

Kraków, 01 kwietnia 2025 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. Jesicy Biś

(imię i nazwisko doktorantki)

pod tytułem: Teoretyczno – doświadczalna analiza wytwarzania rur
w procesie bezkielichowego walcowania metodą pielgrzymową

przygotowanej pod kierunkiem

Dr hab. inż. Bartosza Koczurkiewicza, prof. PCz

(imię i nazwisko promotora)

1. Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Częstochowskiej.

Podstawa prawna art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2020 roku poz. 85, z późn. zm.).

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

Rury stalowe bez szwu są elementem konstrukcyjnym, stosowanym przede wszystkim przy budowie instalacji hydrauliczno – grzewczych, gazowych, wodnych oraz elementów sieci przesyłowych, kotłów i wymienników ciepła. Są bardziej wytrzymałe w porównaniu do rur ze szwem, a ryzyko powstania nieszczelności podczas ich pracy jest znikome. Dlatego wyroby te, pomimo że stanowią mniej niż 10% całości produkcji rur stalowych, są obecnie szeroko stosowane w budownictwie, energetyce, górnictwie oraz w sektorach wydobywczym i transportowym.

Rury bez szwu po raz pierwszy wyprodukowano w roku 1890. Obecnie produkty te są wytwarzane na skalę przemysłową w dwóch technologiach. Pierwsza z nich polega na bezpośrednim walcowaniu z wlewka w walcarkach, a druga na wytwarzaniu półproduktów w postaci grubościennej tulei z dnem lub bez dna w skośnych walcarkach dziurujących lub na prasach, które są następnie wydłużane.

Praca doktorska Pani mgr inż. Jesicy Biś, napisana pod kierunkiem dr hab. inż. Bartosza Koczurkiewicza, dotyczy analizy możliwości modyfikacji obecnie stosowanej technologii wytwarzania rur bez szwu metodą pielgrzymową. Przeprowadzona została analiza przebiegu procesu w warunkach przemysłowych, w celu określenia parametrów technologicznych i pozostałych warunków kolejnych etapów wytwarzania rur bez szwu, tj. kolejno zabiegu przebijania na prasie wlewka, procesu walcowania tulei grubościennej z dnem w skośnej walcarce wydłużającej oraz procesu walcowania w walcarce pielgrzymowej tulei grubościennej bez dna. Następnie opracowane zostały modele geometryczne materiału i elementów narzędzi, konieczne do numerycznego modelowania przebiegu poszczególnych etapów wytwarzania metodą elementów skończonych (MES). Przyjęte też zostały warunki początkowe i brzegowe do analizy MES. Modele zaimplementowano do programu, następnie zaprojektowano i przeprowadzono szereg symulacji numerycznych poszczególnych etapów wytwarzania rur bez szwu, z wykorzystaniem do tego celu komercyjnego pakietu oprogramowania Forge NX. Otrzymane wyniki modelowania stanowiły podstawę do analizy i interpretacji charakteru płynięcia materiału w zależności od doboru wartości tych parametrów podczas etapu walcowania na skośnej walcarce wydłużającej, które wskazano jako mające kluczowy wpływ na kształt i geometrię końca rury. Dane otrzymane na podstawie modelowania MES zostały zweryfikowane w oparciu o ich porównanie z rezultatami przemysłowych prób technologicznych walcowania.

Recenzowana rozprawa doktorska została napisana w języku polskim i zredagowana w układzie klasycznym, typowym dla prac reprezentujących nauki techniczne. Liczy w sumie 117 stron zredagowanych w formacie A4. Rozprawa doktorska została podzielona na osiem części. Pierwsza część to „Wprowadzenie”, druga część zatytułowana została „Metody produkcji rur bez szwu” i zawiera przegląd literatury na przedmiotowy temat oraz podsumowanie rozważań teoretycznych, a trzecia to „Teza i cel pracy”. Kolejne rozdziały zatytułowano „Badania własne”, „Badania numeryczne” oraz „Podsumowanie i wnioski”. W pracy zamieszczono jeszcze takie rozdziały jak „Spis rysunków” oraz „Literatura”.

