Kraków, 02 luty 2026 r.

Imię i nazwisko recenzenta
Dr hab. inż. Marek Wojtaszek, prof. AGH
Dane adresowe:
Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Recenzja pracy doktorskiej

Mgr inż. Marii Gąsiorkiewicz

pod tytułem: Opracowanie technologii walcowania pierścieni na przykładzie stopu aluminium

przygotowanej pod kierunkiem
Prof. dr hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego

1. Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej. Podstawa prawna art. 187 ust. 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571).

Opinia dotycząca przedmiotowej rozprawy doktorskiej zawiera trzy elementy:

1) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie inżynieria materiałowa;

2) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktorantkę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora;

3) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Pierścienie są elementem konstrukcyjnym, stosowanym przede wszystkim w energetyce oraz w sektorze transportowym. Stanowią komponenty łożysk, silników, turbin, siłowni wiatrowych, generatorów, reaktorów jądrowych i wielu innych wysoko odpowiedzialnych konstrukcji.

Jedną z kluczowych, coraz częściej stosowanych metod wytwarzania pierścieni, w szczególności tych o dużych masach, jest walcowanie. Technologia walcowania pierścieni znana jest już od ok. 200 lat, jednak jest ciągle doskonalona i rozwijana. Głównym tego powodem jest możliwość otrzymania w ten sposób produktów o korzystnych własnościach mechanicznych przy relatywnie małych stratach materiału.

Przedmiotem rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Marii Gąsiorkiewicz, napisanej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego, jest opracowanie technologii wytwarzania pierścieni ze stopu aluminium w procesie walcowania na gorąco, z wykorzystaniem prototypowej walcarki wyposażonej w wychylny trzpień kształtujący. Recenzowana rozprawa doktorska została napisana w języku polskim i zredagowana w układzie typowym dla prac reprezentujących nauki techniczne. Liczy 115 stron w formacie A4 i zawiera 107 rysunków. Rozprawa została podzielona na jedenaście rozdziałów. Pierwsza część to „Wprowadzenie", druga zatytułowana została „Stan zagadnienia - literatura" i zawiera przegląd literatury w przedmiotowym temacie oraz podsumowanie rozważań teoretycznych, a trzecia to „Teza i cel pracy". Rozdziały 4 i 5 zawierają kolejno opis stanowiska badawczego i materiału do badań. W rozdziałach numerowanych od 6 do 9 Doktorantka przedstawiła wyniki własnych badań: modelowania numerycznego MES, testów walcowania, badań własności walcowanych wyrobów oraz analizę ich mikrostruktury. Kolejne rozdziały, o numerach 10 i 11, zawierają opis potencjału wdrożeniowego wyników oraz ich podsumowanie. W pracy zamieszczono jeszcze nie numerowane rozdziały; „Literatura" i „Spis rysunków".

We wprowadzeniu Doktorantka przedstawiła czytelnikowi podstawy technologii walcowania pierścieni oraz zakres ich zastosowań jako elementów konstrukcji. Opisała problemy technologiczne procesu, prowadzące do tworzenia się określonych wad. Zauważyła, że wiele z tych problemów występuje podczas walcowania pierścieni ze stopów aluminium. Na podstawie analizy dostępnej literatury zestawiła wybrane prace i rozwiązania technologiczne w tym obszarze. Zwróciła uwagę na fakt, że obecnie jednym z kluczowych narzędzi stosowanych przy projektowaniu procesu walcowania pierścieni jest modelowanie numeryczne. Zauważyła też, że w odpowiedzi na potrzebę doskonalenia istniejących rozwiązań tworzone są zaawansowane stanowiska testowe do fizycznego modelowania walcowania pierścieni, na których znacząco łatwiej niż na komercyjnych liniach można modyfikować warianty technologii, testując nowe kształty narzędzi lub innowacyjne strategie prowadzenia procesu.

Na podstawie analizy literatury Doktorantka wskazała luki w ogólnodostępnej wiedzy, w zakresie technologii walcowania lekkich stopów i rozwiązań konstrukcyjnych walcarek. Zidentyfikowała w tym obszarze otwarty problem badawczy, którego podjęcie i rozwiązanie umożliwi w jej opinii uzyskanie wyrobu o dokładniejszym kształcie i lepszych własnościach, w porównaniu do wytwarzanego zgodnie z obecną technologią. Ta część rozprawy stanowi dobre wprowadzenie do podjętych badań. Przy jej opracowaniu Doktorantka powołała się na 82 pozycje literaturowe spośród cytowanych ogółem 83 pozycji. Są to przede wszystkim publikacje naukowe, ale też podręczniki dydaktyczne i strony internetowe.

