

Prof. dr hab. inż. Marcin Górny

18.09.2023 r.

Wydział Odlewnictwa

Akademia Górniczo-Hutnicza

w Krakowie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Karoliny Szwejkowskiej „Kształtowanie mikrostruktury i właściwości mechanicznych staliwa przy wykorzystaniu procesów nanostrukturyzacji bainitycznej”

Podstawa formalna recenzji: Pismo Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej z dnia 25.07.2023 r.

1. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Karoliny Szwejkowskiej „Kształtowanie mikrostruktury i właściwości mechanicznych staliwa przy wykorzystaniu procesów nanostrukturyzacji bainitycznej” została opracowana w formie monografii na Politechnice Warszawskiej w 2023 roku. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Wiesław Świątnicki, prof. PW, uznany specjalista w zakresie m.in. badań wysokojakościowych stali bainitycznych. Praca została wykonana w ramach projektu „Opracowanie innowacyjnej, opartej o metody odlewnicze, technologii wytwarzania kół zębatych o strukturze nanokrystalicznej”, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Badań Stosowanych PBS-3. Praca zawiera 123 strony, w tym 47 rysunków i 11 tabel. W bibliografii Autorka odwołuje się do 97 pozycji literaturowych, wśród których znajduje się 26 prac w języku polskim.

Doktorantka w swojej pracy dokonała szerokiego przeglądu literatury związanej z podjętym tematem, poczynając od prac o znaczeniu podstawowym dla procesów krystalizacji i kształtowania struktury staliwa, aż do problematyki związanej z nowoczesną obróbką cieplną i nanostrukturyzacją bainityczną. Autorka przedstawiła klasyfikację i charakterystykę staliwa węglowego i stopowego, wpływ obróbki cieplnej na mikrostrukturę oraz właściwości staliwa, a

także właściwie opisała kwestie istotne z punktu widzenia podjętego tematu – nanostrukturyzację bainityczną oraz przemiany fazowe związane z różnymi wariantami nowoczesnej obróbki hartowania z przemianą izotermiczną. Doktorantka podała cel, zakres i tezę pracy w rozdziale trzecim. W dalszej części pracy Autorka przedstawiła metodykę badań z opisem procedury eksperymentalnej, materiał i zastosowane techniki badawcze. Wyniki badań zamieszczono w rozdziale piątym. Podsumowanie i wnioski zostały sformułowane przez Doktorantkę w rozdziale szóstym. Opracowanie zamyka spis literatury.

2. Uwagi dotyczące tematyki, tezy i celów pracy

Tematyka pracy doktorskiej jest aktualna i ważna z punktu widzenia technologii wytwarzania nowoczesnych gatunków staliwa o wysokich parametrach wytrzymałościowych. Podjęta problematyka ma również istotne znaczenie z punktu widzenia kształtowania struktury i analizy kinetyki przemian fazowych w staliwie przy zastosowaniu różnych wariantów obróbki cieplnej. Dobór tematyki badawczej jest w pełni uzasadniony.

Doktorantka przedstawiła zakres, cel ogólny i cztery cele szczegółowe. Teza pracy **„poprzez odpowiedni dobór parametrów obróbki cieplnej, wykorzystującej proces nanostrukturyzacji bainitycznej, można w szerokim zakresie sterować składem fazowym i mikrostrukturą staliwa, a w konsekwencji wpływać na właściwości plastyczne i wytrzymałościowe tego materiału”** (s.50) odnosi się do możliwości kształtowania struktury i właściwości mechanicznych wysokojakościowego staliwa poddanego nowoczesnej obróbce cieplnej. Teza jest oryginalna i poprawnie sformułowana. Aby ją udowodnić Doktorantka opracowała plan badań, który konsekwentnie realizowała w dalszej części pracy.

Stwierdzam, że teza oraz cele pracy zostały jasno sprecyzowane, a metodyka badań dobrana w sposób prawidłowy.

3. Ocena formalna pracy

Układ pracy jest typowy dla większości rozpraw doktorskich i obejmuje dwie części. Pierwsza z nich to wstęp, przegląd literatury związany z podjętą tematyką pracy, druga to przedstawienie badań własnych zakończone wnioskami i spisem literatury.