We wprowadzeniu Doktorantka przedstawia czytelnikowi podstawy technologii wytwarzania rur oraz zakres ich zastosowań jako elementów konstrukcji. Wykazuje zalety rur bez szwu i ich rolę w nowoczesnej technice. Zwraca uwagę na fakt, że technologia wytwarzania rur bez szwu nie była od dziesięcioleci modernizowana, co jej zdaniem może być osiągnięte przez zastosowanie bezkielichowego walcowania metodą pielgrzymową. Proponuje modyfikację, umożliwiającą w jej opinii uzyskanie wyrobu dłuższego w porównaniu do wytwarzanego zgodnie z obecną technologią, charakteryzującego się większym uzyskiem. W ten sposób Doktorantka wskazuje otwarty do rozwiązania problem badawczy, mający potencjał do wdrożenia.

W części „Metody produkcji rur bez szwu” Doktorantka opisuje podstawowe metody stosowane obecnie do wytwarzania tulei rurowych. Przedstawia informacje konieczne do zrozumienia podstaw technologii kształtowania rur bez szwu oraz możliwych wariantów prowadzenia poszczególnych etapów tej technologii. Część tą Doktorantka zamyka podrozdziałem „Podsumowanie rozważań teoretycznych” w którym wskazuje na brak danych literaturowych, zawierających przykłady modyfikacji walcowni pielgrzymowych. Zwraca uwagę na fakt, że istniejące walcownie produkujące wyroby metodą pielgrzymową, chcąc konkurować na rynku, muszą obniżać koszty lub poprawiać jakość wyrobów. Wskazuje też, że podczas procesu trzpień jest zamocowany w uchwycie i zabezpieczony przed wypadnięciem przez tuleję oporową. W efekcie tego część materiału nie jest walcowana, ponieważ musi dociskać element zabezpieczający. Materiał ten musi zostać odcięty, z tego powodu metoda charakteryzuje się niskim uzyskiem. Następnie wskazuje na fakt, że w efekcie współpracy Politechniki Częstochowskiej z jednym z zakładów wytwarzających rury metodą pielgrzymową opracowano metodę pozwalającą na dowalcowanie kielicha, jednak badania wykazały że wykonany w ten sposób produkt ma wady wewnętrzne. Pojawiła się w ten sposób luka badawcza, pozwalająca na poprawę tej technologii. Ta część rozprawy stanowi dobre wprowadzenie do części badawczej. Opracowując część zatytułowaną „Metody produkcji rur bez szwu” Doktorantka powołała się na 53 pozycje literaturowe, spośród zacytowanych ogółem 132 pozycji. Są to przede wszystkim podręczniki dydaktyczne, publikacje naukowe ale również strony internetowe, dane GUS, patent oraz w jednym przypadku zamieszczone online materiały dydaktyczne Politechniki Wrocławskiej. Dwie spośród cytowanych publikacji powstały przy współautorstwie Autorki ocenianej rozprawy.

W części „Teza i cel pracy” Doktorantka przedstawiła powody podjęcia tematyki badawczej. Przegląd literatury oraz wyniki otrzymane podczas prób technologicznych walcowania tulei grubościennych za pomocą walcarki pielgrzymowej ze zmodyfikowanym sposobem mocowania tulei w aparacie podawczym wykazały możliwość poprawy technologii. Na tej podstawie Doktorantka sformułowała następującą tezę pracy: *„Stosując narzędzia numeryczne do modelowania procesów przeróbki plastycznej możliwe jest opracowanie parametrów technologicznych wytwarzania rur stalowych metodą bezkielichowego walcowania rur w walcierce pielgrzymowej, które zapewnią uzyskanie wyrobu wolnego od wad wewnętrznych”*. Następnie Doktorantka zdefiniowała cel badawczy, którym było określenie takiego schematu płynięcia metalu podczas wytwarzania rur metodą bezkielichową, który umożliwi powtarzalne dowalcowanie kielicha w walcierce pielgrzymowej zapewniając

zwiększenie długości przy spełnieniu wymogów jakościowych. W tej części Doktorantka przedstawiła też metodykę badań, przeprowadzonych dla potwierdzenia postawionej tezy i osiągnięcia założonego celu pracy.

