Adam Grajcar
prof. dr hab. inż.
Katedra Materiałów Inżynierskich
i Biomedycznych
POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Wydział Mechaniczny Technologiczny
ul. Konarskiego 18a
44-100 GLIWICE

Tel: +48 (32) 2372933
Fax: +48 (32) 2372281
e-mail: adam.grajcar@polsl.pl

Gliwice, dn. 05.06.2023 r.

RECENZJA

pracy doktorskiej mgra inż. Krzysztofa Chmielarza pt.
"Rola węglików w kształtowaniu struktury i właściwości stali 100CrMnSi 6-4 na drodze przemiany bainitycznej"

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej, Pani Prof. dr hab. inż. Małgorzaty Lewandowskiej z dnia 27.03.2023 r., informującego, że Rada powołała mnie na recenzenta pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Chmielarza, w przewodzie prowadzonym w dyscyplinie „Inżynieria Materiałowa". Dokumentację otrzymałem w dniu 06.04.2023 r.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Praca doktorska mgr inż. Krzysztofa Chmielarza była realizowana w ramach projektu pt. „Opracowanie nowej generacji stali o strukturze nanokrystalicznej z węglikami" w konkursie Lider IX finansowanym przez NCBiR z roku 2018. Z dokumentacji pracy nie wynika kto był kierownikiem projektu. Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Wiesław Świątnicki, prof. PW. Praca mieści się w pełni w dyscyplinie naukowej inżynieria materiałowa i dotyczy roli węglików w kształtowaniu mikrostruktury bainitycznej stopów żelaza. Rozprawa ma charakter zwartego opracowania, obejmuje 94 strony, a jej struktura jest klasyczna i obejmuje 9 rozdziałów wraz z bibliografią. Praca napisana jest na dostatecznym poziomie zarówno pod względem jakości naukowej, edycyjnej, jak i językowej. Zawiera dosyć dużo błędów stylistycznych i literowych. Jednym z jej mankamentów jest luźne odwoływanie się do zamieszczonych rysunków i tablic, tzn. często z pominięciem konkretnego jego / ich numeru.

3. Ocena doboru tematyki i zakresu pracy

Stale bainityczne stanowią od lat ciekawy kierunek badawczy wśród naukowców zajmujących się problematyką metaloznawstwa nowoczesnych stopów żelaza. Wynika to z ich korzystnego łączenia wysokiej wytrzymałości, plastyczności, odporności na pękanie i innych cech użytkowych,

jak np. odporność na ścieranie. Od strony mikrostrukturalnej interesujące jest poznanie mechanizmu przemian fazowych dla nowo projektowanych składów chemicznych oraz profili obróbki cieplnej. Zwiększone dodatki krzemu lub/i aluminium w tych stalach w połączeniu z nietypowymi profilami obróbki cieplnej generują nietypowe struktury, jak np. bainit ziarnisty, często w połączeniu z austenitem szczątkowym bądź wyspami typu austenit/martenzyt. Jednym z pożądanych efektów jest tzw. niekompletna przemiana bainityczna pozwalająca na zachowanie w strukturze pewnego udziału niestabilnego mechanicznie austenitu resztkowego, który przyczynia się do dodatkowego umocnienia i plastyczności stali poprzez tzw. efekt TRIP (Transformation Induced Plasticity).

W stalach tych zazwyczaj unika się węglików, gdyż węgiel potrzebny jest do wytworzenia austenitu szczątkowego. Autor wybrał natomiast do badań stal nadeutektoidalną, która z definicji będzie zawierać duży udział węglików, tym samym zmniejszając możliwy do stabilizacji udział fazy gamma. Wybór ten jest jednak świadomy, gdyż oddziaływanie węglików jest ściśle powiązane z tytułem i celem pracy, którym jest zbadanie wpływu wielkości węglików na kinetykę przemiany bainitycznej, mikrostrukturę stali i wybrane własności mechaniczne. Jako pozytywną traktuję więc próbę doboru komercyjnej stali łożyskowej do wytworzenia nowego typu struktury bainitycznej, w tym nanobainitycznej.

Zakres pracy obejmował zaprojektowanie nowych cykli obróbki cieplnej, w tym podwójnego austenityzowania oraz podwójnego austenityzowania z międzyoperacyjnym sferoidyzowaniem z następną izotermiczną obróbką bainityczną. Wytworzone mikrostruktury identyfikowano klasycznymi metodami metalografii jakościowej i ilościowej oraz badano standardowe własności mechaniczne oraz odporność na ścieranie.

Tematykę pracy uznaję za aktualną, cel pracy jest jasny, a zawartość pracy odpowiada jej tytułowi.

4. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

4.1. Ocena aktualnego stanu wiedzy

Zarówno przegląd piśmiennictwa oraz cała praca są napisane na minimalistycznym poziomie. Po klasycznych informacjach nt. typowych obróbek cieplnych najciekawszą część przeglądu literatury stanowią punkt 2.2 Obróbki wstępne oraz 2.3 Modelowanie przemian fazowych. Niestety w części badawczej Autor jedynie w niewielkim stopniu wykorzystał przytoczone informacje dotyczące modelowania kinetyki przemiany bainitycznej. Aktualny stan wiedzy sporządzono na podstawie 48 pozycji, a ilość wszystkich przytoczonych pozycji literaturowych wynosi zaledwie 62. Jest to więc bardzo skromny zakres wiedzy, w tej szerokiej tematyce badawczej. Pominięto np. zagadnienia zależności pomiędzy mikrostrukturą nowych typów stali bainitycznych a własnościami mechanicznymi, w tym rolę stabilności mechanicznej austenitu szczątkowego. Autor odwołuje się do jednej swojej pracy (pozycja [6] nie związana z pracą doktorską) oraz do kilku prac macierzystego ośrodka. Nie wykorzystał natomiast wkładu innych polskich badawczy w tematykę stali bainitycznych, np. ośrodka poznańskiego, krakowskiego czy gliwickiego. Co ciekawe podrozdział zatytułowany Podsumowanie stanu zagadnienia dobrze nawiązuje do tematyki i celu pracy, natomiast

luźno nawiązuje do informacji zawartych w przytoczonym podrozdziale. Dotyczy to np. odniesień do własności mechanicznych oraz do efektu TRIP.

Podsumowując uważam, że Przegląd piśmiennictwa napisany jest na poziomie niższym od dobrego, natomiast wystarczającym, aby podjąć tematykę pracy doktorskiej.

4.2. Ocena zastosowanej metodyki badawczej

Zaprojektowano ciekawe obróbki cieplne w celu zróżnicowania wielkości węglików: pojedyncze austenityzowanie, podwójne austenityzowanie oraz podwójne austenityzowanie ze sferoidyzowaniem. Obróbkę cieplną prowadzono w piecu komorowym z atmosferą ochronną azotu, a hartowanie izotermiczne było realizowane w piecu fluidalnym z fluidem SiC. Bazowano na skromnych obliczeniach wykorzystujących program JMatPro. Kinetykę przemiany bainitycznej monitorowano w badaniach dylatometrycznych. Udział fazowy wyznaczano w badaniach rentgenowskich oraz przy użyciu metody magnetycznej. Mikrostruktury charakteryzowano przy użyciu metod mikroskopii świetlnej, SEM i TEM (niestety brak techniki pola ciemnego i dyfrakcji). Własności mechaniczne wyznaczono na podstawie pomiarów twardości, statycznej próby rozciągania, badań udarności, a także przeprowadzono badania odporności na zużycie ścierne. Uważam, że metody badawcze zostały właściwie dobrane do realizacji celu i zakresu pracy.

4.3. Ocena uzyskanych wyników badań i ich dyskusji

Generalnie po przeczytaniu tej pracy mam duży niedosyt, gdyż wiele zagadnień zostało potraktowanych minimalistycznie. Obecny stan wiedzy i możliwości badawcze pozwalają na głębsze wyjaśnienie zagadnień będących przedmiotem niniejszej rozprawy. Tym niemniej uważam, że Autor zrealizował cel pracy i dowiódł postawioną tezę (chociaż jest ona dosyć oczywista). Realizacja pracy pozwoliła na częściowe wypełnienie luki badawczej związanej z wpływem wielkości węglików na kinetykę przemiany bainitycznej w stalach nadeutektoidalnych o podwyższonym stężeniu Cr i Si. Do najważniejszych osiągnięć pracy zaliczam: zastosowanie nowatorskiej obróbki cieplnej różnicującej wielkość wydzieleń węglikowych przed hartowaniem izotermicznym oraz próbę zaadoptowania komercyjnej stali łożyskowej do kształtowania mikrostruktury wielofazowej z udziałem austenitu szczątkowego i węglików. Dyskusja wyników badań jest raczej na dostatecznym poziomie, za wyjątkiem podrozdziału 7.3 Analiza kinetyki przemian fazowych, gdzie Kandydat wykazał dojrzałość naukową, w dobrym stopniu konfrontując swoje wyniki badań z dotychczasowym stanem wiedzy. Pozytywne jest, że Kandydat jest świadomy wielu ograniczeń wynikających z uzyskanych wyników badań, co zawarł w rozdziale Podsumowanie i wnioski.

4.4. Uwagi dyskusyjne i szczegółowe

Ogólnie pracę doktorską mgra inż. Krzysztofa Chmielarza oceniam na dostatecznym poziomie. Zawiera oraz wiele niedociągnięć merytorycznych i metodycznych.

