

dr hab. inż. Witold Pawłowski, prof. PŁ
Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn
Politechnika Łódzka
ul. Stefanowskiego 1/15
90-924 Łódź

Łódź, dnia 08 maja 2018 r.

WPŁYNEŁO

dnia 15.05.2018 r.
PK/WTT/Dz/7/97/2018

RECENZJA*

rozprawy doktorskiej mgr inż. Filipa Szafrąca

pt.: „**Innowacyjne metody mikroszlifowania płaszczyzn z zastosowaniem ściernic o stożkowej i hiperboloidalnej powierzchni czynnej**”

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak, dr h.c. mult.

Oceniana rozprawa doktorska jest o charakterze użytkowym, obejmuje 7 rozdziałów oraz bibliografię. W załączeniu zostały przedstawione: streszczenie rozprawy doktorskiej oraz krótki opis aktywności naukowej Autora rozprawy. Rozprawa ma objętość 204 stron, zawiera 65 zależności fizycznych i geometrycznych oraz jest zilustrowana graficznie na 183 rysunkach, a wielkości fizyczne, wyniki analiz i obliczeń zostały zestawione w 13 tabelach.

1. Wybór tematu, sformułowanie celu, tezy i zakresu rozprawy

Tematykę modelowania, badań symulacyjnych oraz doświadczalnych procesów mikroszlifowania uważam jako bardzo aktualną, szczególnie w zastosowaniach zwiększających możliwości technologiczne współczesnej obróbki ścierniej. Nowatorskie rozwiązania dotyczące metod mikroszlifowania płaszczyzn, które są przedmiotem recenzowanej rozprawy, mają na celu zwiększenie efektywności procesu obróbki ścierniej zwiększając możliwości technologiczne dzięki możliwości

* Recenzję opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej z dnia 18.04.2018.

przeprowadzenia doboru parametrów obróbki (parametry geometryczne i kinematyczne procesu oraz dobór narzędzia ściernego) właściwych ze względu na prawidłową pracę narzędzia ściernego, ale co jest jeszcze bardziej istotne, odnośnie jakości powierzchni szlifowanej, definiowanej jako dokładność wymiarowo-kształtowa obrabianej powierzchni. Każde rozwiązanie techniczne poprawiające efekt technologiczny w rozumieniu jakości powierzchni kształtowanej w procesach obróbki ubytkowej za pomocą maszyn technologicznych stosowanych w produkcji przynosi wymierny, ekonomiczny efekt i zwiększa konkurencyjność tak usprawnionego procesu wytwórczego. Aby móc praktycznie zastosować innowacyjne rozwiązanie, należy udowodnić pozytywny wpływ elementu procesu technologicznego na wyniki otrzymywane w całym procesie. W przypadku mikroszlifowania z zaproponowanymi i zbadanymi innowacyjnymi rozwiązaniami odnośnie kształtu powierzchni roboczej ściernicy można zauważyć, że istnieje potencjalna możliwość wyeliminowania czasochłonnych, wykończeniowych procesów technologicznych docierania lub polerowania, ponieważ dokładności wymiarowo-kształtowe, które są możliwe do osiągnięcia w procesie mikroszlifowania według zaproponowanej metody są na bardzo wysokim poziomie. Ponadto możliwość otrzymania krzyżujących się śladów obróbki czyni z przedstawionej metody mikroszlifowania metodę obróbki porównywalną z dogładzaniem oscylacyjnym, zachowując znacznie prostszy układ kinematyczny co czyni tę metodę bardzo atrakcyjną również ze względu na uproszczenie dotyczące konstrukcyjnego aspektu budowy obrabiarek. W związku z tym uważam, że **podjęty przez Autora temat jest bardzo istotny ze względu na wartości naukowe i techniczne, które wnosi rozprawa, aktualny i uzasadniony z naukowego i praktycznego punktu widzenia.**

Zadanie, które postawił sobie Autor rozprawy, obejmowało zbadanie procesu mikroszlifowania płaszczyzn z zastosowaniem ściernic o stożkowej i hiperboloidalnej powierzchni czynnej. Przyjęte hipotezy badawcze są bezpośrednio związane z innowacyjną metodą mikroszlifowania płaszczyzn za pomocą ściernic o stożkowej i hiperboloidalnej powierzchni czynnej i dotyczą: (hipoteza 1) takiego doboru geometrii ustawienia ściernicy, aby zapewnić największą długość strefy szlifowania

oraz (hipoteza 2) otrzymania topografii powierzchni szlifowanego przedmiotu obejmującej krzyżujące się ślady obróbkowe, kształtowane przez większą liczbę ziaren ściernych w porównaniu z typowym układem technologicznym mikroszlifowania obwodowego lub czołowego ze ściernicą z nakrojem. Ten sposób sformułowania tezy pracy uważam za bardzo trafny, gdyż w sposób precyzyjny definiuje zadania badawcze konieczne do wykonania w celu udowodnienia postawionych hipotez. W rozprawie Autor położył główny nacisk na zagadnienia modelowania procesów zachodzących podczas mikroszlifowania płaszczyzn mając cały czas na uwadze praktyczny cel, jakiemu przyświecały wszystkie przeprowadzone przez niego analizy. Sposób realizacji postawionego problemu badawczego określonego przez przyjęte hipotezy naukowe uważam za właściwy.

