

Dr hab. inż. Bartosz Koczurkiewicz, prof. P. Cz.

Częstochowa 27 maja 2022 r.

Politechnika Częstochowska

Katedra Inżynierii Materiałowej

Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów

Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Konrada Lisa

pt.: „**Kształtowanie wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych w walcierce skośnej sterowanej numerycznie**”

na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna
Politechniki Lubelskiej

Ogólna charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Konrada Lisa pt.: „Kształtowanie wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych w walcierce skośnej sterowanej numerycznie” dotyczy interesującego problemu jakim jest możliwość walcowania skośnego za pomocą trzech rolek stożkowych wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych w walcierce skośnej sterowanej numerycznie. Wyroby takie są szeroko stosowane w budowie maszyn, w postaci stopniowanych osi i wałów w przemyśle maszynowym oraz środkach transportu, w tym motoryzacyjnym, lotniczym i kolejowym, w układach napędowych, nośnych oraz przekładniach mechanicznych, a które są wytwarzane m. in: poprzez kucie lub walcowanie, a następnie obróbkę skrawaniem. Doktorant podjął się zadania, którego wyniki umożliwią rozwój technologiczny metod wytwórczych poprzez minimalizację strat materiałowych, obniżenie ich energochłonności i jednocześnie wpłyną pozytywnie na jakość i dokładność produkowanych wyrobów.

Układ pracy pod względem struktury, podziału treści oraz kolejności rozdziałów uważam za prawidłowy. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska składa się z 6 rozdziałów merytorycznych, podsumowania i dyskusji uzyskanych wyników oraz sformułowanych przez Doktoranta wniosków. Całość zawarta jest na 160 stronach tekstu wraz z rysunkami, tabelami i wzorami, a także ze spisem literatury, w którym wykazano 102 materiały źródłowe, w tym 4 to pozycje, których autorem lub współautorem jest Doktorant. Wśród przedstawionej bibliografii znajduje się kilka pozycji, które zostały wydane w ubiegłym wieku. Wszystkie wymienione dane źródłowe są dobrane w przemyślany i logiczny sposób. Skutkiem tego jest dobrze i zrozumiale opracowany rozdział, w którym

Doktorant przeprowadził analizę stanu zagadnienia. Niestety Doktorant nie uwzględnił publikacji z ostatniego dziesięciolecia dotyczących konstrukcji urządzeń i sposobu sterowania ich nastawami w celu wytworzenia wyrobów o zamierzonych kształtach, szczególnie przy wytwarzaniu wyrobów z materiałów trudnokształkalnych.

Część badawcza recenzowanej rozprawy stanowi ok. 75% i zawiera cel, tezę i zakres pracy, a także opis stanowiska laboratoryjnego, zastosowanych metod badawczych i przeprowadzonych badań eksperymentalnych, numerycznych i weryfikacyjnych.

Teza pracy została sformułowana w sposób czytelny i jednoznaczny, choć jest w mojej opinii zbyt oczywista. Istotą rozprawy jest przeprowadzenie analizy walcowania skośnego w walcierce trójwalcowej z numerycznym układem sterującym, który umożliwia szybkie zmiany nastaw walcarki, w celu poprawy geometrii i jakości wytwarzanych wyrobów oraz pozwala w szybki i łatwy sposób na zwiększenie elastyczności produkcji poprzez rozszerzenie asortymentu przy stosowaniu tego samego zestawu narzędzi roboczych. Do udowodnienia postawionej tezy naukowej Autor zdefiniował i zrealizował cele obejmujące:

- opracowanie modelu numerycznego procesu walcowania skośnego za pomocą trzech rolek stożkowych,
- wykonanie obliczeń numerycznych w oparciu o metodę elementów skończonych, wykorzystując opracowany model,
- przeprowadzenie prób doświadczalnych kształtowania wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych przy zmiennych parametrach procesu,
- określenie wpływu podstawowych paramentów procesu na dokładność kształtowania oraz siły i momenty walcowania,
- wyznaczenie zakresu stabilnego procesu walcowania skośnego wyrobów oraz przedstawienie zjawisk ograniczających.