Uwagi krytyczne i dyskusyjne:

- Brak jest informacji o geometrii próbek poddanych obróbce cieplnej. Proszę o przytoczenie tych informacji, gdyż może to mieć znaczenie przy analizie wyników badań.

- Brak informacji jaką metodą wyznaczano wielkość węglików. Proszę o podanie.
- Chociaż Autor podaje w tezie, że na kinetykę przemiany bainitycznej oprócz wielkości węglików wpływa także ich udział (a tym samym stopień nasycenia osnowy węglem i pierwiastkami stopowymi), w pracy nie próbowano uzyskać podobnego udziału węglików. Wydaje się, że dywagacje na temat wpływu wielkości miałyby wtedy większy sens. Proszę o komentarz.
- Autor analizuje wyniki badań dylatometrycznych bez prezentacji dylatogramów, które ułatwiłyby czytelnikowi zrozumienie tekstu. Proszę o przedstawienie dylatogramów dla tekstu na s. 63.
- Podczas prezentacji wyników TEM nie zastosowano techniki pola ciemnego oraz dyfrakcji elektronowej, co potwierdziłoby identyfikację fazową. Proszę o ich przedstawienie (jeśli to możliwe) dla rys: 7.4, 7.5, 7.6.
- Podczas analizy wyników RTG nie przedstawiono dyfraktogramów. Proszę o ich przedstawienie w kontekście wyznaczania udziału fazy gamma oraz węglików (tabela 7.3).
- Różnica wyników wyznaczania udziału faz pomiędzy różnymi technikami jest oczywista. W pracy nie wyjaśniono jednak możliwych przyczyn dużych różnic udziału austenitu szczątkowego pomiędzy metodą RTG a magnetyczną. Proszę o wyjaśnienie tych różnic. Dodatkowo udziały fazy gamma dla wariantów 430 A oraz 430 PA+S (tabela 7.3) na poziomie ponad 20% słabo korespondują z mikrofotografiami TEM. Proszę o wyjaśnienie powodu tych rozbieżności.
- Dlaczego wyniki badań własności mechanicznych próbek po hartowaniu izotermicznym porównywano z wynikami próbek odpuszczonych w niższej temperaturze (170°C)
- Podczas analizy wyników statycznej próby rozciągania nie przedstawiono stosownych krzywych. Proszę o ich przedstawienie w kontekście analizy umocnienia stali.
- Analiza wyników badań własności mechanicznych jest pozbawiona wpływu stabilności mechanicznej austenitu szczątkowego. Proszę o wyjaśnienie wpływu tego czynnika.

Inne uwagi:

- Liczne błędy literowe, np. Symulacje komputerowa (s.7), ... dopasowania i ich fizycznym. (s.12), ... drobniejszej mikrostruktury produkcie ...(s.15), ... do uzyskania wydzieleni ... (s.49), ...było określenia ...(s.53), ...w stali i na przemianę ...(s.53), ... z wariantów azotowania (s.61), ...po każdej badanych obróbek ...(s.67) i inne.
- Małe czcionki na opisach osi, np. rys.1.1, 5.2, 5.3, 6.6, 7.7, 7.9.
- Brak stosowania indeksów dolnych, np. Ac1, Ac3 (s.25), Acm (s.27), M7C3 (s.43), MNS (s.50).
- Częsty brak odwołań do konkretnych rysunków, np. do rys. 5.1, 5.3, 7.8.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Do najważniejszych osiągnięć pracy doktorskiej mgra inż. Krzysztofa Chmielarza zaliczam wkład do inżynierii materiałowej w zakresie wyjaśnienia wpływu wielkości węglików na kształtowanie mikrostruktur w nadeutektoidalnych, wielofazowych stalach bainitycznych. Zaproponował nowe rodzaje obróbki cieplnej pozwalające kształtować wielkość węglików podczas austenityzacji w połączeniu z niskotemperaturowym hartowaniem izotermicznym. Pomimo minimalistycznego podejścia Autor zrealizował cel pracy oraz wykazał się umiejętnością zastosowania właściwej metodyki badawczej do rozwiązania problemu naukowego.

Rozwiązanie postawionego problemu naukowego wymagało opanowania wiedzy teoretycznej z zakresu metaloznawstwa stopów żelaza i obróbki cieplnej, metodycznego prowadzenia eksperymentu przy użyciu zaawansowanej aparatury naukowo-badawczej oraz umiejętności prowadzenia pracy naukowej i wyciągania właściwych wniosków. Stwierdzam, że opiniowana praca doktorska spełnia w wystarczającym stopniu wymagania określone w obowiązującej Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, wobec czego wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie mgr inż. Krzysztofa Chmielarza do publicznej obrony.

Adam Gruszka