

Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Hadasik
Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Materiałowej
Katedra Technologii Materiałowych
ul. Krasińskiego 8
40-019 Katowice

Katowice, 30.08.2023 r.

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. **PIOTRA SURDACKIEGO**

nt. "**Studium procesu walcowania pierścieni stalowych na gorąco**" wykonana na zlecenie

Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Lubelskiej,

zgodnie z uchwałą RD IMECH z dnia 28 czerwca 2023 roku.

(Pismo RDN/IM/140/2023 z dnia 18 lipca 2023.)

1. Ocena istotności problemu naukowego rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Surdackiego została wykonana w roku 2023 na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Andrzeja Gontarza. Promotorem pomocniczym rozprawy jest dr inż. Grzegorz Winiarski. Praca została napisana w klasycznym układzie. Zawiera spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń, wprowadzenie, przegląd literatury, cele i tezę pracy, wyniki badań własnych, podsumowanie i wnioski, wykaz literatury oraz krótkie streszczenie w języku polskim i angielskim. W spisie literatury Doktorant podaje 203 pozycje krajowe i zagraniczne do których odwołuje się w swojej rozprawie. Rozprawa obejmuje 162 strony, 122 rysunki i 22 tablice. Zamieszczony w pracy materiał ilustracyjny w postaci wykresów i tabel dostatecznie podkreśla wyniki badań własnych i w wystarczającym stopniu stanowi wsparcie merytoryczne dla wniosków końcowych rozprawy. Autor używa poprawnej terminologii technicznej. Rozprawa napisana jest w języku polskim.

Tematyka rozprawy dotyczy kształtowania plastycznego na gorąco pierścieni stalowych, które znajdują zastosowanie m.in. w przemyśle maszynowym, lotniczym, motoryzacyjnym, elektrycznym. W recenzowanej rozprawie doktorskiej analizowane są aspekty teoretyczne i technologiczne procesu walcowania na gorąco, który charakteryzuje się dużą nieliniowością, asymetrią, trójwymiarowymi odkształceniami w trakcie procesu. To czyni, że proces ten jest mało poznany i jak podaje Doktorant trudno znaleźć w literaturze opracowania dotyczące wpływu parametrów technologicznych na kształt i wymiary gotowych pierścieni.

W przemyśle parametry technologiczne walcowania pierścieni dobierane są na podstawie szeregu prób i eliminowania błędów.

Należy podkreślić, że podjęcie pracy doktorskiej dotyczącej walcowania na gorąco stalowych pierścieni o średnicy do 200 mm odpowiada zapotrzebowaniu zgłoszonemu przez krajowy przemysł. W odpowiedzi na potrzeby przemysłu została zakupiona w Politechnice Lubelskiej walcarka do walcowania promieniowego pierścieni. Umożliwia to, na drodze eksperymentalnej, a także uzupełnione przez symulacje numeryczne, określenie parametrów technologicznych pozwalających na prawidłową realizację procesu walcowania na gorąco i otrzymanie pierścieni stalowych o prawidłowym kształcie i wymaganych wymiarach.

Realizacja badań w zakresie kształtowania plastycznego na gorąco pierścieni stalowych ma charakter aktualny i nowatorski, jest uzasadniona, a tym samym spełnia oczekiwania w aspekcie naukowym. Ma znaczenie zarówno poznawcze jak i technologiczne. Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Surdackiego wpisuje się zatem swoją tematyką w interesujące i nadal aktualne obszary badań poznawczych i aplikacyjnych nauk technicznych, w obszarze inżynierii mechanicznej. Należy dodać, że rozprawa ta wpisuje się także w tematykę badawczą realizowaną i rozwijaną od wielu lat w Katedrze Obróbki Plastycznej Metali Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej.

