

## RECENZJA

pracy doktorskiej  
**Pana mgra inż. Piotra Nawrockiego**  
pt.

**„Kształtowanie drobnoziarnistej mikrostruktury żeliwa sferoidalnego  
w procesach hartowania izotermicznego”**

**przedstawionej w dyscyplinie „Inżynieria Mechaniczna”**

wykonanej pod opieką promotora Pana dra hab. inż. Dawida Myszki, prof. PW,

opracowana na zlecenie

Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej  
(pismo prof. dr hab. inż. Tomasza Chmielewskiego, Dziekana Wydziału Inżynierii Produkcji  
z dnia 20.04.2021 r.)

### **1. Ocena ważności i zasadności podjętej tematyki badawczej**

Mimo ciągłego rozwoju stopów odlewniczych, wciąż dominującą rolę w produkcji odlewów odgrywają stopy żelaza a wśród nich głównie żeliwo. Do wytwarzania odlewów wysokojakościowych, gdy oczekiwane jest uzyskanie wysokich własności mechanicznych, dość oczywistym wyborem jest żeliwo sferoidalne. Wymagania klientów systematycznie rosną a w dodatku oczekują oni od odlewów wysokiej wytrzymałości przy jak najwyższej plastyczności a często także i udarność. Powoduje to, że odlewnie zagraniczne, ale i krajowe, coraz częściej zwracają się w kierunku znanego już kilkadziesiąt lat, ale wciąż nie stosowanego zbyt szeroko, żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną, czyli żeliwa ADI. Niezbyt duże zainteresowanie tym, przełomowym wydawać by się mogło w okresie jego wdrażania stopem, wynika z problemów natury technologicznej i ekonomicznej. Wytwarzanie odlewów z gatunków żeliwa ADI wymaga bowiem nie tylko wysokiej jakości wyjściowego żeliwa sferoidalnego, będącego bazą do wytworzenia struktury ausferytycznej w procesie obróbki cieplnej. Dodatkowo, surowe odlewy wymagają przeprowadzenia dość skomplikowanej i przez to stosunkowo drogiej obróbki cieplnej, której reżim temperaturowy i czasowy musi być przestrzegany na najwyższym poziomie. Dopiero

połączenie najwyższej jakości procesu metalurgicznego wytopu, technologii odlewu oraz specjalnej obróbki cieplnej, pozwala na uzyskanie specyficznej mikrostruktury, warunkującej uzyskanie właściwości mechanicznych przekraczających te, którymi cechuje się większość typowych stali konstrukcyjnych. Znane jest oczywiście stanowisko, które wskazuje, że biorąc pod uwagę szereg cech użytkowych żeliwa ADI, łączny koszt wytwarzania jak i eksploatacji odlewów jest na ogół korzystny w stosunku do odlewów z innych tworzyw, jednak w rachunku ekonomicznym odlewni takie podejście nie jest wiodącym.

Autor rozprawy podjął temat wytwarzania osnowy ferrytyczno-austenicyznej z wydzieleniami węglików (bainit) lub bez wydzieleni (ausferryt) o minimalnej wielkości ziarna na poziomie nanometrycznym. Takie rozwiązanie zapewnić powinno jednoczesne uzyskanie wysokich własności wytrzymałościowych przy co najmniej dobrej plastyczności. Nie jest to zagadnienie do końca rozwiązane, choć wielu badaczy także zajmowało się tym tematem i należy tu podkreślić znakomite rezultaty prac promotora rozprawy oraz innych naukowców Politechniki Warszawskiej. Poznanie mechanizmu powstawania takich struktur w zależności od założonych parametrów obróbki cieplnej pozwolić powinno na opanowanie procesu wytwarzania, skutkujące nie tylko osiągnięciem wysokich własności, ale przede wszystkim zapewnieniem ich powtarzalności. **W związku z tym stwierdzam, że tematyka pracy jest ciekawa zarówno z naukowego jak i użytecznego punktu widzenia a podjęcie ww. tematyki uznaję za celowe i wartościowe.**