W pierwszej części pracy Doktorantka omówiła aktualny stan zagadnienia dotyczący podjętych badań. Wychodząc od definicji i klasyfikacji staliwa, Autorka w sposób syntetyczny przedstawiła charakterystykę struktury, właściwości i zastosowanie staliwa węglowego oraz stopowego. Umiejętnie opisała rodzaje obróbki cieplnej i jej wpływ na tworzenie struktury, budowę fazową oraz właściwości staliwa. W części poświęconej stanowi badań literatury słusznie zwrócono uwagę m.in. na dużą rolę dodatków stopowych i rozpadu martenzytu w tworzeniu różnych węglików. Podrozdział 2.2. poświęcony jest roli różnych wariantów nowoczesnej obróbki cieplnej w nanostrukturyzacji bainitycznej stali i żeliwa. W pierwszej kolejności Autorka dokonuje przeglądu znanych metod nanostrukturyzacji, aby przejść do opisu kinetyki przemian fazowych i roli parametrów procesu w kształtowaniu struktury i właściwości stali.

Część literaturowa dysertacji, zakończona podsumowaniem stanu zagadnienia, świadczy o dobrej znajomości przez Autorkę prezentowanej problematyki i stanowi właściwe wprowadzenie do części badań własnych.

W rozdziale trzecim Doktorantka zaprezentowała cele, zakres badań i tezę pracy doktorskiej. Cel ogólny badań koncentruje się na analizie możliwości kształtowania struktury i właściwości mechanicznych staliwa poprzez zastosowanie nanostrukturyzacji bainitycznej w wyniku opracowanej obróbki cieplnej. Autorka poprawnie sformułowała cztery cele szczegółowe. Oryginalna i poprawnie sformułowana teza pracy, dotyczy możliwości sterowania składem fazowym i mikrostrukturą staliwa dla otrzymania pożądaných efektów umocnienia materiału.

W czwartym rozdziale rozprawy Autorka przedstawia właściwą metodykę badań ukierunkowaną na udowodnienie postawionej tezy, która obejmuje schemat procedury eksperymentalnej, materiał do badań, symulacje komputerowe przemian fazowych, badania struktury, składu fazowego, właściwości mechanicznych oraz obróbki cieplnej. Wybór technik badawczych jest prawidłowy. Wątpliwości budzi jednak pominięcie w badaniach mikroskopii elektronowej wraz z możliwością analizy mikrosegregacji i mikroanalizy składu chemicznego.

Przedstawienie wyników badań (rozdz. 5) Doktorantka rozpoczyna od charakterystyki materiału w stanie „lanym”, pokazuje zróżnicowaną mikrostrukturę w poszczególnych częściach wlewków zawierającą mieszaninę ausferrytu, perlitu oraz martensytu. W dalszej części rozprawy Autorka prawidłowo poddała charakterystyce staliwo po wyżarzaniu zmiękczającym, a następnie wyznaczyła punkty krytyczne za pomocą badań dylatometrycznych, które posłużyły do sporządzenia wykresów CTP i analizy kinetyki przemian fazowych. Doktorantka wykazała się umiejętnością prawidłowej interpretacji wyników przeprowadzonych badań m.in. metalograficznych czy analizy termicznej. Zaprojektowała i przeprowadziła złożoną obróbkę cieplną celem nanostrukturyzacji bainitycznej. Dokonała oceny otrzymanej struktury z wykorzystaniem parametrów określonych za pomocą metody Rietvelda na podstawie wykonanych badań XRD. Warto podkreślić, że każdy etap badań obejmował analizę za pomocą mikroskopii transmisyjnej, które umożliwiła właściwe ocenienie tworzenia nanokrystalicznej struktury. Badania struktury zostały uzupełnione analizą właściwości mechanicznych na podstawie statycznej próby rozciągania oraz badań udarności. Doktorantka wykazała się umiejętnością optymalizacji obróbki cieplnej pod względem pożądanej struktury oraz optymalnej kombinacji właściwości mechanicznych. Autorka pracy następnie zaprezentowała optymalizację obróbki oznaczonej jako BQ&P na tle konwencjonalnego ulepszania cieplnego staliwa. Część badawczą kończy rozdział poświęcony weryfikacji składu fazowego oraz właściwości mechanicznych i eksploatacyjnych kół zębatach. Wykazano, że zaprojektowana obróbka BQ&P wpływa na bardzo korzystne właściwości mechaniczne i doskonałą odporność na zużycie ściernie. Doktorantka podczas analizy słusznie zwraca uwagę na problem jednorodności składu chemicznego i warunki pracy kół zębatach.

