

Dr hab. inż. Barbara Kalandyk, prof. AGH  
Katedra Inżynierii Stopów i Kompozytów Odlewanych  
Wydział Odlewnictwa  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Kraków, 13.05.22

## **R E C E N Z J A**

pracy doktorskiej

**Pani mgr inż. Joanny Jasińskiej**

**pt.: „Ocena właściwości funkcjonalnych bezmiedziowego staliwa duplex po procesie nagniatania statycznego naporowego tocznego”**

wykonana na zlecenie Pana Kierownika Dyscypliny Naukowej Inżynierii Materiałowej  
WIPiTM Politechniki Częstochowskiej, Pana dr hab. inż. Rafała Prusaka, prof. Politechniki  
Częstochowskiej, z dnia 29.03.22 r.

### **1. Charakterystyka ogólna pracy**

Przedstawiona do recenzji praca doktorska Pani mgr inż. Joanny Jasińskiej pt.: „**Ocena właściwości funkcjonalnych bezmiedziowego staliwa duplex po procesie nagniatania statycznego naporowego tocznego**” została wykonana w Katedrze Metalurgii i Technologii Metali, Wydziału Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Grzegorza Stradomskiego, prof. Politechniki Częstochowskiej, który był jej promotorem.

Praca napisana jest w układzie klasycznym z podziałem na część stanowiącą przegląd literaturowy i część badawczą. Cała praca zawiera 144 strony, składa się ze streszczenia, 5 rozdziałów, wykazu najważniejszych oznaczeń występujących w pracy, spisu rysunków, tabel oraz literatury. Spis literatury obejmuje 144 pozycje (3 normy, 1 patent) z czego 57 pozycji wydanych po 2010 roku a 46 pochodzi z lat 2000-2009. Pozostałe 30 pozycje literaturowe zostały wydane do 1999 r. W tym zestawieniu znajdują się ok. 27 pozycje dotyczące procesu nagniatania oraz około 36 pozycje związanych z szeroko rozumianą ekonomią i zarządzaniem produkcją. W podanej literaturze znajdują się 3 pozycje, w których Doktorantka jest współautorem. Pod względem językowym i edycyjnym praca jest napisana bardzo starannie, rysunki, tabele oraz mikrostruktury są bardzo dobrej jakości, a Doktorantka wykazała się dużą

troską i dbałością. Całość pracy ze względu na jej nienaganną stronę edytorską i językową oceniam bardzo wysoko.

## **2. Uwagi dotyczące tematyki i celu pracy**

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy zastosowania procesu nagniatania statycznego naporowego tocznego staliwa duplex w celu zwiększenia jego właściwości funkcjonalnych. Doktorantka w części literaturowej zamieściła obszernie uzasadnienie wyboru tego tematu również w aspekcie technologiczno – ekonomicznym i innowacyjnym pomimo, że technologia nagniatania jest znana od wielu lat. Tym samym zwróciła uwagę na duże możliwości kształtowania warstwy wierzchniej bezmiedziowego staliwa odpornego na korozję typu duplex poprzez zaproponowany w pracy proces obróbki plastycznej. Autorka podkreśliła również, że z uwagi na to, że proces ten może być realizowany na uniwersalnych obrabiarkach nie będzie wymagał dużych nakładów inwestycyjnych we wdrożeniu go do warunków przemysłowych krajowych odlewni. Jednocześnie wybór do badań staliwa duplex wynika z jego bardzo dobrych właściwości mechanicznych i korozyjnych zwłaszcza w roztworach jonów chlorkowych, a także z bardzo dużego zainteresowania, zwłaszcza w ostatnich latach odlewami z tego staliwa przez szeroko rozumiany sektor energetyczny (wydobycie ropy naftowej czy gazu) i nie tylko. W związku z tym wybór do badań przez Doktorantkę dwóch gatunków staliwa uważam za bardzo trafny, ważny oraz wpisujący się w aktualne tendencje produkcji odlewów ze staliwa odpornego na korozję. Doktorantka stwierdziła w pracy, że nie wszystkie stopy nadają się m.in. do umocnienia powierzchni przez proces nagniatania, ale w przypadku wybranych do badań gatunków staliwa duplex są przesłanki (m.in. na podstawie badań własnych) korzystnego wpływu tej metody na umocnienie warstwy wierzchniej i gładkość powierzchni. Stąd, na podstawie przeglądu literatury i badań własnych Doktorantka sformułowała tezę pracy oraz trzy cele, które mają wymiar zarówno naukowy jak i praktyczny. Celem naukowym jaki postawiła sobie Doktorantka było wykazanie, że poprzez odpowiedni dobór parametrów obróbki nagniataniem wybranych gatunków staliwa duplex istnieje możliwość poprawy właściwości mechanicznych i użytkowych tj. m.in.: twardości, wytrzymałości na zmęczenie stykowe, odporności na korozję, odporności na zużycie przez zmiany w warstwach wierzchnich odlewu. Przeprowadzona przez Doktorantkę wielokryterialna ocena wdrożenia tej technologii do warunków wybranej odlewni wykonującej odlewy z w/w gatunków staliwa (PGO odlewnia PIOMA w Piotrkowie Trybunalskim) w aspekcie ekonomicznym wykazała

niepodważalne korzyści tej metody jako alternatywy m.in. dla obróbki wykańczającej (tj. szlifowania) odlewów. Natomiast barierą w stosowaniu tej metody w warunkach przemysłowych wg Doktorantki jest stosunkowo nieliczna grupa publikacji związanych z aplikacyjnym zastosowaniem tej technologii dla innych stopów.