2. Merytoryczna ocena pracy

Studium literaturowe zawarte na 65 stronach składa się z wprowadzenia oraz dwóch rozdziałów, które obejmują zagadnienia dotyczące tematyki pracy. We wprowadzeniu do analizy stanu zagadnienia Doktorant wskazuje, że technologia walcowania pierścieni rozwijana jest od 150 lat, a przez ostatnie lata prowadzono wiele prac badawczych w tym zakresie. Mechanika procesu walcowania pierścieni jest bardziej skomplikowana niż proces walcowania wyrobów długich i dotychczas proces ten nie jest dostatecznie zbadany. W Polsce walcowanie pierścieni na gorąco w zakresie średnic od 280 do 4000 mm stosuje Huta Bankowa, a producentem małych pierścieni jest Fabryka Łożysk Tocznych w Kraśniku. W rozdziale drugim Doktorant omawia zastosowanie pierścieni stalowych oraz metody ich wytwarzania. Doktorant wskazuje na trzy kategorie wymagań dotyczących technologii walcowania pierścieni. Pierwsze to wymagania dotyczące otrzymania poprawnego przekroju poprzecznego, drugie odnoszą się do uniwersalności narzędzi, które można zastosować dla różnych profili pierścieni, a po trzecie proces powinien zapewnić dużą wydajność i niskie koszty wytwarzania. W przeglądzie metod wytwarzania zawarto metody odlewania, obróbki skrawaniem oraz obróbki plastycznej. Technologie wytwarzania pierścieni metodami

przeróbki plastycznej obejmują kucie matrycowe, rozkuwanie na trzpieniu, prasowanie obwiedniowe oraz kształtowanie pierścieni w walcierce skośnej. Druga część przeglądu piśmiennictwa jest bezpośrednio związana z tematyką rozprawy i badaniami własnymi. Doktorant na podstawie przeglądu literatury dzieli proces walcowania pierścieni na dwa kryteria. Pierwsze obejmuje kierunek odkształcania i stąd wyróżnia procesy walcowania promieniowego oraz promieniowo - osiowego. Drugie kryterium dotyczy temperatury walcowania i podział na procesy walcowania na zimno i walcowania na gorąco. Doktorant szczegółowo omawia walcowanie promieniowe pierścieni jako metodę którą stosowano w badaniach własnych. Zwraca uwagę, że główną wadą tego procesu z użyciem prostych narzędzi jest brak ograniczenia wysokości walcowanego pierścienia, a w konsekwencji powstanie wady zwanej „rybim ogonem”. W uzupełnieniu metod walcowania pierścieni w walcarkach specjalnych Doktorant przedstawia walcowanie promieniowo – osiowe, walcowanie pierścieni kształtowych, walcowanie z zastosowaniem dodatkowych tulei. Podkreśla, że większość procesów walcowania pierścieni prowadzonych jest na gorąco, co pozwala na stosowanie szerszego zakresu przekrojów niż na zimno ale kosztem dokładności wymiarowych. Kolejny podrozdział obejmuje przegląd maszyn do walcowania pierścieni. Z uwagi na konfigurację pierścienia podczas walcowania Doktorant podzielił dostępne maszyny na pionowe i poziome. W następnym podrozdziale opisano czynniki wpływające na przebieg procesu walcowania pierścieni stalowych. Doktorant opisuje wpływ kształtu i wymiarów wsadu, prędkości narzędzi, temperatury nagrzewania wsadu, zastosowanie i położenie rolek kalibrujących. Szczegółowo podaje zależności geometryczne pomiędzy narzędziami a kształtowanym pierścieniem. Wskazuje, że mechanika procesu walcowania jest trudna do opisanie, odkształcenia w szczelinach między narzędziami są szczególnie skomplikowane, co czyni, że wyznaczanie sił i momentów walcowania opiera się o uproszczone zależności. W następnych podrozdziałach Doktorant przedstawia operacje pomocnicze w procesie walcowania, wady wyrobów, opracowania różnych autorów badające wpływ parametrów walcowania na geometrię gotowego pierścienia. Na podstawie przeglądu piśmiennictwa stwierdza, że ten wpływ nie został dostatecznie zbadany. Większość prac ma charakter teoretyczny a nie doświadczalny i dotyczy walcowania promieniowo – osiowego. Przegląd teoretycznej analizy stanu zagadnienia Doktorant kończy podsumowaniem przeglądu piśmiennictwa. Ponownie wskazuje, że w dostępnej literaturze niewiele jest szczegółowych informacji na temat technologii prowadzenia procesu walcowania pierścieni stalowych na gorąco. Stąd uzasadnione jest prowadzenie analiz umożliwiających określenie

wytycznych doboru najważniejszych parametrów kształtowania, takich jak: temperatura wsadu, prędkość narzędzi, położenie rolek kalibrujących.

