

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Jesicy Biś
pt. Teoretyczno-doświadczalna analiza wytwarzania rur w procesie bezkielichowego
walcowania metodą pielgrzymową

1. Omówienie recenzowanej pracy

Opracowana przez mgr inż. Jesicę Biś rozprawa doktorska dotyczy procesu wytwarzania rur bezszwowych metodą walcowania pielgrzymowego. Dzięki tej metodzie w 1890 roku w Niemczech pierwszy raz wykonano rury bez szwu. Do dziś jest stosowana w zakładach produkcyjnych, co świadczy o jej wysokim potencjale. Podjęta w rozprawie tematyka badawcza dotycząca próby modernizacji tej metody skutkującej zwiększeniem uzysku materiałowego przy zachowaniu dobrej jakości wyrobu jest bez wątpienia aktualna i ważna w aspekcie praktycznym.

Praca napisana jest w języku polskim, liczy 117 stron i podzielona jest na 6 rozdziałów, uzupełnionych spisem treści, spisem rysunków i bibliografią. Do pracy dołączono streszczenie w języku polskim i angielskim (jako odrębne dokumenty).

Wprowadzenie (rozdział pierwszy) stanowi zasygnalizowanie tematyki badawczej. Autorka podała wielkość produkcji rur stalowych w Polsce w 2023 roku oraz krótko przedstawiła obszary zastosowań tej grupy wyrobów, w szczególności rur bezszwowych.

Rozdział drugi zawierający studium literatury podzielony jest na dziewięć głównych podrozdziałów. Pierwszych osiem dotyczy różnych metod produkcji tulei i rur bez szwu. Opisano sposoby wytwarzania grubościennych tulei rurowych w skośnych walcarkach dziurujących (Mannesmanna, Stiefela, Dieschera i Assela), metodą wyciskania przeciwbieżnego i współbieżnego, w skośnych walcarkach wydłużających, w walcowniach ciągłych, metodą ciągnięcia, walcowania na ławie przepychowej i w walcowni pielgrzymowej. Krótko przedstawiono schematy, przebiegi, zalety i wady procesów realizowanych tymi sposobami. W ostatnim podrozdziale nazwanym „Podsumowanie rozważań teoretycznych” ponownie opisano główną wadę walcowania pielgrzymowego, jaką jest odpad materiałowy w postaci kielicha oraz podano informacje o nieudanych próbach jego zminimalizowania w warunkach przemysłowych. Tym samym uzasadniono podjęcie tematu

rozprawy dotyczącego opracowania sposobu bezkielichowego walcowania pielgrzymowego rur.

W ocenie rozdziału należy stwierdzić, że uwzględniono w nim najważniejsze metody wytwarzania tulei i rur bez szwu. Podane informacje są jednak bardzo ogólnikowe, daje się odczuć brak analizy literatury opisującej aspekty naukowe prezentowanych procesów. Tytuł podrozdziału 2.8.1 (który zresztą niepotrzebnie został wydzielony, jako jedyny w podrozdziale 2.8) nie zawiera opisu tytułowej walcarki pielgrzymowej tylko opis sposobu walcowania pielgrzymowego. Podobnie ostatni podrozdział nie zawiera tytułowego podsumowania rozważań teoretycznych, tylko genezę i uzasadnienie podjęcia tematu badawczego.

Rozdział trzeci zawiera tezę i cel pracy. Teza stanowi, że przy użyciu metod numerycznych możliwe jest opracowanie procesu bezkielichowego walcowania pielgrzymowego stalowych rur wolnych od wad. Wydaje się, że eksponowanie w tezie standardowego narzędzia badawczego, jakim jest oprogramowanie do symulacji numerycznych nie było konieczne. Samo opracowanie procesu mającego przewagę nad obecnie stosowanym jest wystarczające. Niezależnie od tej subiektywnej uwagi należy stwierdzić, że teza w sposób zrozumiały komunikuje o kierunku podjętych prac badawczych i ma bezpośredni związek z tematem rozprawy. Jako cel przyjęto określenie schematu płynięcia zapewniającego dowalcowanie kielicha w walcierce pielgrzymowej, co spowoduje zwiększenie długości walcowanej rury przy zapewnieniu wymogów jakościowych. Po lekturze rozprawy wydaje się, że w treści celu zamiast „określenie schematu płynięcia” powinno być „określenie parametrów procesu”. Cel i teza są komplementarne, tj. jeśli cel zostanie osiągnięty, to tym samym wykazana zostanie słuszność tezy. W rozdziale opisano również zakres prac badawczych, który dodatkowo przedstawiono na schemacie, jasno obrazującym kolejne etapy prac.