W części „Teza i cel pracy" Doktorantka przedstawiła cel podjęcia tematyki badawczej i sformułowała tezę badawczą pracy. Przedstawiła też metody konieczne do realizacji celu i weryfikacji tezy.

Kolejna część zawiera kompleksowy opis stanowiska badawczego walcarki laboratoryjnej, które na potrzeby rozprawy zostało zaprojektowane w Łuksiewicz – PIT. Rozwiązanie to jest chronione patentem, którego Doktorantka jest współautorem. Funkcjonalność stanowiska obejmuje możliwość wychylania trzpienia kształtującego w zakresie $\pm 7^{\circ}$ względem osi pionowej walca głównego, co pozwala na walcowanie w

różnych trybach pracy trzpienia; w ułożeniu prostym, w pochyleniu dodatnim lub ujemnym oraz przy ruchu wahliwym. Stanowisko zostało wykorzystane do realizacji pracy doktorskiej w dwóch etapach. W pierwszym etapie posłużyło do wykonania wstępnych prób walcowania, w celu opracowania parametrów wyjściowych do procesu kształtowania pierścieni ze stopu aluminium 6082. W kolejnym etapie na stanowisku realizowano badania ujęte w tezie rozprawy, polegające na wykorzystaniu możliwości regulacji ułożenia trzpienia kształtującego i dynamicznych zmian jego ułożenia w trakcie procesu walcowania. Doktoranta przedstawiła obliczenia związane trzpieniem kształtującym. Opisała sposób pracy i funkcjonalność podstawowych komponentów walcarki oraz aplikacji panelu operatorskiego.

Rozdział 5 zawiera charakterystykę materiału przyjętego do badań, którym był stop aluminium EN A W-6082, w stanie po obróbce T6. Rozdział zawiera wyniki badań kontrolnych składu chemicznego stopu oraz opis jego makro i mikrostruktury.

W rozdziale nr 6, zatytułowanym „*symulacje numeryczne*", Doktorantka zawarła informacje na temat sposobu wykonania modelowania numerycznego metodą elementów skończonych (MES) a następnie przedstawiła wybrane wyniki symulacji. Do obliczeń MES zastosowała moduł Ring Rolling komercyjnego programu QForm.

Rozdział 7 zawiera wyniki wstępnych prób pierścieni na walcarce laboratoryjnej. Testy wykonano przy standardowym ułożeniu trzpienia, a ich celem było opracowanie wytycznych do procesu walcowania. Punktem odniesienia do opracowania warunków testów były wyniki analizy MES.

W rozdziale 8, pt. „Badania doświadczalne walcowania pierścieni dla procesu z różnym ustawieniem trzpienia", Doktorantka rozszerzyła zakres badań o wyniki testów prowadzonych z modyfikowanym ustawieniem trzpienia kształtującego. Parametry bazowe, opracowane na wcześniejszych etapach, uzupełniła o kolejne zmienne, którymi były redukcja wysokości pierścienia i ustawienie trzpienia. Rozszerzyła też program badań o wyniki prób prowadzonych z wahliwym ruchem trzpienia. Korzystając z możliwości systemu sterującego i interfejsu stanowiska, Doktorantka zebrała kluczowe informacje opisujące przebieg testów.

W kolejnym etapie Doktorantka analizowała stan mikrostruktury i wykonała badania wybranych własności pierścieni, otrzymanych w wyniku stosowania wytypowanych wariantów procesu. W opinii recenzującego rezultaty te mogły być przedstawione jako osobny rozdział, oddzielnie od opisu i charakterystyki przebiegu samego procesu.

W rozdziale nr 10 Doktorantka przedstawiła potencjał wdrożeniowy zaproponowanej metody walcowania pierścieni. Opracowała zestaw parametrów operacyjnych, których zastosowanie umożliwiło wykonanie pierścieni o relatywnie dużych średnicach w warunkach stabilnego przebiegu procesu. Efektem było wyprodukowanie dwóch prototypów o poprawnym kształcie i o wymiarach znacząco większych niż stosowano podczas realizacji pracy doktorskiej.