Przegląd piśmiennictwa jest poprawnie zredagowany, opracowany w sposób logiczny, w oparciu o właściwie dobrane pozycje literaturowe i jest wyróżniającą się częścią pracy. Omówiona problematyka w części literaturowej właściwie koresponduje z tematyką rozprawy oraz problematyką prezentowaną w badaniach własnych. Należy podkreślić wykorzystanie w przeglądzie piśmiennictwa aż 203 pozycji literaturowych, głównie anglojęzycznych, w tym pięciu pozycji z udziałem Doktoranta jako głównego autora.

W rozdziale piątym Doktorant przedstawia genezę pracy oraz przyjętą tezę pracy brzmiącą: *„Określenie wpływu parametrów technologicznych na zjawisko poślizgu oraz porzerzenie pierścienia, a także na pozostałe niekorzystne zjawiska wpływające na zniekształcenie odkuwki pozwoli na prawidłową realizację procesu walcowania pierścieni stalowych, zapewniającego uzyskanie wyrobów o założonej jakości kształtowej i wymiarowej”*. Przyjmuje dla potwierdzenia tezy cel naukowy pracy, którym jest określenie zależności pomiędzy parametrami a przebiegiem procesu walcowania promieniowego pierścieni stalowych na gorąco i jakością wyrobów. Cel użyteczny wynika z genezy pracy i dotyczy opracowania wytycznych do projektowania procesu walcowania na gorąco pierścieni stalowych o średnicach do 200 mm. Zaproponowana teza pracy w mojej ocenie jest poprawna, adekwatna do podjętego problemu badawczego a wraz z przyjętymi celami wskazuje na spodziewane rezultaty badań. Jedynie w celu naukowym parametry proponuję uzupełnić jako parametry technologiczne, a rozdział uzupełnić o zakres realizowanych prac własnych koniecznych dla potwierdzenia tezy pracy.

Badania własne Doktorant rozpoczyna od prezentacji stanowiska badawczego, którym jest pionowa walcarka do promieniowego walcowania pierścieni, będąca na wyposażeniu Laboratorium Innowacyjnych Maszyn i Technologii Obróbki Plastycznej Metali Politechniki Lubelskiej. Jako wsadu do walcowania zastosowano pierścienie stalowe wykonane metodą obróbki skrawaniem. Doktorant zróżnicował zastosowane narzędzia do walcowania: gładkie bez podcięć, kształtowe z podcięciami oraz modułowe umożliwiające otrzymanie różnych wykrojów na walcu głównym i trzpieniu. Rozwiązanie modułowe zostało chronione patentem. W kolejnym rozdziale Doktorant przedstawia wyniki obliczeń numerycznych procesu walcowania pierścieni przy użyciu trzech komercyjnych programów DEFORM, Simufact.forming oraz Forge. Porównanie wyników symulacji z wynikami przeprowadzonych badań doświadczalnych wskazało na duże ograniczenia testowanych programów w zastosowaniu do symulacji procesu walcowania pierścieni stalowych na

