

Rzeszów, 20.01.2025

prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik
Politechnika Rzeszowska
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Katedra Konstrukcji Maszyn
Al. Powstańców Warszawy 12
35-959 Rzeszów

Recenzja rozprawy doktorskiej

pt. BUDOWA INTELIGENTNEJ OBRABIARKI DO FREZOWANIA PROMIENI SOCZEWEK

autor: mgr inż. Michał Zarzeczny

promotor: prof. dr hab. inż. Mirosław Pajor

promotor pomocniczy: mgr inż. Roman Haberek

Podstawa recenzji

Pismo dr hab. inż. Krzysztofa Danileckiego, prof. ZUT, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technicznego w Szczecinie numer L.dz. WIMiM/320/2024 z dnia 8 października 2024 dotyczące powołania na recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora Panu mgr inż. Michałowi Zarzecznemu w oparciu dysertację pt. Budowa inteligentnej obrabiarki do frezowania promieni soczewek.

1. Wprowadzenie

Nowoczesny przemysł wymaga stosowania innowacyjnych rozwiązań opartych o technologie optoelektryczne wykorzystujące optykę instrumentalną pozwalającą m.in. na zwiększenie wydajności procesów produkcyjnych. Dotyczy to również przemysłu obronnego, w którym układy optyczne stanowią istotne elementy odpowiedzialne za skuteczność działania nowoczesnych technologii militarnych. Biorąc powyższe pod uwagę wytwarzanie soczewek i elementów układów optycznych stanowi ważny element gospodarki w zakresie zaawansowanych technologii. Znaczenie technologii obróbki elementów optycznych nie przekłada się bezpośrednio na liczbę przedsiębiorstw produkujących tego typu elementy o wysokiej dokładności, jednak należy wspomnieć, że kilkadziesiąt lat temu polski przemysł optycznych stanowił istotną gałąź gospodarki naszego kraju o obszarze zaawansowanych procesów produkcyjnych zarówno w odniesieniu do zastosowań w technologiach obronnych jak też cywilnych np. szkielek okularowych.

Elementy optyczne stanowią obecnie istotny składnik wielu urządzeń m.in. aparatury pomiarowej, systemów kontroli wizualnej opartej na kamerach przemysłowych, oświetlenia ulicznego, reflektorów pojazdów, robotów przemysłowych, robotów bojowych, układów celowniczych, dronów, aparatury medycznej a także urządzeń elektronicznych codziennego

użytku. Jak widać kwestia analizy i zapisu obrazu, tworzenia trójwymiarowych obiektów numerycznych i interakcji maszyn z człowiekiem odbywa się poprzez układy optyczne pozwalające na dokładny przekaz sygnałów wizyjnych a także ich emisję w obszarze rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej, czyli stanowią bardzo ważny element komunikacji. Autor rozprawy podjął się realizacji tematu dotyczącego opracowania i wdrożenia pewnych procedur i rozwiązań technicznych pozwalających na zautomatyzowanie procesu zgrubnego frezowania soczewek w oparciu o zaawansowany system monitorowania stanu powierzchni i geometrii obrabianej soczewki. Sformułował tytuł rozprawy jako „Budowa inteligentnej obrabiarki do frezowania promieni soczewek”, który sposób dość nieoczywisty odzwierciedla zawartą w pracy tematykę. Należy tu zapytać co oznacza stwierdzenie „inteligenta obrabiarka”. Analizując znaczenie słowa inteligencja, odnosi się ono do istot żywych, szczególnie człowieka i dotyczy pewnych cech dotyczących człowieczeństwa. W odniesieniu do maszyny obróbczej, nie jest to stwierdzenie dość trafne. Można pomyśleć, że Autor uległ rozpowszechniającym się publicystyce technicznej trendom polegającym na pewnego rodzaju odhumanizowaniu społeczeństwa poprzez przypisywanie cech ludzkich maszynom. Wynika to również z upowszechnienia algorytmów opartych o tzw. sztuczną inteligencję (AI), którą po wnikliwej analizie na dzień dzisiejszy trudno uznać za twór inteligentny czy sztuczny z punktu widzenia samego funkcjonowania. Nie mniej jednak należy pamiętać, że współpraca systemów i elementów optycznych z algorytmami opartymi AI jest ściśle powiązana, dla przykładu systemy kontroli jakości oparte o rejestrację wizualną czy systemy rozpoznawania twarzy wykorzystują procedury uczenia maszynowego.

Podsumowując, podjęcie przedstawionej w rozprawie tematyki należy uznać za celowe i aktualne z punktu widzenia stanu wiedzy, badań naukowych oraz potrzeb branży optycznej i nowoczesnego przemysłu wykorzystującego układy optoelektryczne.

2. Charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca liczy 106 stron, zawiera w początkowej części streszczenie w języku polskim i angielskim oraz spis treści. Dysertacja składa się z części teoretycznej opisującej ogólnie znane etapy obróbki soczewek oraz części praktycznej dotyczącej opracowanego autorskiego rozwiązania w tym badań i analizy wyników w odniesieniu do przedstawionych na wstępie założeń. Spis literatury liczy 60 pozycji, które Autor chciał ułożyć początkowo kolejności powołań, jednak widoczny jest w kilku miejscach brak konsekwencji realizacji tego zamiaru (str. 11 i 12). W skład bibliografii wchodzi pozycje odpowiednio dobrane do tematyki dysertacji m.in. opracowania monograficzne, artykuły i źródła internetowe pochodzące z wielu obszarów, okresów i źródeł, co jest uzasadnione zakresem realizowanych prac, który obejmuje zagadnienia dotyczące budowy obrabiarek, obróbki szkła, robotyki, automatyzacji i sterowania numerycznego procesami wytwórczymi.

Układ rozprawy i jej struktura są prawidłowe, rozdziały i podrozdziały ułożone są logicznie, tworzą spójny materiał, pozwalający na właściwą interpretację treści zawartych w kolejnych jej częściach.

Część teoretyczną rozprawy rozpoczyna dość krótki wstęp, w którym Autor przedstawia informacje dotyczące istotności procesu frezowania soczewek w odniesieniu do podjętego zagadnienia badawczego opartego o analizę rozwiązań konstrukcyjnych

jak również algorytmów numerycznych opracowanych na potrzeby przedstawionego w pracy rozwiązania technologicznego.

Rozdział drugi stanowi analizę stanu zagadnienia, którą rozpoczyna opis zastosowań soczewek w różnych obszarach techniki jako elementów urządzeń technologicznych, diagnostycznych czy rejestrujących stosowanych w budowie maszyn, medycynie czy przemyśle zbrojeniowym. Przedstawia również trendy związane z rosnącym zapotrzebowaniem na soczewki o wysokiej dokładności, które mają zapewnić wysoką jakość rejestracji sygnałów optycznych. Dodaje również, że w niektórych gałęziach przemysłu zauważalna jest indywidualizacja konstrukcji urządzeń, co skutkuje zmniejszaniem się liczby wyrobów w danej partii i przekłada się na potrzebę dostosowania układów optycznych do krótkich serii wyrobów. Z tego względu producenci soczewek, chcąc nadążyć za potrzebami rynku zmuszeni są do stosowania obrabiarek, które zapewnią możliwość wykonywania krótkich serii soczewek o wysokiej jakości w relatywnie krótkim czasie. W rozdziale tym opisano również wybrane rozwiązania techniczne obrabiarek do obróbki soczewek oferowane na rynku przez różnych producentów. Autor odniósł się również syntetycznie do dokładności obróbki i kompensacji błędów obróbkowych, co jest ściśle związane z tematyką pracy i stanowi jednocześnie uzasadnienie jak i punkt startowy do realizacji podjętych w niej prac badawczych.

W rozdziale trzecim przedstawiono cel i zakres pracy. Autor dysertacji określił cel jako budowę innowacyjnej inteligentnej obrabiarki do zgrubnego frezowania soczewek, wyposażonej w zaawansowany system monitorowania stanu powierzchni i geometrii obrabianej soczewki w trybie automatycznym, co należy uznać za uzasadnione z punktu widzenia analizy stanu zagadnienia. Pojawia się jednak pytanie jak przedstawiony cel koreluje z tytułem pracy odnoszącym się frezowania promieni soczewek. Analizując treść pracy można zauważyć, że dotyczy ona obróbki powierzchni sferycznych soczewek, które opisane są założonym konstrukcyjnie promieniem krzywizny. Stwierdzenia te w treści pracy opisane są prawidłowo, jednak sam jej tytuł sformułowany jest dość niefortunnie.

Osiągnięcie celu zostało zaplanowane poprzez realizację siedmiu etapów obejmujących opracowanie projektu konstrukcyjnego, wykonanie prototypu obrabiarki, analizę błędów wytwarzania soczewek, symulację procedur kompensacji błędów, implementację systemu korekcyjnego, badania doświadczalne korekcji w warunkach rzeczywistych oraz analizę wyników badań. W końcowej części rozdziału zamieszczono hipotezę mówiącą, że istnieje możliwość zaprojektowania systemu automatycznej kompensacji błędów wytwarzania dla obrabiarki do wstępnego frezowania soczewek, efektywnie kompensującego wybrane błędy obróbki soczewek.