Doktorant opracował model geometryczny procesu walcowania skośnego trzema rolkami stożkowymi o różnych kątach kształtujących $\alpha = 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ oraz kącie zukosowania względem osi wsadu o wartości $\theta = 2,5^\circ, 5^\circ, 7,5^\circ$. Do badań numerycznych wytwarzania wyrobów osiowosymetrycznych zastosował stal w gatunki C60, a badania przeprowadził za pomocą oprogramowania Simufact.Forming. Reologiczny opis materiału opracował w oparciu o krzywe plastycznego płynięcia oraz uwzględnił energetyczne kryterium Cockrofta– Lathama. Na podstawie wyników badań numerycznych stwierdził, że zastosowane warunki technologiczne nie spowodują pęknięć, które mogłyby doprowadzić do wad dyskwalifikujących półwyrobów do kolejnych operacji technologicznych.

Praktyczną część badan wstępnych Doktorant oparł na rzeczywistym obiekcie w postaci walcarki trójwalcowej skośnej, której konstrukcja umożliwia sterowanie w łatwy

sposób kątem zukosowania walców. Na podstawie badań numerycznych przeprowadził analizę opracowanej konstrukcji pod względem jej sztywności. Stwierdził, że naprężenia występujące w elementach konstrukcyjnych klatki powodujące całkowite przemieszczenia elementów kształtujących wyroby osiowosymetryczne są niewielkie, a wymiary mieszczą się w zakresie założonej tolerancji. Analizując sposób sterowania nastawami walcarki Autor zaproponował zastosowanie numerycznego sterowania elektrośrubowych siłowników, dzięki któremu możliwe jest walcowanie wyrobów o różnych zarysach obwiedni, w wyniku sekwencyjnego przemieszczania narzędzi kształtujących na podstawie zadanej trajektorii ich ruchu. W tym celu doposażył stanowisko badawcze w układ czujników oraz sterownik programowalny. Doktorant opracował aplikację umożliwiającą sterowanie ręczne (ustawianie parametrów, tj. przemieszczenia, prędkości posuwu dla siłowników elektrośrubowych), jak również pracę w trybie automatycznym realizującą założoną sekwencję posuwów siłowników bez ingerencji użytkownika. Opisał szczegółowo charakterystykę zastosowanych elementów wykonawczych oraz sterujących, a sposób działania przedstawił za pomocą czytelnych schematów i algorytmu. Doktorant przeprowadził próby doświadczalne kształtowania wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych przy zmiennych parametrach procesu. Po procesie dokonał pomiarów jakości uzyskanej powierzchni odkuwek klasyfikując ją poprzez parametr falistości Wz oraz wymiary geometryczne przekrojów poprzecznych i porównał je do zarysu teoretycznego. Przeanalizował również parametry siłowe występujące podczas procesu kształtowania, tj. siły osiowe i promieniowe oraz momenty obrotowe dla każdego przyjętego wariantu walcowania. Wyniki przedstawił na wykresach i przeprowadził ich analizę oraz określił wpływ podstawowych paramentów procesu na dokładność kształtowania oraz siły i momenty walcowania. Przeprowadzone badania numeryczne wykazały, że zastosowane układy wykonawcze pomimo precyzyjnej dokładności pozycjonowania wykazywały ograniczenia w postaci generowanej siły nacisku tłoczyska. Podczas walcowania następował wzrost siły potrzebnej do kształtowania wyrobów, co wpływało negatywnie na dokładność położenia tłoczysk siłowników mocowanych w klatce walcowniczej, a w następstwie narzędzi roboczych. Ostatecznie rzutowało to na wymiary geometryczne przekrojów poprzecznych uzyskiwanych odkuwek. W związku z tym Autor zmodyfikował układy wykonawcze i do realizacji nastaw zastosował siłowniki hydrauliczne. Przeprowadzone próby doświadczalne walcowania odkuwki wału do lekkiego samochodu transportowego, umożliwiły weryfikację wyników uzyskanych na drodze symulacji numerycznych. Doktorant niewielkie rozbieżności uzasadnił i znalazł ich przyczynę wskazując na uproszczenia jakim poddane są wszystkie badania symulacji komputerowych.

Sposób ujęcia tematyki w poszczególnych rozdziałach pracy uznaję za prawidłowy, powszechnie stosowany przy redagowaniu dysertacji naukowych. Podjęta tematyka pracy, niezależnie od swej dużej wagi aplikacyjnej, należy niewątpliwie do bardzo ważnego obszaru badań związanych z udoskonaleniem technik sterowania urządzeniami w procesach wytwarzania wyrobów metalowych i bez wątpienia nadaje się do opracowania w formie rozprawy doktorskiej.