W rozdziale 11 Doktorantka podsumowała wyniki badań, prowadzonych w zakresie opracowania i analizy procesu walcowania pierścieni ze stopu aluminium EN AW-6082, z wykorzystaniem prototypu walcarki laboratoryjnej z wychylnym trzpieniem kształtującym. Opisała i zinterpretowała rezultaty badań oraz oceniła ich znaczenie.

W części „Literatura" Doktorantka zawarła 83 pozycje literaturowe, Są to zarówno pozycje opublikowane wcześniej niż w ostatnich 10 latach, jak też nowe lub najnowsze opracowania tematyczne. Cytowania obejmują przede wszystkim publikacje w czasopismach o szerokim dostępie, dodatkowo podręczniki i odniesienia do adresów stron internetowych. Przy opracowaniu tej części pracy Doktorantka nie ustrzegła się usterek. W przypadku powołań na strony www [np. 5,6,19,20] brak jest informacji o dacie ostatniego dostępu, pozycje 28 i 29 są powielone. W kilku przypadkach numery odniesień w treści pracy do pozycji literaturowych w spisie są błędne [np. pozycje oznaczone w treści dysertacji numerami 46,54,65]. Zakres cytowanej literatury został dobrany poprawnie, obejmuje przegląd najważniejszych prac opublikowanych w podjętej tematyce badawczej. Stanowi też wystarczającą podstawę do motywacji badań podjętych w pracy doktorskiej i do sformułowania tezy.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej wpisuje się w zakres dyscypliny inżynieria mechaniczna i obszary badawcze realizowane na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Całość rozprawy doktorskiej Pani Marii Gąsiorkiewicz świadczy zarówno o dobrej znajomości podjętego przez nią tematu badawczego w aspekcie teoretycznym, jak też o jej wiedzy praktycznej. Prowadząc analizę literatury tematycznej Doktorantka zauważyła występujący w Świecie trend do projektowania i budowy prototypowych stanowisk do walcowania pierścieni, pozwalających na takie modyfikacje komercyjnych rozwiązań, które z przyczyn technicznych nie są możliwe na instalacjach przemysłowych. Przykładami tego są między innymi stanowiska badawcze funkcjonujące w Cambridge, Aachen, Valenciennes oraz na Politechnice Lubelskiej. Możliwości tych stanowisk, oparte przede wszystkim na niezależnym sterowaniu narzędziami i rozszerzonych możliwościach pomiarowych, umożliwiają wprowadzanie do technologii nowych rozwiązań i ich testowanie. Doktorantka zauważyła, że takie podejście otwiera dla niej możliwość prowadzenia badań nad modyfikacją procesu walcowania pierścieni ze stopu aluminium EN AW-6082 w zakresie znacząco szerszym niż modelowanie i obliczenia matematyczne. Efektem było sformułowanie tezy pracy: „*wprowadzenie możliwości wychylania trzpienia kształtującego w procesie walcowania pierścieni umożliwia lepszą kontrolę kształtu i właściwości pierścieni ze stopu aluminium 6082*". Do weryfikacji tezy Doktorantka przyjęła podejście, łączące projektowanie konstrukcyjne, modelowanie numeryczne, testy na prototypowej walcarce i kompleksowe badania materiałowe. Doktorantka zdefiniowała też cel badań, którym było opracowanie i przeanalizowanie procesu walcowania pierścieni ze stopu aluminium EN AW-6082 prowadzonego z wykorzystaniem laboratoryjnej walcarki pierścieni o regulowanym pochyleniu trzpienia. Dlatego, na potrzeby rozprawy zaprojektowano i wykonano unikatową walcarkę, umożliwiającą pracę przy wychylonym trzpieniu kształtującym lub przy jego wahliwym ruchu oraz kompleksowy pomiar parametrów tych procesów. Mając już do dyspozycji stanowisko badawcze Doktorantka poprawnie zinterpretowała, że szansą na modyfikację technologii walcownia jest połączenie badań modelowych z wykorzystaniem metody elementów skończonych, testów w warunkach laboratoryjnych i kompleksowej analizy wyrobów. Ponieważ zrealizowanie opartego na takim podejściu planu

badawczego potwierdziło postawioną w pracy tezę, **zatem stwierdzić można, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska odzwierciedla odpowiednią ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w Dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna**.