W czwartym rozdziale przedstawiono analizę parametrów technologicznych procesów: wyciskania wlewka kwadratowego, walcowania w skośnej walcierce wydłużającej oraz walcowania w walcierce pielgrzymowej w warunkach zakładu produkcyjnego. Opisano wymiary wsadu i części roboczych wybranych narzędzi, a także niektóre parametry temperaturowe i prędkościowe w kolejnych etapach wytwarzania. Wygląd narzędzi i półfabrykatu w poszczególnych fazach kształtowania zobrazowano na fotografiach. Część informacji jest powtórzeniem z rozdziału drugiego. Podane informacje stanowią klarowną ogólną charakterystykę kolejnych etapów kształtowania rury z wlewka o przekroju kwadratowym. Jednak zabrakło bardziej szczegółowej analizy dotyczącej części kielichowej

kształtowanej rury, chociażby jej wymiarów, czy też udziału procentowego odciętego nadkładu w stosunku do wsadu początkowego, co jest istotne w kontekście tematyki rozprawy. Tytuł rozdziału „Badania własne” jest niewłaściwy, ponieważ w rozdziale nie przedstawiono żadnych badań (jest to opis rzeczywistego procesu bez żadnych analiz) i jest zbyt ogólny, „zarezerwowany” do całości realizowanych badań, w tym prezentowanych w kolejnym rozdziale z wynikami badań numerycznych. Poza tym struktura rozdziału, którego treść w całości pokrywa się z treścią jedyne podrozdziału, jest nieprawidłowa.

Rozdział piąty stanowi zasadniczą część rozprawy, zawierającą wyniki badań numerycznych. We wstępie rozdziału opisano warunki symulacji tj. modele wykorzystywane w stosowanym oprogramowaniu oraz wybrane współczynniki wprowadzane przez użytkownika. Następny, pierwszy podrozdział 5.1 zatytułowany „Przeprowadzenie symulacji numerycznych procesu ...” o objętości mniejszej niż pół strony, w mojej ocenie nie wnosi żadnych istotnych treści, a więc jest zbędny. W kolejnym podrozdziale 5.2 podano wymiary i przedstawiono modele przestrzenne wsadu i narzędzi stosowanych w poszczególnych etapach procesu. W przypadku elementów w postaci prostopadłościanu (wsad), czy też walca (wypychacz prasy, wypychacz walcarki, trzpień) wystarczyło podać wymiary. Prezentacja graficzna brył prostych w rozprawie doktorskiej jest przesadna. W dosyć obszernym, jak na ocenianą rozprawę, kolejnym podrozdziale 5.3 przedstawiono wyniki symulacji obecnie stosowanego procesu wytwarzania rur z kielichem metodą pielgrzymową. Zaprezentowane wyniki dotyczą wyciskania przeciwbieżnego wlewka na prasie, dziurowania z wydłużaniem w skośnej walcierce wydłużającej oraz wydłużania w walcierce pielgrzymowej. Autorka skupiła się głównie na analizie progresu kształtu walcowanego materiału oraz wad występujących na końcu tulei (w obszarze kielicha). Biorąc pod uwagę zawartość podrozdziału należy stwierdzić, że jego tytuł „Metodyka prowadzonych badań numerycznych” nie przystaje do jego treści. Natomiast podane wybiórcze wyniki symulacji dobrze obrazują przebieg procesu i wskazują problematykę, na której skupia się Autorka. Podrozdział 5.4 jest zasadniczą częścią rozprawy. Przedstawiono w nim wyniki badań własnych, w których określono wpływ położenia główki dziurującej względem walców, kąta rozwałcowania α i kąta zukosowania β w procesie walcowania w skośnej walcierce wydłużającej na kształt końcówki tulei po wydłużaniu i wyrwaniu denka oraz jakość końca rury po walcowaniu pielgrzymowym. Rezultatem końcowym zrealizowanych badań było określenie wartości analizowanych parametrów walcowania w skośnej walcierce wydłużającej, przy których możliwe jest zwiększenie długości całkowitej wytworzonej rury. W ogólnej ocenie rozdziału należy stwierdzić, że zawarto w nim wartościowe i interesujące

rezultaty badań numerycznych. Pozytywnie należy ocenić weryfikację wyników symulacji w warunkach przemysłowych, chociaż jest ona tylko wrywkowa. Analiza zrealizowanych przez Doktorantkę prac nasuwa również szereg uwag krytycznych, które podano w dalszej części recenzji.

W ostatnim, szóstym rozdziale przedstawiono podsumowanie i wnioski. Sformułowane są one na dużym poziomie ogólności, ale w większości mają związek z uzyskanymi rezultatami badań. Niektóre z nich wymagają doprecyzowania, co szczegółowo podano w uwagach w dalszej części recenzji.