Analiza zaproponowanego przez Doktorantkę planu i zakresu badań przedstawiona w rozdziale 3.2 i zrealizowanie tak szerokiego spectrum badań opisanych w części badawczej (w zakresie zmian geometrii powierzchni, makro- i mikrostruktury warstwy wierzchniej, wybranych właściwości jak również przeprowadzenie wielokryterialnej analizy ekonomicznej wdrożenia procesu) pozwolił Doktorantce na osiągnięcie zarówno tezy jak i celów pracy.

### **3. Omówienie i ocena pracy**

W pierwszych rozdziałach Doktorantka przedstawiła szczegółową analizę stanu zagadnienia. Obejmuje ona syntetyczny opis podstawowych zagadnień i klasyfikację procesu obróbki nagniataniem ze szczególnym zwróceniem uwagi na zachodzące zmiany w warstwie wierzchniej spowodowane procesem nagniatania jak również możliwości kształtowania jej właściwości poprzez zmianę parametrów tego procesu (siła docisku, posuw, prędkość posuwu). Doktorantka szczegółowo omówiła analizę zalet i wad wspomnianego procesu w trzech aspektach: technologicznym, jakości produktu i ekonomicznym. Ta część pracy zawiera również syntetycznie zestawienia istotnych wiadomości z obszaru stali i staliwa duplex jak również i faz kruchych silnie wpływających na ich właściwości. Autorka zamieściła w pracy trzy wiodące odlewnie produkujące odlewy ze staliwa duplex, w tym odlewnię, we współpracy, z którą przeprowadziła ocenę potencjału wdrożenia i analizę wskaźników produktywności mającą na celu uzasadnienie wdrożenia w/w procesu nagniatania do warunków przemysłowych. To co zwraca uwagę i co w mojej ocenie jest cenne, w tej części pracy, to są trzy rozdziały (2.1-2.3) z bardzo dobrze dobranymi informacjami poświęconymi: technologii nagniatania, charakterystyce materiału zastosowanego do badań oraz analizie techniczno - ekonomicznej procesów. W rozdziale 2.4 *Podsumowanie literatury* Doktorantka dogłębnie przedstawiła uzasadnienie wyboru tematu swojej pracy oraz starannie dobrała argumenty przemawiające za tak sformułowanym tematem upatrując w nim duży potencjał wdrożeniowy opisanego procesu. Ukończenie studiów przez Doktorantkę na kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji pozwoliły jej na wybór odpowiednich narzędzi do przedstawienia korzyści ekonomicznych (w tym wzrost produktywności przez obniżenie kosztów energii i pracochłonności m.in. obróbki

wykańczającej stosowanej dla odlewów) przemawiających za wdrożeniem obróbki nagniataniem dla odlewów. Ta część pracy kompleksowo obejmuje analizę stanu zagadnień i stanowi bardzo dobre wprowadzenie do części badawczej. Jest również potwierdzeniem bardzo dobrego rozeznania Doktorantki w wielowątkowym i trudnym temacie pracy jaki sobie wybrała.

W części badawczej pracy można wyróżnić dwa obszary badań. Jeden z nich, zawiera opis badanego staliwa duplex, procesu nagniatania i jego wpływu na właściwości warstwy wierzchniej oraz wpływ na wybrane właściwości mechaniczne i użytkowe m.in. na twardość, odporność na zużycie ściernie, trwałość zmęczeniową stykową i odporność korozyjną w syntetycznym roztworze wody morskiej (rozdziały 3.4-3.6). Drugi obszar badań stanowi wielowskaźnikową analizę techniczno - ekonomiczną procesu nagniatania z oceną potencjału wdrożenia procesu nagniatania do praktyki przemysłowej (rozdział 3.7-3.8) dla elementów odlewanych części maszyn i urządzeń ze staliwa duplex tak poszukiwanych i potrzebnych w wielu gałęziach gospodarki. Część badawcza kończy się podsumowaniem i wnioskami, które stanowią rzetelne, wnikliwe i wyczerpujące omówienie uzyskanych wyników świadczących o wysokim potencjale aplikacyjnym omawianego procesu, co zostało udowodnione przez Doktorantkę. Wykazała ona, że zaproponowana w pracy technologia obróbki nagniataniem jest uzasadniona ekonomicznie i technologicznie. Jednocześnie w podsumowaniu Doktorantka zaznaczyła, że przeprowadzona ocena ekonomiczna przedsięwzięcia nie jest uniwersalna i została wykonana dla konkretnej odlewni (PGO S.A. PIOMA Odlewnia), natomiast bardziej uniwersalnym rozwiązaniem, przedstawionym i zastosowanym w pracy, jest ocena opłacalności inwestycji określana wg modelu wielokryterialnego.