Biorąc pod uwagę fakt, że w zależności od wymiarów rur masa odpadu podczas wytwarzania rur bez szwu metodą pielgrzymową może wynosić nawet 80 kg, przyjętą przez Doktorantkę koncepcję badań i ich założonych efektów należy uznać za uzasadnione.

Kolejne dwie części rozprawy zostały zatytułowane odpowiednio „Badania własne” oraz „Badania numeryczne”. Wymienione części zawierają analizę rzeczywistego procesu wytwarzania rur z kielichem metodą pielgrzymową w celu opracowanie danych do modelowania numerycznego, a następnie szczegółowy opis metodyki projektowania i prowadzenia symulacji numerycznych poszczególnych etapów wytwarzania rur bez szwu oraz analizę wyników obliczeń w programie Forge NX. Obejmują również wyniki prób przemysłowych, których celem było zweryfikowanie poprawności wyników otrzymanych na podstawie analizy MES.

W tym miejscu recenzującemu nasunęły się dwie uwagi co do prawidłowości przyjętego podziału. Po pierwsze, wymienione części zawierają wyniki własnych badań Doktorantki, dlatego część „Badania numeryczne” powinna być elementem składowym części „Badania własne”. Po drugie, wyniki modelowania numerycznego jakichkolwiek procesów bez ich potwierdzenia na podstawie prób przemysłowych lub testów w warunkach laboratoryjnych mają problematyczną wartość, dlatego etap weryfikacji wyników jest bardzo ważnym elementem prac, w których stosowana jest analiza MES. Doktorantka sprostала temu zadaniu i zweryfikowała wyniki modelowania w oparciu o próby przemysłowe oraz ich porównanie z wynikami obliczeń MES, jednak rezultaty te przedstawiła „między wierszami”, zamieszczając je jako akapity w podrozdziałach dotyczących obliczeń numerycznych.

W części „Literatura” Doktorantka zawarła 132 pozycje literaturowe. Są to w znacznej części pozycje opublikowane wcześniej niż w ostatnich 10 latach, jednak stan ten tłumaczy stwierdzony przez Doktorantkę fakt, że technologia wytwarzania rur metodą walcowania pielgrzymowego nie była od dziesięcioleci efektywnie modernizowana, co skutkuje małą ilością dostępnych publikacji w tym zakresie.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej wpisuje się w zakres dyscypliny inżynieria materiałowa oraz w obszary tematyczne realizowane na Wydziale Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej. Całość rozprawy doktorskiej Pani Jesicy Biś świadczy nie tylko o dobrej znajomości podjętego przez nią tematu badawczego w aspekcie teoretycznym, ale również o jej wiedzy praktycznej, wynikającej zapewne z doświadczeń nabytych podczas stażu w walcowni rur. Efektem tego była między innymi umiejętność postawienia przez nią właściwej tezy badawczej. Na uwagę zasługuje fakt, że teza i cel badawczy zostały sformułowane w rezultacie wykorzystania przez Doktorantkę luki badawczej, stwierdzonej zarówno w oparciu o analizę dostępnej literatury tematycznej, ale też na podstawie wyników badań

przeprowadzonych we współpracy z zakładem wytwarzającym rury metodą pielgrzymową. Badania te zaowocowały opracowaniem metody pozwalającej na dowlcowanie kielicha, jednak nie doprowadziły do wyeliminowania wewnętrznych wad w tej strefie. Doktorantka poprawnie zinterpretowała, że szansą na rozwiązanie tego problemu są badania modelowe z wykorzystaniem do tego celu odpowiednio dobranych metod numerycznych i następnie ich kilkietapowa walidacja, na podstawie testów w warunkach przemysłowych. **Zatem stwierdzić można, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska odzwierciedla odpowiednią ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w Dyscyplinie inżynieria materiałowa.**