W rozdziale 1 Autor przedstawił wprowadzenie do tematyki rozprawy jasno określając naukowe uzasadnienie celów, które przyświecały podjęciu tematu dysertacji. Zostały również wskazane te problemy, których rozwiązanie Autor uznał jako kluczowe w celu rozwiązania zaplanowanego zadania badawczego podczas realizacji pracy doktorskiej.

Wybór tematu, określenie celu, tezy i zakresu rozprawy zostały poparte przez mgra inż. Filipa Szafranca szeroką analizą stanu wiedzy (rozdział 2) na podstawie literatury wymienionej w bibliografii naukowej i naukowo-technicznej, zawierającej 231 pozycji, wśród których zostały uwzględnione m.in. istotne pozycje monograficzne, ważne artykuły w recenzowanych czasopismach zagranicznych i krajowych, raporty z realizacji projektów badawczych oraz materiały konferencyjne. Są wśród nich pozycje źródłowe w języku polskim i angielskim. Wszystkie spośród wymienionych pozycji w wykazie literatury Autor zacytował poprawnie. Wśród cytowanych pozycji literaturowych Autor ma udział w 22 publikacjach współautorskich i jednej, niepublikowanej współautorskiej pracy.

Wśród wniosków podsumowujących analizę stanu wiedzy na temat modelowania i symulacji procesu szlifowania (II) znajduje się stwierdzenie (wniosek 3), że „modelowanie i symulacja procesu szlifowania umożliwia przeprowadzenie wnioskowania na temat zjawisk w nim zachodzących również w obszarach, które

mogą być niedostępne z poziomu badań empirycznych”. Ten wniosek stanowi przyjęcie pewnego założenia przez Autora, ponieważ nie wynika wprost z przedstawionych wyników badań cytowanych w rozprawie. Jest to natomiast naturalna konsekwencja definicji modelu: „Model jest to taki dający się pomyśleć lub materialnie zrealizować układ, który odzwierciedlając lub odtwarzając przedmiot badania, zdolny jest zastępować go tak, że jego badanie dostarcza nam nowej informacji o tym przedmiocie” (Eykhoff P.: Identyfikacja w układach dynamicznych. BNInż. Warszawa 1980). W podsumowaniu analizy stanu wiedzy byłoby bardzo wskazane stwierdzenie braku informacji na temat tych metod mikroszlifowania, które są tematem niniejszej rozprawy. Ten wniosek jest oczywisty, ponieważ metoda jest innowacyjna, ale ze względu na ciągłość rozumowania prowadzącego do rozwiązania naukowego i technologicznego problemu taki wniosek powinien zostać sformułowany jako uwieszczenie podsumowania analizy stanu wiedzy. Analiza literatury została przeprowadzona przez mgra inż. Filipa Szafranca w sposób czytelny i jasny. Można stwierdzić, że na **podstawie przeprowadzonej analizy literatury Autor trafnie uzasadnił wybór tematu rozprawy doktorskiej.**

Cele pracy sformułowane w rozdziale 3 określają zarówno opracowanie podstaw nowych metod mikroszlifowania powierzchni płaskich oraz przeprowadzenie badań i analiz nowej metody mikroszlifowania odnośnie doboru parametrów obróbki, cech stereometrycznych obrobionych powierzchni, doboru ściernic i konstrukcji specjalizowanych szlifierek do precyzyjnego szlifowania powierzchni płaskich w małych elementach. Pierwszy wymieniony cel jest zrealizowany poprzez opracowanie kompleksowego systemu modelowania i symulacji procesu mikroszlifowania. Drugi wymieniony cel obejmuje zarówno etap symulacji oraz badań doświadczalnych obróbki ściernic płaszczyzn metodą mikroszlifowania. Te dwa cele są komplementarne i właściwie definiują istotę problemu badawczego. Do osiągnięcia tych celów zdefiniowano tezę pracy w postaci dwóch szczegółowych hipotez badawczych, które wyznaczyły zakres badań koniecznych do przeprowadzenia w celu udowodnienia tezy pracy. **Zakres pracy doktorskiej uważam za wyznaczony w sposób właściwy i niezbędny do realizacji celów pracy i postawionych hipotez**

zarówno związanych z modelowaniem jak i z algorytmizacją oraz doborem cech kinematycznych i geometrycznych procesu mikroszlifowania z zastosowaniem ściernic o stożkowej i hiperboloidalnej powierzchni czynnej.

