysokiej temperaturze. Stwierdzam w ocenie tej części pracy prawidłowe zdefiniowanie celu naukowego rozprawy, jak również poprawne przyjęcie metod badawczych dla scharakteryzowania właściwości fizycznych i mechanicznych wytwarzanych materiałów.

Wyniki badań własnych przedstawiono w rozdziale 4. *Wyniki badań i ich analiza.* Omówiono warunki procesu wytwarzania przyjętych do badań gatunków stali wysokomanganowej: 27Mn-4Si-2Al-Nb i 24Mn-3Si-1,5Al-Nb-Ti oraz procesów obróbki cieplno-plastycznej i obróbki cieplnej. Ustalono wpływ technologii badanych gatunków stali na ich plastyczność w wysokiej temperaturze >1000°C. Określono wpływ składu chemicznego stali na skład fazowy i morfologię składników fazowych mikrostruktury oraz jej plastyczność na gorąco. Wyniki badań mikroskopowych metodami mikroskopii świetlnej i elektronowej, metodami dyfrakcji rentgenowskiej oraz próby statycznej rozciągania i próby odkształcania w warunkach realizowanej obróbki cieplno-plastycznej, również dla oceny podatności do pękania wysokotemperaturowego, były podstawą do ustalenia stopnia korelacji warunków procesów odlewania ciągłego stali i jej obróbki cieplno-plastycznej oraz obróbki cieplnej oddziałujących na ukształtowaną morfologię składników fazowych jej mikrostruktury podczas ich realizacji, także determinujących ich właściwości plastyczne w wysokiej temperaturze.

Analiza uzyskanych wyników badań z zastosowaniem metod transmisyjnej i skaningowej mikroskopii elektronowej umożliwiła Doktorantce ustalenie sekwencji przemian fazowych silnie oddziałujących na morfologię składników fazowych mikrostruktury badanych gatunków stali wysokomanganowej oraz jej podatność do odkształcenia plastycznego w procesach odlewania ciągłego oraz przeróbki cieplno-plastycznej i obróbki cieplnej blach o prognozowanych właściwościach mechanicznych. Przedstawione w tym zakresie wyniki badań i rezultaty prowadzonej ich analizy uznaję za szczególnie istotne uzupełnienie aktualnego stanu wiedzy w obszarze charakterystyki zjawisk fizycznych występujących podczas przemian fazowych i mających wpływ na morfologię składników fazowych mikrostruktury wysokomanganowej stali austenicznej. Oddziałują na jej właściwości mechaniczne, przede wszystkim na jej plastyczność w wysokiej temperaturze oraz umożliwiają uzyskanie prawidłowej jakości wytwarzanych półwyrobów bądź wyrobów w procesie produkcyjnym.

W rozdziale 5. (*Podsumowanie wyników badań i wnioski*) zawarto podsumowanie wyników wykonanych badań. Doktorantka mgr inż. Gabriela Fojt-Dymara wykazuje w tym rozdziale, że stanowią one pełne uzasadnienie dla uzyskanych i sformułowanych wniosków o charakterze poznawczym i aplikacyjnym w zakresie oceny plastyczności austenitycznej stali wysokomanganowej w wysokiej temperaturze. Stara się, z powodzeniem, potwierdzić sformułowany cel rozprawy i opiera się na powszechnie akceptowanej wiedzy dotyczącej zagadnień podjętych dla jego osiągnięcia.

Rozdziały części badań własnych rozprawy – eksperymentalnych – potwierdzają dobrą organizację szeroko zaplanowanych i realizowanych zadań badawczych. Niewątpliwym walorem prowadzonych badań weryfikujących przyjęte założenia i hipotezę badawczą jest skrupulatność i dążenie do uzyskania maksymalnej liczby informacji zwiększających prawdopodobieństwo potwierdzenia przyjętych założeń i wykazania synergii oddziaływania czynników strukturalnych i technologicznych charakteryzujących procesy wytwarzania i przetwarzania wysokomanganowej stali austenitycznej: 27Mn-4Si-2Al-Nb i 24Mn-3Si-1,5Al-Nb-Ti. Jednocześnie uzyskano potwierdzenie prawidłowego opracowania warunków procesu technologicznego umożliwiających wytwarzanie dobrej jakości blach z tych gatunków stali.