Bibliografia zawiera 132 pozycje źródłowe. Niespełna 60% publikacji to prace obcojęzyczne, a tylko 21% źródeł pochodzi z ostatnich 10 lat (licząc od 2015 roku). Wykorzystana literatura jest związana z tematyką rozprawy.

2. Ocena rozprawy

Praca ma charakter głównie teoretyczny i dotyczy analizy procesu wytwarzania rur metodą pielgrzymową. Kandydatka do stopnia doktora podjęła się określenia parametrów walcowania tulei w skośnej walcierce wydłużającej, które umożliwią zwiększenie długości, przy zachowaniu dobrej jakości końca rury po dowalcowaniu kielicha w walcierce pielgrzymowej. Praca napisana jest poprawną polszczyzną, błędów stylistycznych i interpunkcyjnych jest mało. Występują natomiast niedociągnięcia edycyjne, związane głównie z pozostawianiem pustych miejsc (s. 40, 42, 48, 65 - 67, 69, 75, 81, 87) lub umieszczeniem niepotrzebnych rysunków (np. rys. 45, 48, 51, 54). Układ rozdziałów jest prawidłowy, chociaż ich tytuły i struktura niekiedy jest błędna, co wytknięto przy omówieniu pracy.

Przy realizacji rozprawy Kandydatka do stopnia doktora wykazała się wiedzą teoretyczną i praktyczną z zakresu metalurgii mieszczącej się w dyscyplinie inżynieria materiałowa. Umiejętnie stosowała oprogramowanie CAD do tworzenia modeli bryłowych oraz metodę elementów skończonych do analizy procesu wyciskania i procesów walcowania. W tym celu zastosowała program Forge NX przeznaczony do symulacji procesów kształtowania metali. Należy stwierdzić, że zakres wykonanych prac jest stosunkowo mały. Jakość rezultatów symulacji numerycznych, tylko wrywkowo weryfikowana w próbach przemysłowych, jest trudna do oceny. Niemniej jednak pozytywnie należy ocenić wykonanie tych prób w warunkach zakładowych, co zazwyczaj jest trudne logistycznie. Należy również podkreślić, że Kandydatka do stopnia doktora potrafiła sformułować ważny i aktualny problem badawczy oraz rozwiązać go, chociaż do metodyki badawczej jest dużo zastrzeżeń, które podano w

dalszej części recenzji w uwagach do pracy. Najważniejszym osiągnięciem jest określenie parametrów walcowania tulei w skośnej walcarce wydłużającej umożliwiających uzyskanie rur o dobrej jakości, przy jednoczesnym zmniejszeniu odpadu w procesie bezkietuchowego walcowania metodą pielgrzymową. Rezultaty opisane w rozprawie stanowią opracowanie odrębnego zagadnienia technologicznego mającego potencjał użytkowy, mieszczącego się w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Lektura rozprawy nasuwa również szereg uwag.

1. Na s. 55 podano, że w obliczeniach do modelu Coulomba przyjęto współczynnik tarcia równy 0,35, natomiast na s. 72 podano, że współczynnik ten wynosił 0,15. Jaki współczynnik tarcia przyjęto w modelu Coulomba i na jakiej podstawie?
2. W pracy nie podano żadnych informacji nt. modelu materiału wsadu, poza wzmianką, że został on przyjęty z biblioteki programu. Nie wiadomo jakie były wartości naprężeń uplastyczniających i czy uwzględniały one wpływ temperatury, prędkości odkształcenia oraz w jakim zakresie, co ma istotny wpływ na dokładność obliczeń.
3. Na s. 43 podano, że do wyciskania zastosowano prasę o maksymalnym nacisku 1200 N, co jest oczywistą pomyłką. Jaki był rzeczywisty nacisk zastosowanej prasy?
4. Co oznacza stwierdzenie podane na s. 67, że „na podstawie literatury wygenerowano ... siatkę elementów skończonych”?
5. Nie podano opisu i nie przedstawiono na rysunku wygenerowanej we wsadzie siatki elementów skończonych. Z rysunków przedstawiających rezultaty symulacji (np. rys. 60, 62) wynika, że na grubości ścianki tulei jest ok. 5-6 elementów, co w mojej ocenie jest liczbą małą do uzyskania wyników o „wysokiej rozdzielczości” umożliwiających dokładną analizę wad końcówki tulei.
6. W pracy nie dokonano żadnej oceny ilościowej. Prowadzone rozważania wykonane zostały na podstawie oceny wizualnej (np. kształtu końca tulei), co jest oceną bardzo subiektywną i niedokładną. Kryteria ilościowe można było zastosować np. przy ocenie pierścieniowego wgłębienia porównując w poszczególnych wariantach obliczeń jego pole przekroju, długość lub głębokość lub też przy ocenie położenia tego wgłębienia poprzez odległość względem przyjętego układu odniesienia. To samo można było zrobić przy ocenie wzajemnego położenia warstw ścianki tulei.
7. Na s. 91 stwierdzono, że „... najkorzystniejsze warunki płynięcia metalu uzyskano dla kąta rozwałcowania $\alpha_2=3,25^\circ$...” ponieważ „kształt ... końcówki tulei charakteryzuje się najmniejszą różnicą w wydłużeniach warstw powierzchniowej i wewnętrznej”. Na jakiej podstawie wybrano wariant dla $\alpha_2=3,25^\circ$ (rys. 73) jako