**Praca została złożona w dyscyplinie „Inżynieria Mechaniczna”, a jej realizacja została rozpoczęta w dyscyplinie „Budowa i Eksploatacja Maszyn” i z pełnym przekonaniem stwierdzam, że tematyka w niej podjęta wpisuje się w całości w obszary obu dyscyplin.**

## **2. Układ pracy i dobór źródeł literaturowych**

Praca składa się z 11 numerowanych rozdziałów i napisana jest na 131 numerowanych stronach, w typowym dla rozpraw doktorskich układzie, czyli z wyraźnym podziałem na część stanowiącą przegląd literatury, oraz część stanowiącą opis badań własnych i uzyskanych wyników. Obie części rozprawy spajają cel i teza pracy, sformułowane na stronie 44 na podstawie przeglądu stanu wiedzy. Po wnioskach znajduje się rozdział 11, w którym zostały sformułowane propozycje dalszych badań, co nie jest typowe dla rozpraw doktorskich, ale ja uznaję to za działanie właściwe. Pracę kończą spis rysunków i tabel.

Układ pracy oraz propozycje poszczególnych jej części uważam za właściwe. Przegląd literatury napisany jest ciekawie i spójnie, choć można by postawić zarzut, że niektóre treści są zbyt podstawowe dla rozprawy doktorskiej a brak jest bardziej szczegółowych rozważań nad wpływem poszczególnych pierwiastków na mikrostrukturę, mechanizmami krystalizacji i krzepnięcia czy też przemian w procesie obróbki cieplnej analizowanych stopów. Również część poświęcona właśnie tak ważnej dla żeliwa ADI obróbce cieplnej jest moim zdaniem zbyt

ogólna. Wynika to prawdopodobnie z faktu przeanalizowania w ramach przeglądu stanu wiedzy w większości starszych źródeł, które choć bardzo wartościowe i w wielu przypadkach podstawowe dla tematu, siłą rzeczy nie przedstawiają najnowszych osiągnięć w obszarze żeliw ADI. Doktorant wykorzystał 89 pozycji literatury, co w przypadku pracy doktorskiej jest moim zdaniem liczbą wystarczającą, choć ich spis zawiera 94 rekordy. Jest to wynikiem błędów wynikających z niestaranności i pośpiechu, które spowodowały, że aż 5 pozycji wymienionych jest dwukrotnie! Są to pozycje: [12] i [22], [3] i [27], [5] i [65], [63] i [74] oraz [8] i [76]. Jak wspomniałem wyżej, pewien niedosyt budzi wiek cytowanych źródeł, ponieważ te wydane w roku 2015 i później stanowią zaledwie 10%. Mocną stroną doboru źródeł jest ich różnorodność, ponieważ Autor cytuje wiele książek, publikacji, referatów konferencyjnych a także wcześniejszych rozpraw doktorskich. W niektórych jednak przypadkach wątpliwości może budzić wspieranie twierdzeń Autora przez publikacje wydane nawet 30 lat wcześniej, zwłaszcza jeśli dotyczy to opisu rynku odlewniczego jak w pierwszych akapitach wstępu. W przeglądzie literatury zaznaczyłem wiele uwag i komentarzy, które przekażę Autorowi pod rozwagę.