Część badawcza dysertacji obejmuje charakterystykę stopu EN AW-6082, opis budowy i działania prototypowego stanowiska do walcowania zaprojektowanego na poczet realizacji pracy i związane z nim obliczenia, wyniki modelowania MES i ich wykorzystanie do projektowania wstępnych prób walcowania, rezultaty właściwych testów prowadzonych przy nowatorskim ułożeniu trzpienia kształtującego lub z jego ruchem wahliwym oraz wyniki badań mikrostruktury i własności pierścieni. Część tą zamykają informacje na temat opracowania parametrów operacyjnych do wytwarzania pierścieni o dużych średnicach, ich poprawnym wykonaniu na walcarce oraz o zakończonych sukcesem badaniach wybranego pierścienia wykonanych przez zewnętrznego interesariusza, potencjalnego odbiorcę zmodyfikowanej technologii.

W pierwszym etapie Doktorantka opisała stanowisko badawcze zaprojektowane na potrzeby rozprawy, umożliwiające wychylania trzpienia kształtującego względem osi pionowej walca głównego. Wykonała też część obliczeń projektowych związanych z działaniem trzpienia. Określiła parametry pracy walcarki, następnie wykonała obliczenia dla trzpienia kształtującego; prędkości obrotowej i liniowej, dane do siłowników w napędzie trzpienia, przełożenia napędu, momentu na wale silnika oraz mocy silnika. Wyniki tych obliczeń pozwoliły Doktorantce na dobranie napędu z przekładnią, odpowiednich dla realizacji posuwu oraz wychyleń trzpienia. Następnie wykonała badania kontrolne składu chemicznego i mikrostruktury materiału wyjściowego do badań, którym był stop aluminium EN A W-6082.

W kolejnym etapie Doktorantka przeprowadziła analizę numeryczną MES procesu walcowania pierścieni, przy standardowym ułożeniu trzpienia. Obliczenia wykonała w programie QForm, a ich głównym celem było określenie korzystnej wartości gniotu zadawanej podczas 1 obrotu pierścienia. Modele geometryczne elementów walcarki i wsadu Doktorantka zaprojektowała w programie SolidWorks, a opis reologii stopu zaimplementowała z bazy danych. Dla przyjętych wartości gniotu wyznaczyła charakterystyki prędkości przyrostu średnicy pierścienia, co umożliwiło modelownie ruchu trzpienia. W oparciu o wyniki symulacji wskazała najkorzystniejszą analizowaną wartość gniotu oraz graniczną prędkość liniową trzpienia podczas walcowania pierścieni z badanego materiału. Opracowała w ten sposób wytyczne do wykonania wstępnych testów na walcarce. Ogólnie, ta część pracy została zaplanowana i wykonana poprawnie, jednak jej lektura skłania do polemiki. Uwagi i pytania do Doktorantki dotyczące tego etapu badań sformułowano w dalszej części recenzji.

Następnym krokiem w badaniach były testy walcowania pierścieni na prototypowej walcarce, przy standardowym ułożeniu trzpienia. Celem było zdefiniowanie szczegółowych parametrów procesu. Punktem odniesienia do opracowania warunków testów były wyniki modelowania MES. Jako zmienną w procesie Doktorantka przyjęła wartość gniotu przypadającą na 1 obrót walcowanego pierścienia. Wyniki wstępnych testów i ich analiza dały Doktorantce podstawę do uściślenia parametrów procesu walcowania pierścieni ze stopu EN A W-6082. Pozwoliły też skompletować bazę danych o procesie, między innymi zmian obciążenia i momentu siły na trzpieniu, które mogą być przydatne podczas projektowania procesu w warunkach przemysłowych.

Wyniki pomiarów geometrii pierścieni potwierdziły poprawność ich wykonania, co otworzyło drogę do wykonania kluczowych dla pracy testów, z różnymi ustawieniami trzpienia. W tej części pracy wątpliwości recenzującego budzi dobór wartości gniotów, ze względu na brak spójności przyjętego podejścia i wyników modelowania MES.