Na szczególne podkreślenie zasługuje dobre opanowanie wiedzy Doktorantki w obszarze zarówno badań materiałowych jak i analizy ekonomicznej potencjału wdrożeniowego badanego procesu. W odniesieniu do badanego staliwa duplex Doktorantka wykazała, że zarówno parametry procesu obróbki nagniataniem jak również niewielkie różnice w składzie chemicznym badanego staliwa duplex mają wpływ na efekt końcowy i rezultaty kształtowania właściwości warstwy wierzchniej i właściwości funkcjonalnych staliwa. Jest to szczególnie ważne i trzeba pamiętać, że nie ma uniwersalnych parametrów procesu dla innych materiałów przy próbie ich wdrażania. Dużym walorem pracy jest również to, że Doktorantka udowodniła (w zastosowanych 10 wariantach badań różniących się parametrami nagniatania), że odpowiedni dobór parametrów procesu gwarantuje zmniejszenie chropowatości i uzyskanie nawet 9 klasy chropowatości powierzchni wg normy PN-EN ISO 1302. Jak słusznie zauważa Doktorantka chropowatość powierzchni będzie miała wpływ na

tarcie, zużycie, zmęczenie badanego materiału i odporność korozyjną (im gładsza powierzchnia tym wyższa odporność korozyjna). Jednocześnie uzyskane przez Doktorantkę wyniki wskazują, że proces nagniatania może być stosowany jako obróbka gładkościowa badanego staliwa, co może być istotne z punktu widzenia przydatności eksploatacyjnej takiej obróbki w warunkach przemysłowych. Może również wyznaczać dalsze kierunki badań w odniesieniu do powiązania wpływu głównych pierwiastków stopowych występujących w staliwie duplex (Cr, Ni, Mo, N) m.in. na parametry chropowatości, w tym na wskaźnik zmniejszenia chropowatości  $K_{Rz}$  i  $K_{Ra}$  i wyjaśnienia dlaczego dla staliwa GX2CrNiMoN22-5-3 otrzymano wyższe wartości niż dla GX2CrNiMoN25-6-3. Stanowić może również inspirację do badań wpływu procesu NSNT na właściwości warstwy wierzchniej dla innych materiałów stosowanych na odlewy.

W stosunku do badań zużycia tribologicznego nasuwa się sugestia o uzupełnienie badań o zużycie w warunkach erozyjno-korozyjnych, gdyż bardzo często produkowane odlewy ze staliwa duplex są elementami pomp transportujących nie tylko czyste ciecze, ale również zanieczyszczone cząstkami stałymi.

Pragnę podkreślić, że Doktorantka pisząc niniejszą dysertację wykazała się dużą wiedzą z zakresu problematyki ujętej w zrealizowanej pracy oraz bardzo dobrym przygotowaniem do prowadzenia badań i analizy wyników. Wykazała się wnikliwością i sumiennością w opracowywaniu uzyskanych wyników, które mają duże znaczenie zarówno poznawcze jak i aplikacyjne. Na podstawie jej badań można wnioskować jak ważnym zagadnieniem jest zaproponowany proces obróbki nagniataniem dla odlewów. Dlatego wysoko oceniam przedstawioną mi do recenzji pracę.

W recenzowanej rozprawie, znalazły się jednak pewne treści wymagające wyjaśnienia przez Doktorantkę:

- W zakresie badań korozyjnych prosiłabym Doktorantkę o podanie wyjaśnienia czym kierowała się w wyborze roztworu wody morskiej. Zwłaszcza, że większość badań korozyjnych stali i staliwa duplex przeprowadza się w 3% roztworach NaCl lub KCl.
- W zakresie przeprowadzonych badań wytrzymałościowych proszę o wyjaśnienie różnicy w stosowanych terminach: wytrzymałość zmęczeniowa i trwałość zmęczeniowa.

## **Wniosek końcowy**

W podsumowaniu mojej recenzji, stwierdzam, że przesłana mi do opinii rozprawa doktorska Pani mgr inż. **Joanny Jasińskiej pt.: „Ocena właściwości funkcjonalnych**

**bezmiedziowego staliwa duplex po procesie nagniatania statycznego naporowego tocznego”** spełnia wymogi stawiane przez Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku, w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim oraz Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. Ustaw nr 65 poz.595 z późn. zm.) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Częstochowskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. **Joanny Jasińskiej** do publicznej obrony.

Ponadto uwzględniając szerokie spektrum przeprowadzonych przez Doktorantkę badań i wnikliwe przedstawienie możliwości wdrożenia obróbki nagniataniem (NSNT) dla wybranych gatunków staliwa duplex wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Joanny Jasińskiej.

dr hab. inż. Barbara Kalandyk, prof. AGH

Kraków, dnia 13.05.2022