Część badawcza pracy zawiera kolejno analizę rzeczywistego procesu wytwarzania rur bez szwu, wyniki wieloetapowych obliczeń numerycznych oraz ich weryfikację w oparciu o próby technologiczne. W pierwszym etapie Doktorantka zdefiniowała warunki techniczne i przeprowadziła kompleksową analizę rzeczywistego procesu wytwarzania rur z kielichem ze stali S235, w celu określenia parametrów technologicznych poszczególnych etapów wytwarzania w ten sposób produktu. Takie podejście pozwoliło na zebranie danych koniecznych do poprawnego modelowania MES. W kolejnym etapie Doktorantka zaprojektowała i wykonała pakiet symulacji numerycznych procesu wytwarzania rur bez szwu w obecnie stosowanej technologii. Otrzymany w wyniku modelowania MES kształt tulei grubościennnej bez dna, z charakterystycznym pierścieniem wewnętrznym w strefie kształtowania i wyrwania denka, był zbliżony do wytworzonego w rzeczywistym procesie produkcyjnym. Można to uznać za pierwszy etap walidacji poprawności przyjętych warunków początkowych i brzegowych oraz prawidłowości przyjętej strategii modelowania. Na tym etapie Doktorantka stwierdziła, że podczas walcowania pielgrzymowego rur bez szwu kształt kielicha nie zależy od etapu wydłużania w walcierce pielgrzymowej, ale determinuje go sposób płynięcia i stan końcówki rury powstałe podczas procesu prowadzonego w walcierce skośnej wydłużającej. W kolejnym etapie Doktorantka modelowała proces bezkielichowego wytwarzania rur metodą pielgrzymową. Przyjęła założenie, że poprzez odpowiednią zmianę nastaw walców walcarki skośnej wydłużającej możliwe jest sterowanie płynięciem materiału, co korzystnie wpłynie na zmianę geometrii i położenie pierścienia w końcowej części tulei i ułatwi jego rozwalcowanie. Dla potwierdzenia tego założenia Doktorantka przeprowadziła szereg symulacji, uwzględniających różne nastawy osprzętu. Analizowała wpływ wariantów położenia główki dziurującej względem walców oraz kątów rozwalcowania i zukosowania na kształt końcówki rury. Uwzględniła przy tym inne korzystne aspekty, np. związane ze zmniejszeniem zużycia energii wskutek zmniejszania nacisku główki dziurującej na metal. Zidentyfikowała wartości parametrów, które mają korzystny wpływ na kształt tulei po walcowaniu na walcierce skośnej. Następnie Doktorantka wykonała symulacje pełnego procesu bezkielichowego walcowania rur bez szwu ze stali S235. Efektem było uzyskanie na etapie walcowania w alongatorze tulei z pierścieniem płytszym niż tworzący się podczas obecnie stosowanej technologii, ułożonym bliżej końcówki rury. Symulacja MES walcowania pielgrzymowego takiego półwyrobu prowadziła do rozwalcowania pierścienia i otrzymania tulei bez kielicha wolnej od wad wewnętrznych, co w rzeczywistym procesie powinno skutkować wykonaniem produktu o zwiększonej długości. W ostatnim etapie badań Doktorantka potwierdziła poprawność wyników

modelowania numerycznego, prowadząc weryfikacyjne badania przemysłowe w warunkach produkcyjnych z uwzględnieniem opracowanych nastaw parametrów. Rura wytworzona w rzeczywistym procesie miała kształt końca zbliżony do otrzymanego na drodze symulacji i była dłuższa o około 1,7 metra w porównaniu do produktu walcowania obecnie stosowaną metodą. Należy więc przyjąć, że Doktorantka na tym etapie zweryfikowała postawioną w pracy tezę badawczą.

Na uwagę zasługuje umiejętność prowadzenia przez Doktorantkę złożonych, wieloetapowych symulacji numerycznych, wymagających precyzyjnej implementacji do kolejnego etapu wyników uzyskanych w poprzednich krokach, podczas zintegrowanego modelowania znacząco różnych procesów przeróbki plastycznej na gorąco. Takie wyzwanie wymagało też opracowania złożonych modeli geometrycznych materiału i narzędzi niezbędnych do odwzorowania łańcucha technologicznego, w tym również pomocniczych elementów wirtualnych. Przy realizacji wybranych etapów modelowania Doktorantka optymalizowała procesy obliczeniowe, wykorzystując symetrię procesów i redukując do koniecznego minimum czas obliczeń poprzez ograniczenie obszaru dla którego modelowany był proces. Wymagało to jednak rozbudowy modeli do kolejnych etapów, z czym Doktorantka sobie poradziła. Atutem jest też umiejętność wykorzystania przez Doktorantkę rezultatów post processingu z danego etapu do poprawnego planowania i prowadzenia następnego etapu technologii wytwarzania rur bez szwu.