Rozdział czwarty przedstawia przykładowy proces technologiczny soczewki, gdzie wyszczególniono standardowe etapy procesu wytwarzania soczewek obejmujące założenia konstrukcyjne, przygotowanie półfabrykatu w postaci płytek, łączenie płytek, zakręcanie, frezowanie, szlifowanie, polerowanie, centrowanie i fazowanie oraz kontrolę jakości. Informacje te pokazują praktyczne aspekty wytwarzania soczewek, stanowią jednak ogólnie dostępną wiedzę, którą można zaliczyć do części teoretycznej pracy. Z punktu widzenia celu naukowego dysertacji informacje zawarte w tym rozdziale są istotne, ponieważ pozwalają na umiejscowienie realizacji badań w odniesieniu do całości procesu technologicznego soczewki.

W rozdziale piątym opisano proces frezowania powierzchni sferycznych soczewek i tu Autor stara się wyjaśnić subtelne różnice w terminologii odnoszącej się do frezowania

czy szlifowania w kontekście samego procesu i stosowanych narzędzi. W tym miejscu jak i w innych użyto określenia półwyrób optycznego jako „pastylki”. Sformułowanie to nie jest zbyt trafne, ponieważ półwyrób ten ma kształt krążka i raczej powinno się używać tej nazwy, poza tym w procesie technologicznym występuje etap zakrężania (zaokrąglania), a nie jakby wynikało to z przyjętej przez Autora terminologii która w konsekwencji odwrotnej mogłaby przyjąć nazwę „zapastylkowania”. Jest to jeden z przykładów występujących w pracy kolokwializmów, związanych z daną branżą. Należy jednak dodać, że rozprawa doktorska powinna być przygotowana w oparciu o ogólnie przyjętą terminologię techniczną i powinno się unikać żargonu technicznego stosowanego w określonej branży.

Istotnym elementem tego rozdziału jest przedstawienie klasyfikacji błędów występujących w procesie frezowania co stanowi bazę do rozważań naukowych w zakresie możliwości redukcji tych błędów w procesie obróbki poprzez zastosowanie rozwiązań opracowanych przez Autora ramach realizacji prac badawczych.

Rozdział szósty przedstawia rozwiązanie konstrukcyjne maszyny do frezowania soczewek poczynając od układu kinematycznego obrabiarki poprzez architekturę maszyny dla poszczególnych osi obrabiarki. W końcowej części rozdziału pokazano rysunek maszyny oraz jej prototyp. Tytuł rozdziału „Inteligentna maszyna do frezowania soczewek” nie jest sformułowany trafnie, co już podjęto w recenzji w odniesieniu do tytułu samej rozprawy.

W rozdziale siódmym opisano koncepcję monitorowania procesu frezowania opartą o automatyczny system kompensacji błędów. W przypadku tytułu zauważalna jest pewna niekonsekwencja, tytuł ma postać: „Koncepcja monitorowania procesu szlifowania oparta o automatyczny system kompensacji błędów”, w poprzednim rozdziale w tytule użyto nazwy tego procesu jako frezowanie. Można w pewnym sensie próbować usprawiedliwić tę niekonsekwencję w nazewnictwie, biorąc pod uwagę obróbkę szkła i subtelne różnice stosowanych narzędzi i procesów w kontekście ogólnym zagadnień związanych z obróbką ubytkową, jednak Autor powinien przyjąć i stosować konsekwentnie terminologię w swojej pracy dotyczącej obróbki szkła instrumentalnego.

Rozdział ten stanowi istotną część badawczą dysertacji ściśle związaną z opracowanym rozwiązaniem systemu kompensacji błędów dla procesu frezowania soczewek. Przedstawiono tu wyniki badań symulacyjnych automatycznego systemu kompensacji błędów analizując przy tym przyczyny pojawiania się błędów podczas procesu obróbki wynikające m.in. z odkształceń termicznych, niedokładności konstrukcyjnej i montażowej obrabiarki oraz zużycia frezu.

Przeprowadzono analizę możliwości realizacji pomiaru krzywizny obrabianej powierzchni soczewki w trakcie obróbki i określono procedurę pomiarową dla procesu badawczego. Wyniki pomiarów przedstawiono w formie tabel i wykresów. Opracowany został model geometryczny i obliczeniowy pozwalający na zwiększenie dokładności obróbki soczewek, którego bazą jest szereg schematów i wykresów przedstawiających modele realizacji obróbki. Jest to istotna część realizacji prac badawczych i naukowych pozwalająca na osiągnięcie określonego przez Autora celu pracy.