W kolejnym etapie Doktorantka wykonała testy walcowania z modyfikowanym ustawieniem trzpienia kształtującego, kluczowe dla weryfikacji postawionej tezy. Parametry bazowe uzupełniła o kolejne zmienne, którymi były redukcja wysokości pierścienia i ustawienie trzpienia kształtującego wychylnie względem osi pionowej. Wytypowała korzystne zestawienie podstawowych parametrów walcowania pierścieni; temperatura 480 °C, gniot 0.4 mm/1 obrót, redukcja wysokości pierścienia 5 mm oraz ustawienie trzpienia w odniesieniu do osi pionowej odpowiednio 0°, 2° i 4°. Zakres badań rozszerzyła o testy z wahliwym ruchem trzpienia, które umożliwiły wykonanie wyrobów o poprawnej geometrii. Na tym etapie Doktorantka zebrała kluczowe informacje opisujące przebieg procesu, takie jak zmiana przemieszczenia trzpienia w czasie, zmiany średnic pierścienia oraz momenty siły mierzone na trzpieniu i walcach. Ich analiza pozwoliła na ilościową i jakościową ocenę przebiegu walcowania pierścieni w podjętych wariantach. Informacje te mogą posłużyć jako wytyczne do projektowania komercyjnych procesów walcowania z wychylnym trzpieniem lub jego wahliwym ruchem.

W kolejnym etapie Doktorantka analizowała stan mikrostruktury i wybrane własności pierścieni, otrzymanych w wyniku stosowania poszczególnych wariantów procesu. Ta część pracy została zaplanowana i wykonana właściwie. W opinii recenzującego rezultaty te, ze względu na ich znaczenie, mogły być przedstawione jako osobny rozdział, oddzielnie od opisu i charakterystyki przebiegu procesu.

Prowadząc pomiary twardości metodą Vickersa i analizując ich rozkłady Doktorantka wykazała wpływ miejsca pomiaru na wyniki, co świadczy o zachodzeniu różnego typu zjawisk, przede wszystkim cieplnych, takich jak zróżnicowane w objętości oddawanie ciepła do narzędzi i otoczenia podczas procesu. Stwierdziła też istotne różnice w rozkładach twardości w zależności od strategii ułożenia trzpienia podczas procesu.

Do analizy mikrostruktury odkształconych pierścieni Doktorantka stosowała szerokie spektrum technik badawczych; mikroskopię świetlną, skaningową i transmisyjną. Oceniła stan mikrostruktury w poszczególnych strefach pierścieni odkształcanych konwencjonalnie i w warunkach wychylonego trzpienia, porównała też wpływ przyjętego wariantu na charakter płynięcia. Prowadząc analizę EBSD i wyznaczając parametr KAM określiła wartości lokalnego odkształcenia. Wykonała też analizę EDS w celu identyfikacji występujących w mikrostrukturze faz, obserwowanych w postaci wydzieleń. Potwierdziła między innymi występowanie wydzieleń fazy β (Mg_2Si) fazy żelazowej α a także bardzo drobnych wydzieleń fazy θ (Al_2Cu), co było zaskoczeniem z powodu małej zawartości miedzi w badanym stopie. Doktorantka wykazała też, że o ile w pierścieniu odkształcanym konwencjonalnie procesy przebudowy mikrostruktury przebiegają w zróżnicowany sposób w zależności od lokalizacji obserwowanego obszaru w objętości, o tyle w przypadku pierścienia kształtowanego wychylonym trzpieniem nastąpiła pełna rekrystalizacja i stwierdzono kierunkowe ułożenie ziaren. Ten rozdział jest ważnym elementem pracy doktorskiej, ponieważ wiąże sposób zadania odkształcenia z szeroko pojętym stanem mikrostruktury wyrobów, określając w ten sposób efekty zaproponowanej modyfikacji technologii walcowania.

Zamykając część badawczą, Doktorantka przedstawiła potencjał wdrożeniowy proponowanej metody walcowania pierścieni. W oparciu o wyniki badań opracowała zestaw parametrów operacyjnych, których zastosowanie umożliwiło wykonanie pierścieni o relatywnie dużych średnicach, w warunkach stabilnego przebiegu procesu. Efektem było wyprodukowanie dwóch prototypów o poprawnym kształcie i wymiarach większych niż stosowano podczas realizacji pracy doktorskiej. Wyroby te Doktorantka traktowała jako reprezentatywne dla demonstracji potencjalnym odbiorcom możliwości technologicznych opracowanego procesu. Informacje zawarte w tym rozdziale mają znaczenie utylitarne, ponieważ potwierdzają możliwości przeskalowania technologii i jej adaptacji do wymagań komercyjnych. Istotna jest też informacja, że jeden z pierścieni wzbudził zainteresowanie potencjalnego odbiorcy, który wykonał we własnym zakresie dodatkowe badania kontrolne tego wyrobu. Uzyskane rezultaty potwierdziły stabilność wymiarową pierścienia po sezonowaniu, co potwierdza możliwość wykonywania tego wyrobu w warunkach przemysłowych i następnie jego stosowania zgodnie z wymaganiami potencjalnych odbiorców.