Podsumowanie i ocena rozprawy

Analiza treści rozprawy doktorskiej mgr inż. Gabrieli Fojt-Dymary zawierająca wyniki badań własnych pozwala stwierdzić, że spełnione zostały w zdecydowanej większości założone cele realizowanych jej kolejnych zadań badawczych. Ustalono skład chemiczny przyjętych do badań gatunków stali wysokomanganowej. Poprawnie stosowano metodykę badań dla charakteryzacji struktury i mikrostruktury wytwarzanych gatunków stali wysokomanganowej oraz prawidłowo wyodrębniono główne ich rezultaty.

Oceniam, że przyjęty sposób prowadzenia dyskusji wyników jest na dobrym poziomie. Doktorantka prawidłowo wyodrębnia w wykonanej analizie główne rezultaty badań niezbędne do dalszej kontynuacji pracy i dla wykonania przyjętego celu badań w kolejnym zadaniu badawczym. Potwierdza więc jednocześnie dobrą znajomość zagadnień związanych z tematyką rozprawy. Wykazuje się umiejętnością formułowania problemów badawczych o interdyscyplinarnym charakterze oraz ich rozwiązywania. Udowodniła, że jest możliwość opracowania warunków procesu wytwarzania półwyrobów i wyrobów ze stali wysokomanganowej o prognozowanych właściwościach mechanicznych i użytkowych z uwzględnieniem kryteriów ustalonych i wymaganych dla motoryzacji.

Osiągnięcia naukowe i technologiczne scharakteryzowane w rozprawie, uważam za nowatorskie i o dużym znaczeniu dla rozwoju technologii gatunków grupy stali o dużej zawartości manganu. Sformułowane wnioski, zarówno w poszczególnych etapach badań, jak również zawarte w podsumowaniu uzyskanych wyników badań realizowanych

w ramach rozprawy, nie wychodzą poza zakres wykonanych doświadczeń i stanowią dobrą podstawę do ich kontynuacji w tym obszarze wiedzy. Uznaję i podkreślam, że mgr inż. Gabriela Fojt-Dymara dokonuje jednocześnie w podsumowaniu i wykonanej analizie uzyskanych wyników, prawidłowej ich oceny. Wskazuje, że osiągnięte rezultaty w zdecydowanej większości mają charakter poznawczy, to również dotyczą podstaw technologii austenitycznej stali wysokomanganowej dla motoryzacji.

W mojej ocenie mgr inż. Gabriela Fojt-Dymara osiągnęła założony cel rozprawy. Potwierdzeniem jest wykazanie podstawowych kryteriów doboru składu chemicznego oraz warunków procesów wytwarzania i przetwarzania austenitycznej stali wysokomanganowej o założonych właściwościach fizycznych i mechanicznych. Podstawą opracowania technologii dla gatunków tej grupy stali była szeroka analiza wyników ich badań w zakresie składu chemicznego i fazowego, morfologii składników fazowych ich mikrostruktury, także analiza uzyskanych wyników badań prowadzących do poprawy ich jakości (odporność na pękanie i duża plastyczność).

Stwierdzam, że rozprawę doktorską przedstawioną do oceny przygotowano starannie. Usterki występujące w jej treści nie są liczne, w większości dotyczą terminologii i słownictwa technicznego i nie wpływają na obniżenie jej poziomu. Jednocześnie zwracam się do Doktorantki o wykazanie podczas referowania głównych tez i założeń rozprawy, uzyskanych wyników i sformułowanych wniosków, głównych kryteriów doboru składu chemicznego gatunków stali wysokomanganowej przyjętych do badań.

W podsumowaniu mojej opinii stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Gabrieli Fojt-Dymary prezentuje wysoki poziom naukowy. Osiągnięcie naukowe stanowi interdyscyplinarne opracowanie zagadnień określonych w celu rozprawy i ma cechy nowości w zakresie technologii blach ze stali wysokomanganowej dla motoryzacji oraz w zakresie charakteryzacji mikrostruktury i struktury po procesach jej wytwarzania w warunkach obróbki cieplno-plastycznej prowadzących do zwiększenia ich plastyczności i odporności na inicjację i propagację pęknięć w wysokiej temperaturze. Uzyskane rezultaty wymagały zrealizowania złożonych i szeroko rozbudowanych zadań badawczych oraz wnikliwej analizy ich wyników. Dlatego uznaję rozprawę za wyróżniającą w scharakteryzowanym obszarze wiedzy i technologii. W mojej ocenie wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. są w pełni spełnione. Stąd wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Gabrieli Fojt-Dymary do jej publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej.

