

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. **Konrada LISA**

nt. "**Kształtowanie wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych w walcierce skośnej sterowanej numerycznie**" wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Lubelskiej, zgodnie z uchwałą z dnia 23 marca 2022 r.

(pismo z dnia 25 marca 2022r.)

1. Ocena istotności problemu naukowego rozprawy

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Konrada Lisa została wykonana na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Zbigniewa Patera. Praca została napisana w klasycznym układzie. Zawiera spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń, przegląd literatury, cel i tezę pracy, wyniki badań własnych i wnioski oraz wykaz literatury. W spisie literatury Doktorant podaje 102 pozycje krajowe i zagraniczne do których odwołuje się w swojej rozprawie. W tym wykazie znalazły się cztery prace Doktoranta, które publikował w czasie swej pracy naukowej. Rozprawa obejmuje 160 stron, 137 rysunków i 9 tablic. 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 walcowania skośnego za pomocą trzech rolek wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych w walcierce skośnej sterowanej numerycznie. Takie wyroby w postaci stopniowanych osi i wałów stosowane są w układach napędowych, nośnych oraz przekładniach mechanicznych w przemyśle maszynowym, motoryzacyjnym, lotniczym i kolejowym. Ich wytwarzanie, przy produkcji małoseryjnej, realizowane jest metodami obróbki skrawaniem poprzez zastosowanie jako wsadu prętów o standardowych średnicach, co powoduje znaczną materiałochłonność i pracochołonność. Przy produkcji średnio i wielkoseryjnej uzasadnione finansowo jest stosowanie przedkuwek kształtowanych

plastycznie przez kucie i walcowanie. Umożliwia to zmniejszenie zużycia materiału w procesie wytwarzania wyrobów oraz skrócenie czasu obróbki ubytkowej ze względu na mniejsze naddatki technologiczne. W recenzowanej rozprawie doktorskiej możliwość wytwarzania wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych w walcierce skośnej sterowanej numerycznie oparto o analizę teoretyczną obejmującą obliczenia numeryczne metodą elementów skończonych. W oparciu o otrzymane rezultaty obliczeń, w tym uzyskane parametry siłowe, skonstruowano i wykonano laboratoryjną walcarkę skośną sterowaną numerycznie. Stanowisko badawcze pozwoliło na weryfikację doświadczalną procesu walcowania skośnego wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych za pomocą trzech rolek stożkowych.

Realizacja badań w zakresie kształtowania plastycznego wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych w walcierce skośnej ma charakter aktualny i nowatorski, jest w pełni uzasadniona, a tym samym spełnia oczekiwania w aspekcie naukowym. Ma znaczenie zarówno poznawcze jak i technologiczne. Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Konrada Lisa 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 Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej.

2. Merytoryczna ocena pracy

Studium literaturowe zawarte na 48 stronach obejmuje zagadnienia dotyczące tematyki pracy i składa się z dwóch podrozdziałów. We wprowadzeniu do analizy stanu zagadnienia Doktorant wskazuje, że proces kształtowania wydłużonych odkuwek osiowosymetrycznych takich jak wały i osie może być realizowany przez kucie swobodne, matrycowe, w kowarkach oraz walcowanie wzdłużne i poprzeczne. Omawia szczegółowo wymienione metody kształtowania odkuwek wskazując na wady procesu i powszechność stosowania. Podaje przykłady wytwarzania wałów metodą kucia swobodnego na gorąco, kucia wału korbowego metodą Tadeusza Ruta, produkcji odkuwek osi kolejowych i rur grubościennych kutech w kowarkach. Przedstawia przykłady wytwarzania korbowodów i wałów korbowych, belki osi przedniej do samochodu w procesie walcowania wzdłużnego. Szczegółowo omawia wykonanie wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych w procesie walcowania poprzecznego, a podanym przykładem wytwarzania wyrobu tą metodą jest wał przekładni tylnej śmigłowca oraz stopniowanego wału. W podrozdziale 2.1 Doktorant

dokonał przeglądu piśmiennictwa dotyczącego procesu walcowania skośnego, co jest bezpośrednio związane z tematyką rozprawy doktorskiej. Przedstawia rodzaje walcowania skośnego według kształtu walców i sposobu ich ułożenia, jako beczkowe, tarczowe, stożkowe oraz podaje przykłady zastosowania w produkcji tulei, rur, stopniowanych wyrobów osiowosymetrycznych. Szczegółowo przedstawia ciekawą propozycję walcowania skośnego walcami o wykrojach śrubowych kul stalowych, która została opracowana w Politechnice Lubelskiej. Charakteryzuje proces walcowania skośnego za pomocą dwóch lub trzech rolek stożkowych, jako alternatywną metodę wytwarzania wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych niż walcowanie kuźnicze dwoma walcami o wykrojach śrubowych.