- najlepszy? W mojej ocenie wariant obliczeń dla $\alpha_5=4^\circ$ (rys. 74) nie jest gorszy, a nawet lepszy uwzględniając przyjęte kryterium.
8. Dlaczego próby przemysłowe wykonano dla kąta rozwałcowania $\alpha=3^\circ$ oraz $\alpha=4^\circ$, skoro na podstawie obliczeń stwierdzono, że najlepszy jest kąt $\alpha=3,25^\circ$?
 9. Dlaczego nie podano wyników obliczeń dla kąta rozwałcowania $\alpha_3=3,50^\circ$ oraz $\alpha_4=3,75^\circ$, skoro były wykonywane? Rezultaty symulacji wskazują na istotny wpływ kąta α na kształt końca tulei, więc pokazanie tych dwóch wariantów (stanowiących 40% analizowanych przypadków) dałoby pełny obraz tej zależności.
 10. Na s. 75 podano graniczną wartość całki dla znormalizowanego kryterium zniszczenia Cockrofta-Lathama, natomiast nie podano opisu tego kryterium, co należało zrobić w rozdziale 5 razem z innymi modelami obliczeniowymi. Nie przedstawiono również żadnych wyników z rozkładem tego parametru w objętości kształtowanego materiału.
 11. Na s. 89 opisano czynniki niekorzystnie wpływające „... na stan naprężeń w osi tulei”. W osi tulei nie ma materiału i co za tym idzie nie ma naprężeń.
 12. Podane stwierdzenie na s. 87, że „... zmniejszenie nacisku metalu na główkę dziurującą ...” powoduje „... obniżenie zużycia energii niezbędnej do odwałcowania tulei” jest nieuprawnione. Nie badano obciążeń innych narzędzi (walców) i nie dokonano analizy energetycznej procesu, jako całości, Podobnie wniosek podany na s. 100 dotyczący obniżenia zużycia energii przy nowych parametrach walcowania nie jest poparty rezultatami przedstawionymi w rozprawie.
 13. Wniosek końcowy nr 3 jest niejasny. Na podstawie treści wniosku trudno ocenić, czy wzrost wartości kąta rozwałcowania α , powodujący zmniejszenie średniej wartości intensywności odkształcenia wpływa pozytywnie, czy negatywnie na proces?
 14. Na jakiej podstawie określono kształt końca tulei (rys. 81), który „... wyeliminuje możliwość powstawania zawalcowań w trakcie dowalcowywania kielicha”? Jaki jest sens merytoryczny określenia takiego hipotetycznego kształtu, skoro nie osiągnięto chociażby zbliżonego rozwiązania nawet w symulacjach numerycznych? Tym samym wniosek końcowy nr 5 stwierdzający, że „określono kształt końcówki tulei, który ... zminimalizuje powstawanie wad ...” w mojej ocenie jest nieuzasadniony.
 15. We wniosku nr 6 brakuje doprecyzowania o jakie wytyczne procesu chodzi. Ponadto wspomniane w tym samym wniosku zmniejszenie odpadu technologicznego jest ogólnym stwierdzeniem nie popartym żadną analizą. Można było w prosty sposób

oszacować procentowe zmniejszenie tego odpadu w procesie bezkielichowego walcowania pielgrzymowego w stosunku do procesu tradycyjnego.

3. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Jesicy Biś zawiera rozwiązanie zagadnienia naukowego dotyczącego wytwarzania rur w procesie bezkielichowego walcowania metodą pielgrzymową. Autorka wykazała się wiedzą w zakresie tematyki rozprawy. Uzyskane rezultaty stanowią zauważalny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa. Pomimo małego zakresu wykonanych prac badawczych oraz wielu uchybień występujących w rozprawie, uwzględniając jednak umiejętność zdefiniowania i rozwiązania problemu badawczego oraz użyteczny charakter uzyskanych wyników rozprawę oceniam pozytywnie.

Na podstawie przedstawionej recenzji stwierdzam, że opiniowana praca mgr inż. Jesicy Biś spełnia w stopniu dostatecznym ustawowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim. Wnioskuje o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