W rozdziale szóstym Doktorantka podsumowała wyniki badań i przedstawiła poprawnie sformułowane wnioski, które wnoszą nową wiedzę do technologii otrzymywania wysokowytrzymałych odlewów wykonanych ze staliwa o strukturze nanobainitycznej.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona analiza wyników badań oraz sformułowane na jej podstawie wnioski są poprawne, a cel jaki postawiła sobie Autorka pracy doktorskiej został osiągnięty.

4. Uwagi szczegółowe

Przy analizie rozprawy nasuwają się następujące uwagi dotyczące poprawności pewnych sformułowań, koniecznych wyjaśnień, nieściśłości tekstu lub błędów. Najważniejsze z nich podano poniżej:

- 1) Autorka we wstępie pracy doktorskiej pisze, że w staliwie brak jest ograniczeń składu chemicznego w przeciwieństwie do stali. Czy rzeczywiście w staliwie mamy dowolność w ustalaniu składu chemicznego?
- 2) W pracy nie podano warunków brzegowych i początkowych zastosowanej symulacji komputerowej przy użyciu oprogramowania JMatPro.
- 3) Czy Autorka dysponuje wynikami ilościowej analizy metalograficznej (np. liczbą ziaren pierwotnych, odległością między gałęziami drugiego rzędu w dendrytach, liczbą wtrąceń, itd.) materiału w stanie „lanym”?
- 4) Doktorantka podaje zakres grubości płytek ferrytu bainitycznego (s. 83, $g=54-944\text{nm}$). Tak duży zakres budzi pewne wątpliwości. Jaką zastosowano metodykę pomiaru?
- 5) Czy poddano analizie rodzaj powstałych węglików w badanym staliwie? Czy słuszne jest stwierdzenie, że jest to cementyt (np. na s. 68)?
- 6) Czy Autorka dysponuje zdjęciami SEM badanych próbek? Przy opisie struktury za pomocą TEM nie wszystkie jej cechy jak np. austenit blokowy są widoczne.
- 7) Autorka użyła określenia „znacznie mniejsze ilości austenitu blokowego”. Warto podać przynajmniej szacunkowe wartości udziału.
- 8) W tabeli 7 Doktorantka podała zawartość węgla w austenicie. Czy zawartości te są powtarzalne? Jaki ma to wpływ na stabilność termiczną austenitu i mikrostruktury?
- 9) Pojęcie „rozdrobienie mikrostruktury” jest dość nieprecyzyjne (s. 88, s. 102). Czy chodzi o większą liczbę płytek ferrytu?
- 10) Autorka nie podaje legendy do niektórych rysunków (np. 37, 44).
- 11) Co wynika z porównania stosowania różnych technik badawczych (XRD, badania dylatometryczne) na otrzymane wartości udziału austenitu bądź ferrytu w badanym staliwie? Jaki jest szacunkowy błąd pomiaru?

- 12) Autorka nie pokazała krzywych rozciągania i ściskania z przeprowadzonych badań mechanicznych.
- 13) Doktorantka pisze o niejednorodności składu chemicznego i niejednorodności strukturalnej staliwa (np. na s. 111, 112). Jaka jest faktycznie niejednorodność? Czy wykonano badania rozkładu pierwiastków metodą np. SEM-EDS?

5. Opinia końcowa

Mimo przedstawionych uwag krytycznych, stwierdzam, że przyjęta teza rozprawy została udowodniona, a wyznaczone cele pracy zostały zrealizowane. Rozprawa doktorska charakteryzuje się celowo dobraną i ważną, zwłaszcza do zastosowań w praktyce, tematyką. Istotnie poszerza wiedzę z zakresu kształtowania nanokrystalicznej struktury i właściwości staliwa przy wykorzystaniu innowacyjnej obróbki cieplnej.

Rozprawa doktorska mgr inż. Karoliny Szwejkowskiej „Kształtowanie mikrostruktury i właściwości mechanicznych staliwa przy wykorzystaniu procesów nanostrukturyzacji bainitycznej”, napisana pod opieką naukową dr. hab. inż. Wiesława Świątnickiego, prof. PW, spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w dyscyplinie inżynieria materiałowa i na tej podstawie wnoszę o dopuszczenie Kandydatki do publicznej obrony.