gorąco. W następnym rozdziale Doktorant przedstawił badania istotnych zjawisk mających wpływ na prawidłowy przebieg procesu walcowania jakim jest poślizg i porzerzenie. Wykazał, że metodami analitycznymi można w pewnym stopniu określić graniczną wartość zmiany grubości, której przekroczenie powoduje poślizg i uzyskanie nieprawidłowego kształtu walcowanego pierścienia. Określenie na drodze analitycznej stosunku prędkości obrotowej walca głównego do jego prędkości dosuwu, który zapewnia uniknięcie poślizgu daje wyniki jedynie jakościowo zgodne z doświadczalnymi i nie zapewnia prawidłowego projektowania parametrów prędkościowych procesu walcowania. Ze wzrostem prędkości dosuwu walca głównego następuje większe poszerzenie pierścienia. Przeprowadzona przez Doktoranta analiza teoretyczna i doświadczalna wpływu temperatury wykazała większe prawdopodobieństwo wystąpienia poślizgu przy walcowaniu w wyższych temperaturach nagrzewania wsadu. Jednak przy wyższej temperaturze wsadu uzyskuje się mniejsze zniekształcenie przekroju poprzecznego pierścienia. W kolejnym rozdziale przedstawiono badania teoretyczne i eksperymentalne dotyczące wpływu parametrów walcowania na wielkość i kształt wady zwanej „rybim ogonem”. Doktorant wykazał, że zastosowanie większej prędkości dosuwu walca głównego ma korzystny wpływ na kształt przekroju poprzecznego walcowanego pierścienia. Zasadnym jest także kształtowanie pierścieni narzędziami z wykrojami, które ograniczają przemieszczanie wyrobu oraz kształtują wysokość pierścienia. Zwiększenie prędkości dosuwu walca głównego zmniejsza owalizację pierścienia, zaś zwiększenie temperatury ma niekorzystny wpływ na kształt gotowego pierścienia. W następnym rozdziale rozprawy Doktorant analizuje straty materiału powstałe podczas obróbki skrawaniem, a spowodowane niedokładnością kształtu przekroju poprzecznego pierścienia. Straty materiału są większe przy większych wartościach dosuwu walca głównego i niższej temperaturze nagrzewania wsadu. Wykazana w następnym rozdziale analiza wpływu parametrów technologicznych na wartość siły kształtowania prowadzi do oczywistego wniosku, że im mniejsze wartości parametrów prędkościowych i wyższa temperatura tym mniejsza siła kształtowania. Badania własne Doktorant podsumował w końcowym rozdziale w którym przedstawił wytyczne doboru parametrów technologicznych przy projektowaniu procesu walcowania pierścieni, takich jak: temperatura nagrzewania wsadu do walcowania, prędkość obrotowa i dosuwu walca głównego, wymiary wsadu. Opracowane wytyczne posłużyły do weryfikacji procesu walcowania pierścienia o założonych wymiarach końcowych. Otrzymanie pierścienia o założonych wymiarach i kształcie przekroju potwierdziło słuszność opracowanych wytycznych projektowania procesu walcowania pierścieni stalowych na gorąco.

Rozprawa doktorska na zakończenie zawiera krótkie podsumowanie i Doktorant podaje dziewięć wniosków wynikających z prowadzonych obliczeń numerycznych i prób doświadczalnych.

Oceniając część pracy dotyczącą badań własnych muszę stwierdzić, że część eksperymentalna, która wymagała niewątpliwie dużego nakładu pracy, wiedzy i umiejętności została dokładnie zaplanowana i wykonana. Z dużą starannością przeprowadzono i opisano analizy numeryczne i próby laboratoryjne procesu kształtowania pierścienia stalowego na gorąco. Załączone rysunki, tabele i schematy są przejrzyste i dobrze uzupełniają tekst pracy. Nie budzi zastrzeżeń strona redakcyjna i edycja rozprawy. Wymaga podkreślenia fakt, że przedstawione wyniki badań własnych mają dużą wartość poznawczą i praktyczną, co potwierdza, że założenia i cele rozprawy były słuszne. Przeprowadzone badania potwierdzają przyjętą tezę pracy, że określenie wpływu parametrów technologicznych na niekorzystne zjawiska wpływające na zniekształcenie odkuwki pozwoli na prawidłową realizację procesu walcowania na gorąco pierścieni stalowych. Doktorant wykazał się dużą umiejętnością prowadzenia badań i ich analizy w oparciu o wiedzę z obróbki plastycznej, mechaniki i budowy maszyn.