Właściwe zaprojektowanie i przeprowadzenie szeregu złożonych symulacji numerycznych, prowadzenie poprawnej analizy ich wyników, umiejętność wykorzystywania otrzymanych wyników jako podstawy do projektowania kolejnych etapów obliczeń oraz zakończona powodzeniem weryfikacja danych z modelowania w oparciu o eksperyment świadczą o tym, że recenzowana praca doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktorantkę.

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

1. Przeprowadzenie kompleksowej analizy poszczególnych etapów rzeczywistego procesu wytwarzania rur z kielichem metodą pielgrzymową, która umożliwiła zebranie przydatnych danych, pozwalających na właściwe projektowanie modeli geometrycznych oraz wskazanie możliwości i ograniczeń procesowych, co jest warunkiem koniecznym do poprawnego modelowania MES procesu.
2. Wykazanie na drodze modelowania MES że na kształt końcówki rury i występujące w tej strefie wady istotny wpływ ma sposób płynięcia materiału już na etapie walcowania w walcierce skośnej wydłużającej.
3. Wyznaczenie krok po kroku na podstawie modelowania MES i zweryfikowanie w oparciu o wyniki prób technologicznych zależności między parametrami walcowania, takimi jak kąt rozwałcowania, kąt zukosowania i położenie główki dziurującej, a sposobem płynięcia materiału, czego efektem jest możliwość kontrolowanego wytworzenia takiego kształtu końcówki tulei, który po dowlacowaniu kielicha ogranicza do minimum powstawanie wad wewnętrznych w dowlacowanej części rury.

4. Dla procesu walcowania tulei w alongatorze wyznaczenie odpowiednio kąta rozwałcowania $3,25^\circ$, kąta zukosowania $4,5^\circ$ oraz położenia główki dziurującej w pozycji p₄ (zdefiniowana na rysunku 65 pozycja: 10 mm w kierunku przeciwnym do kierunku płynięcia materiału) jako tych parametrów, z których każdy wpływa korzystnie na kształt tulei ze stali S235.
5. Kompleksowe opracowanie technologii pozwalającej na wytworzenie w warunkach przemysłowych rury w bezkielichowym procesie walcowania pielgrzymowego, która charakteryzuje się brakiem zawalcowań i jest dłuższa o około 1,7 metra od produktu wytwarzanego zgodnie z obecnie stosowaną technologią.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana praca stanowi wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa. Nie tylko wnosi szereg nowych informacji na temat przebiegu procesu wytwarzania rur bez szwu metodą walcowania pielgrzymowego, w szczególności metodą bezkielichową, ale też ma charakter użyteczny. Zastosowane przez Doktorantkę metody obliczeniowe poparte wiedzą z zakresu przeróbki plastycznej doprowadziły do opracowania rozwiązania, które eliminuje problemy występujące w opatentowanym już rozwiązaniu technologicznym i przez to daje potencjał do jego wdrożenia.

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

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

1. W podrozdziale 2.2. „Wytwarzanie grubościennych tulei rurowych w prasach”. zamieszczono (poprawną) informację, że proces wytwarzania nieprzelotowych otworów prowadzony jest przez wyciskanie przeciwbieżne, co jest zgodne np. ze schematem na rysunku 8. Z kolei rozdział 2.3. „Wyciskanie tulei grubościennych” opisuje wytwarzanie tych produktów metodą wyciskania współbieżnego. Podrozdział 2.2 powinien stanowić część treści podrozdziału 2.3.
2. W rozdziale 2.8 zamieszczono informację, że nieusunięta zgorzelina w ekstremalnym przypadku może nagromadzić się w denku podczas procesu dziurowania. Proszę o wyjaśnienie, czy jest to efekt, który może negatywnie wpływać na własności wyrobów finalnych. W końcowym etapie walcowania w skośnej walcarni wydłużającej następuje wyrwanie denka i zawalcowanie jego pozostałości, następnie z grubościennej tulei wytworzonej na prasie hydraulicznej usuwana jest zgorzelina.
3. Badania własne - Doktorantka zastosowała w roli materiału do badań popularną stal w gatunku S235, zgodną z Normą PN-EN 10210-1. Należało w pracy doktorskiej zamieścić skład chemiczny tej stali.
4. Jedną z metod weryfikacji wyników modelowania MES procesów wieloetapowych i długotrwałych jest kontrola temperatury kształtowanego wsadu w czasie procesu. Można to przeprowadzić np. za pomocą pirometru lub