**Wypunktowane niedoskonałości pracy nie dyskwalifikują jej jednak i podsumowując stwierdzam, że układ pracy oraz dobór źródeł literaturowych oceniam dobrze.**

### **3. Teza, cel pracy oraz elementy nowości naukowej**

Sformułowanie celu i tezy pracy poprzedza ważny wniosek, płynący z przeglądu literatury, że analizowane zagadnienie jest wciąż nie do końca zbadane a na tyle ważne, że warto je podjąć. **Zarówno cel jak i teza pracy sformułowane są właściwie, a lektura części badawczej pracy, zwłaszcza podsumowania i wniosków pozwala stwierdzić, że cel został osiągnięty a teza wystarczająco wiarygodnie udowodniona.**

Oryginalny dorobek doktoranta stanowi zbadanie możliwości kształtowania mikrostruktury żeliwa ADI na poziomie nanometrycznym i stwierdzenie, że poprzez odpowiedni dobór parametrów obróbki cieplnej możliwe jest tak znaczne jej rozdrobnienie. Autor w nowatorski sposób zastosował obróbkę cieplną z przemianą bainityczną wraz z wygrzewaniem międzykrytycznym, co pozwoliło w rezultacie na uzyskanie bardzo dobrych własności wytrzymałościowych i plastyczności żeliwa sferoidalnego.

### **4. Ocena stosowanej metodologii, opisu badań własnych oraz dyskusji wyników**

Opis przeprowadzonych badań oraz analiza ich wyników poprzedzone są przedstawieniem planu pracy oraz metodyki badań. Następnie Autor prezentuje w postaci graficznej harmonogram badań, który w istocie jest planem, czy też zakresem badań własnych. Niemniej jednak takie wprowadzające informacje uważam za bardzo cenne, ponieważ pozwalają

blyskawicznie zorientować się w szerokim zakresie badań, prezentowanych w rozprawie. Następnie Doktorant konsekwentnie opisuje realizowane badania, rozpoczynając od materiału do badań, poprzez wykorzystywane urządzenia i przyrządy badawcze oraz metody badań i dalej prezentuje uzyskane wyniki. **W tym aspekcie rozprawę doktorską oceniam dobrze i stwierdzam, że Doktorant wykazał się dobrym warsztatem badawczym oraz wystarczającą do jego właściwego zastosowania wiedzą, co pozwoliło mu na uzyskanie wartościowych i ciekawych wyników.** Niestety, mankamentem rozprawy jest bardzo pobieżna a często wręcz zdawkowa analiza wyników badań, która sprowadzona jest jedynie do szeregu zdjęć metalograficznych z bardzo ogólnym ich opisem czy też omówienia wykresów i tabel zawierających wyniki badań własności mechanicznych. Mając tak szeroki i ciekawy materiał badawczy, Autor powinien był pokusić się o bardziej głęboką dyskusję wyników.

Niestety, Autor nie ustrzegł się także wielu błędów i niedociągnięć, które obniżają ogólną pozytywną ocenę rozprawy w tym aspekcie. Najważniejszym z nich jest oczywiście wspomniana wyżej powierzchowność niektórych opisów i analiz, ale praca zawiera także wiele innych błędów o różnym charakterze i wadze, z których najważniejsze przytoczyłem poniżej:

- Zamienne stosowanie pojęcia „własności” i „właściwości” w odniesieniu do własności wytrzymałościowych. Znane są dyskusje nad poprawnością ww. zwrotu, ale moim zdaniem należy skłaniać się ku jednej z tych form i konsekwentnie ją stosować w całej pracy.
- **Str. 48: Brak jest uzasadnienia, dlaczego przeprowadzone zostały 4 wytopy? Jaki plan eksperymentu zamierzał przeprowadzić Autor? Wspomniana została „baza danych...ponad 1400 wytopów...”. Co to za baza danych?**
- **Str. 49: Jaka była masa pojedynczego wytopu i kompozycja wsadu? Na rys. 25 przedstawiona jest tylko jedna krzywa chłodzenia, w jaki sposób została uzyskana? Czy zalewano standardowy próbnik ATD? Szkoda, że nie wykonano pełnej analizy ATD.**
- **Str. 52, Tabela 4: Dlaczego występuje tak niesymetryczna zmienność temperatury? Dlaczego dla czasów 30 i 60 minut brak wyników? Obie wątpliwości powinny być wyjaśnione.**
- Str. 53: Błąd numeracji i brak takiego podrozdziału (2.5 Badania TEM) w spisie treści.
- Str. 64: Część tekstu jest dokładną kopią tekstu z rozdziału 7.9 i nawet błędy edytorskie są w nich takie same.
- Str. 65: Wyniki badań dylatometrycznych są powtórzeniem tego, co przedstawiono wcześniej w rozdziale 7.10.
- **Str. 70: Dlaczego w Tabeli 8 nie ma zdjęć dla 16 i 28 minut jak w Tabelach 9 i 10?**
- Str. 93: Zacytowany tu rys. 1 przedstawia coś zupełnie innego niż przywołano.
- Str. 102: Po zestawie tabel i wykresów brak jest dyskusji wyników. Pojawia się ona dopiero w rozdziale 9. *Podsumowanie*, które jest właściwie dyskusją wyników, której brakuje we wszystkich wcześniejszych rozdziałach.