Podsumowując swoją pracę, Doktorantka w sposób poprawny zestawiła i poddała dyskusji rezultaty wykonanej analizy procesu walcowania pierścieni ze stopu aluminium EN AW-6082, z wykorzystaniem prototypu walcarki laboratoryjnej z wychylnym trzpieniem kształtującym. Krok po kroku zinterpretowała wyniki badań oraz oceniła ich znaczenie. Wykazała, że kontrola pochylenia trzpienia jest efektywnym narzędziem które można zastosować do poprawy procesu walcowania pierścieni, otwierając drogę do wdrożenia ulepszonej w ten sposób technologii.

Podsumowując ocenę części badań własnych stwierdzam, że zastosowane metody badawcze były wystarczające dla zrealizowania tematu pracy i zadań wynikających z przyjętej tezy oraz celu rozprawy. Doktorantka samodzielnie planowała kolejne etapy badań, wykorzystując przy tym wyniki uzyskane na wcześniejszych etapach. Wykazała znajomość technik koniecznych do wykonania podjętych obliczeń i eksperymentów. Potrafiła też poprawnie interpretować otrzymane wyniki, co finalnie pozwoliło na zrealizowanie celu pracy i potwierdzenie postawionej tezy. **Należy zatem stwierdzić, że Doktorantka ma umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**.

W wyniku realizacji programu badań Doktorantka uzyskała szereg interesujących wyników. Za najważniejsze osiągnięcia rozprawy doktorskiej recenzent uważa:

1. Udział w zaprojektowaniu prototypowej walcarki do walcowania pierścieni i współautorstwo w patencie na to rozwiązanie, w szczególności wykonanie obliczeń umożliwiających opracowanie wytycznych do sterowania ruchem i ułożeniem trzpienia kształtującego prototypowej walcarki oraz dobór napędu z przekładnią.
2. W oparciu o wyniki modelowania numerycznego MES w programie QForm wyznaczenie prędkości granicznych trzpienia kształtującego oraz opracowanie podstaw do testów walcowania w warunkach laboratoryjnych.
3. Na podstawie wyników testów walcowania z wychylonym trzpieniem i przy jego wahliwym ruchu wyznaczenie korzystnych zestawień kluczowych parametrów walcowania pierścieni w tych warunkach oraz zidentyfikowanie korzyści i wad wynikających ze stosowania wymienionych modyfikacji technologii.

4. W oparciu o wyniki pomiarów twardości i kompleksowych badań mikrostruktury wykonanie analizy płynięcia materiału i oceny zjawisk mikrostrukturalnych oraz powiązanie ich ze sposobem ułożenia trzpienia. Wykazanie na tej podstawie, że stosowanie wychylania trzpienia kształtującego w procesie walcowania pierścieni w opracowany sposób ma korzystny wpływ na kształt i własności pierścieni ze stopu EN AW-6082.
5. Opracowanie zestawu parametrów operacyjnych i wykonanie poprawnych geometrycznie pierścieni o relatywnie dużych średnicach, w warunkach stabilnego przebiegu procesu. Potwierdzenie w ten sposób możliwości przeskalowania technologii i jej adaptacji do wymagań komercyjnych.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana praca stanowi wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa. Nie tylko wnosi nowe, interesujące rozwiązania do technologii wytwarzania pierścieni metodą walcowania, ale ma też charakter utylitarny. Realizacja zaproponowanej przez Doktorantkę idei badawczej doprowadziła do opracowania modyfikacji, polegających na zmianie ułożenia trzpienia kształtującego lub wprowadzeniu jego ruchu wahliwego. Modernizacje te otwierają możliwość ulepszenia stosowanej obecnie technologii i poprawy jakości produkowanych w ten sposób wyrobów, co daje potencjał do ich wdrożenia.

Biorąc pod uwagę powyższe argumenty **należy uznać, że recenzowana praca doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**.

Kilka kwestii w pracy doktorskiej budzi wątpliwości i wymaga wyjaśnienia. Poniżej przedstawiam uwagi oraz pytania, do dyskusji.