kamery termowizyjnej. W ten sposób można między innymi zweryfikować wyniki modelowania zmian temperatury materiału podczas kolejnych etapów kształtowania lub rozkładu temperatury. Proszę o wyjaśnienie, czy takie badania były przeprowadzone.

5. W początkowej części rozdziału 5, szczególnie na stronie 55, opisano i zestawiono przyjęte parametry kinetyczne i warunki brzegowe do symulacji, część z nich szerzej opisano. W tym miejscu brakuje informacji o wartości temperatury do której nagrzewano wlewki przed jego kształtowaniem. Informację tą zamieszczono na stronie 43, w rozdziale 4.1.1, co zmusza czytelnika do jej odszukania w treści rozprawy.
6. Na stronie 55 podano wartość współczynnika tarcia przyjętego do modelowania 0,35. Natomiast do modelowania procesu walcowania na walcu skośnej (strona 72) przyjęto złożony model tarcia. Informację tą należało zamieścić w zestawieniu warunków brzegowych na stronie 55.
7. Proszę o wyjaśnienie, czy podczas modelowania uwzględniono wartości ciepła właściwego, współczynnika tarcia oraz współczynnika przewodności cieplnej właściwe dla zakresu temperatury w której prowadzono symulacje i testy.
8. Stosowane w pracy pojęcie „symulacje komputerowe” (np. strona 53, 66, 96, 99) jest nieprecyzyjne, powinno się stosować pojęcie „symulacje numeryczne”. Modele numeryczne oparte na dyskretyzacji są podstawą metod obliczeniowych, między innymi MES. Komputer to jedynie narzędzie służące do wykonywania procedur obliczeniowych.
9. W podrozdziale 5.3.2. na rysunku 52 i w jego opisie w treści jest informacja „wykres zależności nacisku metalu na powierzchnię czołowa stempla w czasie”. Siła jest przekazywana za pośrednictwem stempla na odkształcany materiał, dlatego powinno być „Przebieg zmian nacisku stempla na materiał ...”. Dodatkowo, oś pozioma wykresu odnosi się do czasu, bez zdefiniowania prędkości przemieszczania się narzędzia. Taki opis jest trudny do interpretacji. Uważam, że bardziej zrozumiały dla czytelnika byłby opis odnoszący się do drogi (przemieszczenia) stempla, czyli do postępu procesu. Obecnie można to jedynie oszacować na podstawie danych zamieszczonych na stronie 44.
10. Modelowany proces składa się z trzech różnych etapów, których realizacja wymaga określonego czasu. Stosowane są również zabiegi międzyoperacyjne, takie jak transport, usuwanie zgorzeliny itp. Z tego powodu, niezależnie od dużej masywności wsadu, następuje stopniowy spadek jego temperatury oraz zwiększają się różnice temperatury w objętości np. w strefie środka materiału i przy jego powierzchni. Ponieważ temperatura i jej zróżnicowanie ma znaczący wpływ na sposób płynięcia materiału, dlatego w mojej opinii korzystne byłoby dodanie do poszczególnych rozkładów intensywności odkształcenia rozkładów temperatury właściwych dla tego samego stanu. Uważam że mogłoby to znacznie ułatwić analizę płynięcia materiału, poprzez powiązanie jego charakteru z wartościami temperatury w poszczególnych strefach.