Druga część przeglądu piśmiennictwa dotyczy konstrukcji walcarek kuźniczych. Doktorant omawia cztery rodzaje walcarek kuźniczych wzdłużnych: ramowe, konsolowe, ramowo – konsolowe oraz wieloklatkowe automaty walcownicze, także podaje szereg przykładowych konstrukcji walcarek zastosowanych w przemyśle. W dalszej części rozdziału omawia walcarki kuźnicze poprzeczno – klinowe, walcarki kuźniczo – skośne oraz podaje przykład walcarki skośnej zaprojektowanej i wykonanej w Politechnice Lubelskiej, przeznaczonej do wytwarzania kul stalowych z główek złomowanych szyn oraz krótkich odkuwek osiowosymetrycznych. Przegląd literatury Doktorant kończy podsumowaniem w którym podkreśla, że zastosowanie walcowania skośnego za pomocą trzech narzędzi umożliwia kształtowanie wydłużonych i stopniowanych osi i wałów oraz wielkogabarytowych przedkuwek. Doktorant stwierdza, że dla rozwoju tej metody walcowania niewystarczające są opracowania literaturowe dotyczące układów sterowania numerycznego. Stąd uzasadnione jest prowadzenie analiz umożliwiających określenie wpływu parametrów technologicznych na przebieg procesu walcowania oraz konieczność weryfikacji procesu walcowania w warunkach przemysłowych.

Przegląd piśmiennictwa jest wyróżniającą częścią pracy, opracowaną w sposób logiczny, w oparciu o właściwie dobrane pozycje literaturowe. Omówiona problematyka w części literaturowej właściwie koresponduje z tematyką rozprawy oraz problematyką prezentowaną w badaniach własnych.

W rozdziale trzecim Doktorant przedstawia cel pracy, którym jest analiza możliwości walcowania skośnego za pomocą trzech rolek stożkowych wyrobów w postaci wydłużonych odkuwek osiowosymetrycznych. Na podstawie tak podanego celu sformułował tezę pracy brzmiącą: *„Walcowanie skośne z wykorzystaniem trzech rolek stożkowych umożliwia efektywne kształtowanie długich wyrobów osiowosymetrycznych, w tym w warunkach produkcji jednostkowej”*. Dla potwierdzenia przyjętej tezy Doktorant zaproponował szeroki

zakres realizacji badań własnych, który obejmuje opracowanie modelu numerycznego procesu walcowania skośnego, przeprowadzenie obliczeń numerycznych, realizację prób doświadczalnych, określenie wpływu parametrów procesu na dokładność kształtowania wyrobów oraz na siłę i moment walcowania, wyznaczenie zakresu stabilnego walcowania i podanie zjawisk ograniczających. Zaproponowana teza pracy w mojej ocenie jest poprawna, adekwatna do podjętego problemu badawczego, a wraz z przyjętym zakresem prac wskazuje na spodziewane rezultaty badań.

Badania własne rozpoczyna zawarte w rozdziale czwartym opracowanie modułu numerycznego procesu walcowania skośnego. Doktorant do symulacji numerycznych zastosował oprogramowanie Simufact Forming, a model geometryczny zawierał trzy walce stożkowe oraz uchwyt czteroszczękowy w którym umieszczano pręt ze stali gatunku C60. Analizował wpływ temperatury, intensywności odkształcenia oraz funkcji zniszczenia według Cockrofta – Lathama na przebieg procesu walcowania. W oparciu o obliczone parametry siłowo – energetyczne została skonstruowana i wykonana laboratoryjna walcarka skośna z układem sterowania numerycznego. Walcarka z trzema walcami stożkowymi umożliwia kształtowanie wyrobów o różnych zarysach obwiedni, w wyniku sekwencyjnego przemieszczania narzędzi kształtujących po zadanej trajektorii ich ruchu. Podstawowe elementy walcarki, takie jak: klatka robocza, korpusy, wały robocze sprawdzono pod względem wytrzymałości i sztywności za pomocą obliczeń numerycznych. Ma to istotne znaczenie dla uzyskania poprawnej dokładności walcowanych wyrobów. W rozdziale szóstym zawarto badania doświadczalne mające na celu określenie zmian parametrów technologicznych w procesie walcowania. Doktorant szczegółowo analizował wpływ parametrów kształtowania, takich jak: kąt kształtujący narzędzi, ich ustawienie kątowe względem osi walcowania, prędkość przemieszczania uchwytu szczękowego, wartości zadane gniotu na falistość i geometrię wyrobu oraz na parametry siłowe procesu. Weryfikację doświadczalną pozwalającą na ocenę możliwości zastosowania walcowania skośnego do wytwarzania wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych Doktorant przeprowadził na przykładzie odkuwki do lekkiego samochodu transportowego. Badania weryfikujące poprzedzono symulacją numeryczną procesu walcowania skośnego, która określiła możliwość wykonania takiej odkuwki ze stali 100Cr6. W wyniku procesu walcowania otrzymano odkuwkę pozbawioną wad materiałowych oraz o wymaganej geometrii. Badania własne zakończono podaniem ograniczeń mających wpływ na przebieg procesu kształtowania wyrobów osiowosymetrycznych metodą walcowania skośnego za pomocą trzech walców stożkowych. Takim ograniczeniem jest możliwość wyboczenia