Rozdział zawiera również badanie eksperymentalne opracowanego systemu automatycznej kompensacji, przedstawiające wyniki pomiaru próbki powierzchni wklęsłej o promieniu 34,04mm soczewki badawczej po obróbce, jednak raport pomiaru (str. 92) w wersji wydrukowanej nie jest zbyt czytelny. Autor nie określił, ile próbek badawczych zostało wykonane w celu weryfikacji doświadczalnej opracowanego rozwiązania.

Rozdział ósmy zawiera podsumowanie pracy, szczególnie części związanej z opracowanym przez Autora rozwiązaniem technologicznym, które odpowiada zapotrzebowaniu przedsiębiorstwa będącego konsorcjantem realizowanego projektu Doktorat wdrożeniowy.

Przedstawiona do oceny praca jest związana z obróbką soczewek, może mieć jednak charakter interdyscyplinarny, dotyczy w większości istotnych zagadnień badawczych z punktu widzenia rozwoju dyscypliny inżynieria mechaniczna. Została wykonana w ramach prac badawczych i naukowych w ramach programu Doktorat wdrożeniowy, charakteryzuje się potencjałem pozwalającym na aplikację przemysłową opracowanych rozwiązań. Praca zawiera bogaty materiał ilustracyjny, wiele rysunków i schematów wykonanych jest jako opracowania własne Autora. Struktura pracy jest generalnie prawidłowa, jednak kolejne rozdziały mogłyby rozpoczynać się na nowych stronach, niektóre rozdziały kończą się rysunkiem, w kilku miejscach występują nierównomierne odstępy między wierszami. W tekście występują liczne błędy interpunkcyjne takie jak brak kropki na końcu zdania, brak przecinków, opisy niektórych rysunków w rozdziale drugim występują w języku angielskim.

Głównym celem dysertacji było opracowanie systemu automatycznej kompensacji błędów wytwarzania dla obrabiarki do frezowania soczewek o powierzchni sferycznej, co można uznać, że zostało osiągnięte w wyniku jej realizacji. Wdrożeniowo i badawczy charakter pracy w jej znacznej części pozwala na uzyskanie wyników o znaczeniu aplikacyjnym, których analiza ma aspekt naukowy, jednocześnie może stanowić materiał mający potencjał praktycznego zastosowania w rozwiązaniach przemysłowych z obszaru inżynierii mechanicznej.

Opracowany przez Doktoranta automatyczny system kompensacji błędów stanowi ważny aspekt automatyzacji procesu produkcyjnego w odniesieniu do krótkich serii wytwarzanych wyrobów. Opracowanie frezarki zintegrowanej z tego typu systemem umożliwia zmniejszenie wpływu czynnika ludzkiego na precyzję wykonania wyrobów i jakość produkcji. Nie ma tu potrzeby ciągłego monitorowania przez operatora procesu wytwarzania i wprowadzania korekty możliwych błędów, co wpływa na zmniejszenie wystąpienia ludzkich pomyłek i redukuje obciążenie obsługi obrabiarki. Przedstawione rozwiązanie pozwala na realizację stałego nadzoru nad procesem frezowania, co zwiększa powtarzalność wyrobów i sumarycznie przekłada się również na skrócenia czasu realizacji procesu frezowania.

4. Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji praca dotyczy istotnych zagadnień, odnoszących się do badań i analizy procesów wytwórczych stosowanych do obróbki szkła, szczególnie elementów optyki instrumentalnej. Zastosowanie opisanej metody kompensacji błędów w procesie frezowania szkła, ma potencjał zastosowania w przemyśle, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu technicznego i naukowego. Tematyka pracy została wybrana w sposób przemyślany i trafny, a jej zakres spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim o charakterze wdrożeniowym i prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Układ formalny pracy jest zgodny z wytycznymi dla dysertacji doktorskich, zawiera odpowiednią bibliografię i materiał ilustracyjny. Praca odnosi się do aktualnej wiedzy, wnosi treści nowe w obszarze badań

naukowych a także ich możliwości aplikacji przemysłowych. Praca składa się z części teoretycznej będącej jednocześnie analizą stanu zagadnienia. Sformułowane cele badawcze zostały osiągnięte a opracowana analiza wyników badań stanowi oryginalny wkład Autora w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna. W mojej ocenie przedstawiona dysertacja świadczy o kompetencjach Autora w zakresie samodzielnego prowadzenia prac naukowych o charakterze badawczym z wysokim potencjałem wdrożeniowym.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. „Budowa inteligentnej obrabiarki do frezowania promieni soczewek” autorstwa mgr inż. Michała Zarzecznego, promotor prof. dr hab. inż. Mirosław Pajor spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn. zm. w zakresie dyscypliny inżynieria mechaniczna, w mojej ocenie może być dopuszczona do kolejnych etapów procedury przewodu doktorskiego.

Grzegorz Budzik