Przedstawione przeze mnie uwagi krytyczne nie wpływają na pozytywną ocenę pracy Pani mgr. inż. Jesicy Biś. Mam też nadzieję, że część postawionych przeze mnie

pytań i komentarzy zostanie przez Doktorantkę potraktowana jako sugestia do wykorzystania w przyszłych badaniach.

Autorka nie ustrzegła się również usterek o charakterze edycyjnym i językowym. 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:

- Strona 7: W literaturze [75] przedstawiono... – powinno być: w pozycji [75] ...
- Strona 12, rysunek 6, opis: „Walcarka skośna...”, powinno być: „Schemat walcarki skośnej....”
- Rysunki: 8,9,10,15,16,27: Nie zamieszczono odwołań do źródłowych pozycji literaturowych (najczęściej informację tą można odnaleźć w treści pracy, wynika z niej np. że schematy zaczerpnięto odpowiednio: rysunki 8,9,10 z pozycji [52], natomiast rysunek 15 z pozycji [75] ...).
- Rysunki 18,19,20,21: W opisach powinna być dodana informacja: Schemat procesu ...
- Strona 19. Pojęcie: „odkształcenie poprzecznego pola przekroju” jest niepoprawne.
- Strona 25: Zdanie „*Jej wadą natomiast jest długość trzpienia, która uniemożliwia zastosowanie wsadu o długości większej niż jego długość*” powinno być sformułowane w inny sposób.
- Strona 30: „Powstałe wady są rozwalcowywane i kalibrowane na właściwych urządzeniach w późniejszych etapach” – wady nie są kalibrowane.
- Rysunek 26: Opisy na schemacie powinny być powiększone.
- Rysunki 31,32,33: Powinna być dodana informacja że są to opracowania własne.
- Strona 36. Stwierdzenie „obniżenie temperatury ku końcowi procesu”, powinno być sformułowane inaczej, np. „obniżenie temperatury podczas procesu”.
- Strona 56: Stwierdzenie „*konieczne jest zbudowanie cyfrowych modeli materiałowych oraz narzędzi*” jest mylące. Modele materiałowe mają w przeróbce plastycznej inne znaczenie, więc powinno być np. „*konieczne jest opracowanie modeli geometrycznych kształtowanego materiału i narzędzi*”.
- Rozdział budowa modeli geometrycznych: czytelność rysunków 45 - 52 oraz 54 można było poprawić przez naniesienie na poszczególne modele podstawowych wymiarów.
- Strona 60 – 61: Błędne jest stwierdzenie „Popychacz przedstawiono na rysunku 51. Został przygotowany jako płaszczyzna o średnicy $\Phi = 686$ mm grubości d

= 50 mm". Popychacz nie jest płaszczyzną, ma kształt walca. Dodatkowo, użyto dwóch różnych nazw; „popychacz” (w treści pracy; str. 60, 71) oraz „wypychacz” (w opisie pod rysunkiem).

- Rysunek 55 (schemat) – „określenie i wprowadzenie *parapetrów* procesu”. Powinno być *parametrów*.

- Rysunki przedstawiające rezultaty modelowania numerycznego MES (57, 66-70, 72-74, 76-78): Opisy wyników obliczeń w programie Forge NX (post processing) są generowane w języku angielskim. Ponieważ praca jest napisana w języku polskim, należało na te rysunki nanieść opisy w tym języku, niezależnie od właściwego opisu pod rysunkiem.

- Rysunek 57: Rozmiar czcionki opisu i wartości legendy jest zbyt mały, trudny do odczytania.

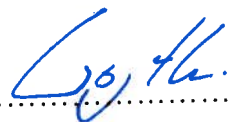
- Strona 82: W zdaniu „Na rysunku 59 widoczny jest ubytek masy ...” odwołanie powinno odnieść się do rysunku 60.

- Wnioski – wniosek końcowy nr 4: „...głębokość i długość...” – głębokość i długość.

- Występujące wielokrotnie w pracy pojęcie: „Rozkład intensywności odkształcenia plastycznego” jest zasadniczo poprawne, ale wystarczające jest stwierdzenie „Rozkłady intensywności odkształcenia”.

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 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2020 roku poz. 85, z późn. zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.



(podpis recenzenta)