1. Rozdział 6, strona 53. Na podstawie wyników modelowania MES Doktorantka wykazała, że w zakresie 4÷1 mm / 1 obrót pierścienia następuje utrata prawidłowej geometrii kształtu, wskutek wciskania się trzpienia w pierścień. Stwierdziła, że oprócz zbyt dużej wartości przemieszczenia trzpienia powodem może być zbyt wysoka prędkość obrotowa na walcach stożkowych. Następnym krokiem mogło być zweryfikowanie tego stwierdzenia, przez wykonanie analizy MES procesu w warunkach zredukowanej prędkości obrotowej. Czy taką próbę podjęto?
2. Rozdział 6 (6.2, str. 54): Doktorantka stwierdziła co następuje: „*Przeprowadzone badania numeryczne wykazały, że najistotniejszym parametrem procesu walcowania jest prędkość przemieszczenia trzpienia, która powinna być mniejsza niż 1 mm/ 1 obrót*". Treść wniosku powinno uzupełnić stwierdzenie „ *... że dla badanego stopu oraz w przyjętych do analizy pozostałych parametrach procesu najistotniejszym parametrem ...*" . Nie można jako pewnik przyjąć, że stwierdzenie będzie nadal poprawne np. przy innej temperaturze walcowania.
3. Rozdział 7, tabela 2. Jako zmienną podczas wstępnych testów walcowania przyjęto wartość gniotu przypadającą na 1 obrót walcowanego pierścienia, odpowiednio 0,7, 0,5, oraz 0,4 mm/1 obrót. Wyniki modelowania MES wykazały, że najkorzystniejszą wartością gniotu w zakresie 0,7 - 4,0 mm/ 1 obrót jest ta najniższa przyjęta do modelowania (0,7 mm). Już podczas studiowania rozdziału 6 (wyniki modelowania) nasuwa się pytanie, dlaczego przy takiej tendencji Doktorantka nie wykonała analizy MES w wariantach dla niższych wartości gniotu / 1 obrót, np. tych wartości, które zastosowała podczas wstępnych testów. Dodatkowo, jeżeli w efekcie testów

wykazano, że najkorzystniejszą wartością jest ta najniższa, dlaczego nie rozszerzono kontrolnie zakresu testów o jeszcze niższe wartości, np. 0.3 mm /1 obrót.

4. Rozdział 6 i 7. Czy po wyznaczeniu parametrów bazowych, co uzyskano na podstawie wstępnych testów walcowania (rozdz. 7), przeprowadzono modelowanie MES procesu przy tych warunkach? Taka strategia dałaby możliwość uzyskania szeregu przydatnych informacji, np. o rozkładach wartości naprężenia średniego lub temperatury podczas kolejnych etapów procesu. Dane te można następnie skonfrontować z wynikami pomiarów wykonywanych podczas prób walcowania.
5. Rozdział 7. Czy mierzono temperaturę powierzchni zewnętrznej pierścienia bezpośrednio po walcowaniu, np. pirometrem lub kamerą termowizyjną? Wyniki takich pomiarów, porównane z rezultatami analizy MES procesu w analogicznych warunkach, pozwoliłyby na walidację warunków początkowych i brzegowych przyjętych podczas modelowania.
6. Rozdział 8 (8.1.) Doktorantka podała, że podczas prowadzenia procesu z redukcją wysokości pierścienia o 10 mm na powierzchni cylindrycznej pierścienia powstało wgłębienie, co było efektem zbyt dużej siły tarcia pierścień - walce stożkowe. Zgodnie z danymi do modelowania MES w układzie wsad - walec nie stosowano smarowania (przyjęto współczynnik tarcia 0,6). Wadę typu „*cavity*" wyeliminowano przez zmniejszenie redukcji wysokości do 5 mm, ale czy w opinii Doktorantki jest technicznie możliwe i celowe wprowadzenie środka smarującego, w celu obniżenia współczynnika tarcia w tym układzie i uniknięcie/redukcja tej wady?
7. Rozdział 9 (9.1) Dlaczego do badań techniką TEM wytypowano próbki pobrane z dolnej części pierścienia? Ta strefa ulegała przyśpieszonemu chłodzeniu, ze względu na dłuższy kontakt ze stołem walcarki. Skutkiem było prawdopodobnie wydzielenie się fazy β'' w tej strefie. Dodatkowo, podczas walcowania w wariancie z wychylnym trzpieniem płynięcie materiału w strefie górnej pierścienia jest intensywniejsze, dlatego skutki stosowania modyfikacji powinny być lepiej widoczne. Z wymienionych powodów, w opinii recenzującego, korzystniejsze wydaje się wykonanie obserwacji TEM dla próbek pobranych w strefie górnej pierścieni.