Do największych osiągnięć Doktoranta należy zaliczyć :

- opracowanie literaturowe w zakresie walcowania pierścieni stalowych, co rozszerza zakres wiedzy na temat kształtowania plastycznego wyrobów pierścieniowych,
- wykazanie przydatności metod analitycznych oraz doświadczalnych dla określenia granicznych warunków mających wpływ na występowanie poślizgu podczas walcowania pierścieni,
- określenie współzależności pomiędzy prędkością obrotową, prędkością dosuwu walca głównego i temperaturą nagrzewania wsadu na zjawisko poślizgu,
- wykazanie współzależności pomiędzy parametrami technologicznymi a porzerzeniem przekroju poprzecznego, co pozwala na prawidłowe projektowanie procesu walcowania,
- wykazanie wpływu konstrukcji narzędzi na przebieg procesu walcowania oraz przydatności zastosowania narzędzi z wykrojami, które ograniczają przemieszczanie wyrobu wzdłuż osi trzpienia.

Jednocześnie mam kilka uwag, które wymagają wyjaśnienia podczas publicznej obrony:

1. Doktorant wymienia w tezie zjawisko poślizgu, porzerzenie oraz pozostałe jako niekorzystne zjawiska wpływające na zniekształcenie odkuwki. Jakże to są pozostałe niekorzystne zjawiska?

2. Naprężenie uplastyczniające dla stali 45C opisuje równanie Hansela Spittela podane zależnością 7.1. W zależności brak współczynnika m_6 , a współczynniki m_5 , m_7 , m_8 , m_9 są równe zero. Czy nie należało podać zależność naprężenia uplastyczniającego tylko dla czterech wyliczonych członów z współczynnikami m_1 , m_2 , m_3 , m_4 ?
3. W analizie numerycznej prowadzonej przy użyciu trzech programów określono wartości czynnika tarcia dla których uzyskano prawidłowy wyrób. Jednak nieznaczne odchylenie o 0,01 czynnika tarcia powoduje zniekształcenie pierścienia. Jak można wytłumaczyć tak istotny wpływ tarcia na wyniki jeśli uwzględnić, że warunki tarcia w procesie walcowania ulegają zmianie?
4. Doktorant wykazał, że symulacje numeryczne dają jedynie jakościową zgodność z wynikami doświadczeń. Czy można wskazać jaki program MES i w jakim zakresie może być przydatny do określenia parametrów walcowania?
5. Doktorant stosuje w badaniach stosunkowo małe wymiary pierścienia, co może powodować szybkie stygnięcie materiału. Czy określono zmiany temperatury podczas walcowania? Czy walcowanie w temperaturach obniżonych 900 i 1000 °C jest możliwe?
6. W badaniach doświadczalnych stosowano różne wymiary pierścienia. W jaki sposób dobierano jego wymiary?
7. Należy sądzić, że zadane w doświadczeniach weryfikacyjnych parametry walcowania: temperatura 1100°C, prędkość obrotowa walca głównego 60 obr/min i prędkość jego dosuwu 30 mm/s są najbardziej odpowiednie. Czy te parametry można przenieść na wszystkie walcowane pierścienie o średnicy do 200 mm?

3. Wniosek końcowy

Opiniowaną rozprawę doktorską mgr inż. Piotra Surdackiego n.t. "Studium procesu walcowania pierścieni stalowych na gorąco" oceniam pozytywnie z uwagi na walory naukowe i poznawcze, bogaty warsztat badawczy, a także duży potencjał Doktoranta do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

W podsumowaniu uważam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w oparciu o opracowanie technologiczne, wskazuje na ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna, Jego umiejętności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Zatem spełnia wymagania stawiane w ustawie z dnia 20 lipca 2018 (Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz.U. Nr 2018, poz. 1668 z późn. zm.) i dlatego wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Piotra Surdackiego do publicznej obrony.

Eugeniusz Hasiński