- **Str. 102: Mowa jest o pięciu wybranych stanach obróbki cieplnej po czym pojawiają się stany 1,2,4,5 i 6. Dlaczego brakuje stanu 3? We wcześniejszych tabelach znajdują się stany od 1 do 5 a nie ma z kolei stanu 6. Brakuje wytłumaczenia tego stanu rzeczy, o ile nie jest to jedynie błąd?**
- Str. 104-107: Zestaw wykresów bez żadnej analizy wyników czy dyskusji.
- Str. 107: Powoływane są rys. 38 do 39, podczas gdy powinny to być rysunki 58 do 60.
- Str. 108: Tabela 35 i str. 109, rys 58 – jest 27 minut a powinno być 28 minut.
- Str. 110: Kolejny zestaw tabel i wykresów kończy się brakiem ich omówienia.
- Rozdział *Podsumowanie*: jak wspomniałem jest to moim zdaniem dyskusja wyników, której części celowym byłoby przenieść w miejsca, w których czytelnik w naturalny sposób ich oczekuje. Niemniej jednak ten rozdział napisany jest dobrze a fragment na str. 114 jest wprost udowodnieniem tezy pracy, co powinno być moim zdaniem wyraźnie podkreślone.
- Rozdział *Wnioski*: Jest ich pięć, przy czym wnioski 1-4 mówią tak naprawdę o tym samym w nieco tylko zmieniony sposób. W sytuacji braku sformułowanych jednoznacznych wniosków zawsze sugeruję rozdział „Podsumowanie i wnioski”, w którym nie trzeba niejako na siłę wypunktowanych wniosków przedstawiać.

Podsumowując zaryzykuję stwierdzenie, że Autorowi zabrakło albo czasu, albo determinacji dla głębszej analizy uzyskanych, bardzo ciekawych i różnorodnych wyników, co niewątpliwie spowodowałoby znacznie wyższą ocenę wartości naukowej rozprawy, którą w obecnej formie oceniam jako dostateczną dla uzyskania stopnia doktora nauk technicznych. Zdaję sobie sprawę z utylitarnego charakteru rozprawy, jednak należy pamiętać, że nadal jest to rozprawa doktorska, od której wymagać należy także głębszych refleksji nad uzyskanymi wynikami badań.

## **5. Strona edycyjna pracy oraz poprawność językowa i stylistyczna**

Niestety, również na ten aspekt oceny rzuca się cieniem niewątpliwy pośpiech Doktoranta, przez co w pracy roi się od błędów językowych, gramatycznych, stylistycznych i edytorskich. Uważam, że taka ich liczba nie powinna znaleźć się w rozprawie doktorskiej. Jeśli Autor ma problemy z tym aspektem swojej pracy (nierzadkie są dysfunkcje w tym obszarze, które należy wziąć pod uwagę jako okoliczność łagodzącą), powinien wesprzeć się profesjonalną korektą. Wszystkie znalezione przeze mnie błędy zaznaczyłem w tekście rozprawy, który otrzymałem i zamierzam przekazać Autorowi a w tym miejscu podkreślę jedynie jeden z nich, który przez wiele stron „kłuje w oczy” a na stronach 14 i 15 jest najbardziej widoczny. W pracy dotyczącej żeliwa sferoidalnego wyrazy „żeliwo” oraz „sferoidalne” nie powinny mieć form np. „żeliwo” czy też „sferoidlane” co niestety w pracy pojawia się wielokrotnie w różnych konfiguracjach.