Przedstawione przeze mnie uwagi krytyczne nie wpływają na pozytywną ocenę pracy Pani mgr. inż. Marii Gąsiorkiewicz. Mam też nadzieję, że część postawionych przeze mnie pytań oraz komentarzy zostanie przez Doktorantkę potraktowana jako sugestia do wykorzystania w przyszłych badaniach.

Autorka nie ustrzegła się również usterek o charakterze edycyjnym, językowym i terminologicznym. Przedstawione poniżej niedociągnięcia nie mają istotnego wpływu na ocenę rozprawy doktorskiej. Chciałbym jednak wskazać kilka uwag, które w przyszłości pozwolą Autorce uniknąć zbędnych błędów redakcyjnych, w szczególności kiedy będzie redagowała publikacje lub inne opracowania naukowe:

Rozdział 1. W pracy używane są równoznacznie sformułowania „obróbka plastyczna" (np. str. 7) i „przeróbka plastyczna" (np. str. 10). W treści dysertacji powinna być stosowana jednolita terminologia.

Rozdział 1. Rysunek 2. Sformułowanie zamieszczone bezpośrednio na rysunku „c) przekuwanie i dziurowanie" nie jest poprawne.

Rozdział 2, rysunki 7, 11, 13, 14 – Dysertacja jest zredagowana w języku polskim, dlatego opisy na rysunkach powinny być przetłumaczone z j. angielskiego na polski.

Rozdział 6, rysunki 39, 40: 1) – z powodu zbyt małej czcionki / skali legenda jest nieczytelna, 2) – w celu lepszego przedstawienia rozkładów temperatury i naprężenia średniego korzystnym byłoby powiększenie pierścienia i zmiana widoczności modeli narzędzi na „przezroczyste" - stosując odpowiednią ikonę w programie QForm.

Rozdział 7, str. 55. *„...materiał był nagrzewany w piecu oporowym do temperatury 480 °C i wygrzewany przez co najmniej 40 minut..."* - podczas badań parametry procesu powinny być ściśle definiowane i następnie realizowane. Cytowane stwierdzenie dopuszcza zróżnicowany czas wytrzymywania materiału w piecu (40 minut lub dłużej), co może mieć wpływ na stan mikrostruktury, a w efekcie na własności produktu.

Rozdział 7. Zdaniem recenzującego, rozkłady temperatury i średniego naprężenia otrzymane podczas modelowania MES mogły być przedstawione dla więcej niż jednego przypadku i szerzej opisane, np. porównane dla różnych wariantów procesu.

Rozdziały 7 i 8. Dotyczy rysunków przedstawiających przemieszczenia górnej i dolnej części trzpienia w czasie (rys. 49,50,51,52, 53). Recenzujący rozumie, że wykresy wykonano tak jak przebiegał pomiar na stanowisku, jednak w pracy wyniki można było przedstawić bardziej czytelnie, tak jak je opisano w treści. Należało tak przeliczyć wartości aby przebiegi rozpoczynały się od zera, wtedy przyrost wartości przemieszczenia trzpienia z upływem czasu byłby łatwiejszy do interpretacji i porównania.

Rozdział 8. Sformułowanie *„trzpień o kącie pochylenia 0°"* (np. opis rys. 69 i 70, w treści na str. 70 itp.) oraz sformułowanie *„trzpień wychylony pod kątem 0°"* (np. tytuł podrozdziału 9.1, opisy rysunków 83-88 oraz 100-102) nie są ,w opinii recenzującego, poprawnymi określeniami. Lepszym jest np. „trzpień niewychylony", tak jak zdefiniowano w rozdziale 3 (strona 32) i użyto np. w opisie rysunku 89".

Całość pracy: Niektóre rysunki i ich opis mają błędną numerację (str. 37, opis: rys 222 zamiast 22, str. 34, opis: rys 177 zamiast 17, str. 35, opis: rys 188 zamiast 18 oraz rys. 199 zamiast 19, str. 42, opis: rys 244 zamiast 24, str. 46, opis: rys. 299 zamiast 29, str. 68, opis: rys. 555 zamiast 55).

W treści występują inne niż wymienione wyżej drobne błędy, o charakterze edycyjnym i językowym.

4. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki określonej w art. 187 ust. 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

[redacted]

.....

(podpis recenzenta)