W większości przypadków nomenklatura stosowana przez Doktoranta jest poprawna i zgodna z obowiązującą, jednak można znaleźć kilka wyjątków, które najprawdopodobniej wynikają z uproszczeń związanych z językiem branżowym. Nie wpływają one jednak na wartość merytoryczną pracy.

Ocena rozprawy doktorskiej

Przestawiona do recenzji rozprawa doktorska pana mgr inż. Konrada Lisa napisana jest na bardzo dobrym poziomie, poprawnym językiem oraz posiada strukturę typową dla prac teoretyczno – eksperymentalnych. Doktorant w bardzo dobry sposób opracował plan badawczy uwzględniający wpływ wielu czynników związanych z konstrukcją i sterowaniem walcarki skośnej na jakość wyrobów osiowosymetrycznych. Na podkreślenie zasługuje fakt, że dzięki dobrej znajomości teorii jak i praktycznego podejścia do rozwiązywania postawionego zagadnienia badawczego opracowanie posiada duże znaczenie użytkowe. W wyniku przemyślanych i dobrze zaplanowanych eksperymentów Doktorant opracował bardzo przydatne narzędzie umożliwiające sterowanie nastawami walcarki skośnej w sposób zapewniający uzyskanie wyrobu o zawężonych tolerancjach wymiarowych.

W pracy znalazłem kilka błędów edytorskich oraz uwag czysto technicznych (np.: tytuły rozdziałów 5.1.1. Analiza numeryczna walcarki....6.2.1. Struktura geometryczna powierzchni odkuwki...i inne), które przekazałem bezpośrednio Doktorantowi, a które według mnie ułatwią publikowanie materiału zawartego w dysertacji.

Uwagi i zapytania, które nasunęły mi się w trakcie lektury wyszczególniono poniżej.

1. Doktorant w przeglądzie literatury podaje dokładności wymiarowe w oparciu o wyniki badań opisane w literaturze z lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Na tej podstawie stawia wnioski dotyczące rozwoju techniki wytwarzania wyrobów osiowosymetrycznych. W sześćdziesięcioletnim okresie rozwoju metody należałoby wskazać literaturę z ostatnich 10 lat.
2. W tezie naukowej pracy Doktorant posługuje się terminem „efektywne kształtowanie wyrobów” choć w pracy nie znalazłem czynnika umożliwiającego określenie tej

- wielkości. Proszę o wyjaśnienie terminu i wskazanie wielkości, która świadczy o efektywnym kształtowaniu.
3. Doktorant przedstawił wyniki badań wpływu nastaw procesowych na jakość powierzchni i parametry energetyczno – siłowe. Sposób przedstawienia powoduje, że analiza wyników jest utrudniona. Moim zdaniem zbiorcze przedstawienia wyników pomiarów mogłoby umożliwić określenie okna procesowego umożliwiającego uzyskanie półwyrobu charakteryzującego się poprawą jakości powierzchni definiowaną poprzez parametr falistości.
 4. W pracy brak jest uwypuklenia tych rezultatów, które wskazują, że zaprojektowane i wdrożone sterownie numeryczne walcarki laboratoryjnej zwiększa uniwersalność walcarki poprzez możliwość wprowadzenia pliku wykonawczego, a co z tym związane, podkreślenie przydatności opracowanego sposobu sterowania w warunkach produkcji jednostkowej.

Wiosek końcowy

W recenzowanej rozprawie doktorskiej zawarto wartościowe wyniki badań własnych świadczące o dojrzałości naukowej Doktoranta. Samodzielnie przedstawił zagadnienie, zdefiniował problem i rozwiązał go na drodze teoretycznej i eksperymentalnej, udowadniając postawioną tezę naukową. Biorąc pod uwagę bardzo szeroki zakres przeprowadzonych badań oraz uzyskane wyniki uważam, że dysertacja stanowi wartościowy wkład w rozwój komputerowych technik wspomagania procesów wytwórczych i dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca mgr inż. Konrada Lisa pt.: „Kształtowanie wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych w walcierce skośnej sterowanej numerycznie” spełnia wymogi określone w Ustawie o stopniach i tytule naukowym oraz wnioskuje o dopuszczenie jej do publicznej obrony.