Graficzna strona pracy stoi natomiast na wysokim poziomie, choć kilka rysunków w przeglądzie literatury, które są skanami z oryginałów, powinno mieć lepszą jakość. Możliwe było także zlikwidowanie istniejących białych plam, poprzez lepszą organizację treści pracy.

## **6. Uwagi krytyczne o charakterze merytorycznym do dyskusji**

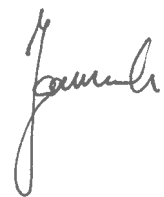
Recenzowana praca posiada niewątpliwie istotne walory poznawcze i użytkowe i stanowi wartościowy wkład Autora w obszar badań nad własnościami oraz procesami wytwarzania żeliwa ADI o drobnoziarnistej mikrostrukturze. Lektura rozprawy wzbudza jednak pewne wątpliwości i prowokuje pytania, z których najważniejsze zestawilem poniżej i na nie oczekuję od Doktoranta odpowiedzi:

- W *Propozycjach do dalszych badań* Autor wspomniał celowość oceny wytrzymałości zmęczeniowej i na zginanie a także odporności na zużycie cierne. Proszę o odpowiedź jak zdaniem Autora będą się one kształtować i dlaczego? Na podstawie uzyskanych wyników i znając charakter występujących obciążeń, Autor zapewne ma refleksję w tym zakresie, którą chciałbym poznać.
- W tym samym fragmencie pracy jest mowa o możliwościach aplikacyjnych takich stopów, jakie badał Doktorant i rozumiem, że byłyby to zastosowania niedostępne dla dotychczas stosowanych materiałów? Proszę o propozycje takich zastosowań wraz z uzasadnieniem wyboru.
- W pracy nie wspomniano o aspekcie ekonomicznym wytwarzania żeliwa ADI z modyfikacjami procesu, proponowanymi przez Autora. Nie było to oczywiście konieczne, jednak mając na uwadze, że koszt wytwarzania i stopień skomplikowania nawet klasycznych jego gatunków jest wysoki, proszę Autora o odpowiedź czy i jaki wpływ na ww. okoliczności może mieć wdrożenie rezultatów rozprawy do praktyki przemysłowej?
- Proszę także o odniesienie się do uwag zapisanych czcionką pogrubioną w pkt. 4 recenzji.

## **7. Podsumowanie i wniosek końcowy**

Pomimo pewnych i moim zdaniem nieco zbyt licznych niedociągnięć językowych i edytorskich a także merytorycznych wątpliwości i uwag krytycznych recenzowaną rozprawę oceniam dobrze i uważam, że jest to wartościowa praca przede wszystkim ze względu na nowatorskie podejście do tematu. Stwierdzam także, że Doktorant wykazał się wystarczającą umiejętnością opracowania krytycznego przeglądu literatury i na jego podstawie sformułował poprawną tezę, którą następnie udowodnił w poprawnie zaplanowanym i zrealizowanym eksperymencie.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że praca doktorska pana mgra inż. Piotra Nawrockiego pt. „*Kształtowanie drobnoziarnistej mikrostruktury żeliwa sferoidalnego w procesach hartowania izotermicznego*” spełnia wymagania stawiane przez Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z dnia 30 stycznia 2018 r. poz. 261) oraz Ustawę z dnia 18 marca 2011 r. o zmianie ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw, wobec czego wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jaworski', is located on the right side of the page.