kształtowanego pręta oraz zniekształcenie jego przekroju poprzecznego. Rozprawa doktorska na zakończenie zawiera krótkie podsumowanie i Doktorant podaje siedem 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. 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, a przeprowadzone badania potwierdzają przyjętą tezę pracy, że walcowanie skośne z wykorzystaniem trzech rolek stożkowych umożliwia efektywne kształtowanie długich wyrobów osiowosymetrycznych. Doktorant wykazał się dużą umiejętnością prowadzenia badań i ich analizy w oparciu o wiedzę z obróbki plastycznej i budowy maszyn.

Do największych osiągnięć Doktoranta należy zaliczyć :

- opracowanie literaturowe w zakresie walcowania skośnego wyrobów, co rozszerza zakres wiedzy na temat kształtowania plastycznego wydłużonych odkuwek osiowosymetrycznych,
- określenie, na drodze modelowania numerycznego i doświadczalnego, wpływu parametrów kształtowania na cechy geometryczne odkuwek oraz wyjaśnienie zjawisk zakłócających proces kształtowania wyrobu,
- skonstruowanie i wykonanie laboratoryjnej walcarki skośnej z układem sterowania numerycznego,
- wykazanie możliwości wytwarzania przemysłowych odkuwek lub przedkuwek osiowosymetrycznych za pomocą walcarki skośnej z trzema rolkami stożkowymi.

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

1. Doktorant powołując się na dane literaturowe stwierdza, że zaproponowany model materiałowy prawidłowo opisuje walcowanie na gorąco, co wynika ze zgodności wyników obliczeń numerycznych z wynikami badań doświadczalnych. Proszę o podanie na przykładach jakie wielkości porównywano.
2. Doktorant w pracy podaje takie wielkości jak: gniot, stopień gniotu, stopień przerobu plastycznego. Gniot wyrażany jako względny lub współczynnik gniotu związany jest ze zmianą wysokości i przyjmuje wartości mniejsze od 1, a nie jak podano równy 1,5. Proszę o zdefiniowanie użytych pojęć.

3. Doktorant w badaniach doświadczalnych słusznie założył wyższą temperaturę nagrzewania wsadu z uwagi na jej spadek od czasu wyjęcia z pieca do momentu rozpoczęcia walcowania. Ta różnica w porównaniu do przyjętej w analizie numerycznej została określona jako 100°C. Proszę określić jaka faktycznie jest ta różnica temperatury jeśli dokonano pomiaru rzeczywistej temperatury za pomocą kamery termowizyjnej.
4. Doktorant stwierdza zgodność zmierzonych wartości temperatury z wartościami temperatur obliczonych numerycznie. Czy ta zgodność jest jakościowa, czy wynika z porównań ilościowych?
5. Jakość otrzymanych odkuwek określono poprzez pomiary geometryczne oraz badania nieniszczące. O jakości odkuwek decydują także właściwości wytrzymałościowe i ewentualnie struktura. Czy takie badania w odniesieniu do odkuwki wału były realizowane?

Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Konrada Lisa nt. „Kształtowanie wydłużonych wyrobów osiowosymetrycznych w walcierce skośnej sterowanej numerycznie” ma walory naukowe i poznawcze oraz świadczy o bogatym warsztacie badawczym, a także o dużym potencjale Doktoranta do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

W podsumowaniu uważam, że rozprawa spełnia wymagania stawiane w Ustawie o Stopniach i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule Naukowym w Zakresie Sztuki z dnia 14 marca 2003 r. i dlatego wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Konrada Lisa do publicznej obrony. Jednocześnie stawiam wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.