W rozdziale 4 Autor przedstawił opracowane procedury i modele stanowiące składniki kompleksowego systemu do symulacji procesu mikroszlifowania płaszczyzn obwodem ściernicy. Przeprowadzona walidacja procedur na podstawie wykonanych badań doświadczalnych umożliwia sformułowanie stwierdzenia, że opracowane procedury są poprawne i zapewniają otrzymanie wyników badań symulacyjnych na wysokim poziomie zbieżności z wynikami badań doświadczalnych. W przypadku randomizowanego fraktalnego generatora do modelowania powierzchni ziaren brakuje wyjaśnienia słownego na temat grup zadań występujących w algorytmie (rys. 4.2.1) oraz sposobu uwzględnienia powierzchni ziaren rzeczywistych. Podczas analizowania treści rozdziału 4.7.3 pojawia się pytanie, czy byłoby możliwe uwzględnienie w modelu obciążeń i wykruszeń ziaren ściernych uwzględnienie wpływu temperatury, która zmienia właściwości spoiwa ściernicy.

Ten system symulacji procesu mikroszlifowania jest poprawnie zweryfikowanym doświadczalnie narzędziem do przeprowadzenia symulacji do realizacji celów niniejszej dysertacji i został właściwie zastosowany do analizy wybranych problemów wynikających z trudności usuwania warstwy o małej grubości w procesach precyzyjnego szlifowania obwodem ściernicy (rozdział 5). Na szczególną uwagę zasługuje wniosek z przeprowadzonych badań, że istotnym ograniczeniem mikro- i nanoszlifowania może być spełnienie warunków dotyczących liczby aktywnych ostrzy na powierzchni ściernicy, objętości warstwy usuwanej przez jedno ziarno oraz wymaganej wydajności obróbki. Te istotne wnioski otrzymano za pomocą kompleksowego systemu symulacji procesu mikroszlifowania.

Koncepcja innowacyjnej metody mikroszlifowania powierzchni płaskich została opisana w rozdziale 6. Na podstawie symulacji i analiz geometrycznych wykazano poprawność sformułowanych hipotez badawczych. Zaprezentowano również badania doświadczalne innowacyjnej metody mikroszlifowania w postaci analizy obrazów powierzchni elementów ceramicznych przed i po procesie mikroszlifowania,

otrzymane za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego. Na podstawie badań topografii powierzchni szlifowanych wykazano korzystny wpływ nowatorskiej metody mikroszlifowania na cechy stereometrii powierzchni obrabianej.

Wnioski końcowe oraz kierunki dalszych badań Autor sformułował w rozdziale 7. Wśród wniosków kluczowym jest stwierdzenie, że możliwe jest wyznaczenie takich wartości kątów pochylenia osi ściernicy, aby zapewnić długość strefy szlifowania wielokrotnie większą od szerokości powierzchni czynnej ściernicy (prawdziwość hipotezy 1) oraz jest możliwe uzyskanie korzystnej topografii powierzchni szlifowanej powierzchni, co jest skutkiem krzyżowania się śladów obróbkowych i kształtowania powierzchni przez większą liczbę ziaren ściernych w porównaniu ze szlifowaniem w typowych układach technologicznych (prawdziwość hipotezy 2). Wśród kierunków dalszych badań warto zwrócić szczególną uwagę na aspekt uwzględnienia temperatury w procesie mikroszlifowania oraz rozważyć możliwość wykorzystania sygnału emisji akustycznej w celu diagnozowania procesów zachodzących podczas kształtowania warstwy wierzchniej przedmiotu szlifowanego.

Autor rozwiązał postawiony problem naukowy przeprowadzając badania eksperymentalne i symulacje. Na podstawie wyników badań doświadczalnych i numerycznych symulacyjnych udowodnił postawioną tezę rozprawy doktorskiej.

Podczas przygotowywania rozprawy Autor nie ustrzegł się błędów edycyjnych (tzw. „literówek” i błędów interpunkcyjnych) oraz nielicznych błędów stylistycznych. Błędy obejmują m.in. brak w spisie treści podrozdziałów 5.4, 5.5, 6.1, 6.2. Na rys. 4.3.8 jest pomyłka dotycząca oznaczenia poszczególnych elementów (f zamiast e oraz g zamiast f). Czytelność pracy została również zwiększona dzięki wprowadzeniu spisu najważniejszych oznaczeń na początku rozprawy. Wysoką dbałość o szczegóły Autor wykazał podczas numerowania i powoływania się na rysunki. Na wielką pochwałę zasługuje sposób edycyjnego przygotowania tak bogatej treści dysertacji.

Podsumowując ogólną ocenę dysertacji, zakres badań teoretycznych i doświadczalnych przeprowadzonych przez Autora jest bardzo szeroki. Mimo, że nie ustrzegł się drobnych błędów merytorycznych w kilku miejscach swoich rozważań

i pewnych niedociągnięć edycyjnych, uważam, że podjął się rozwiązania niezwykle istotnego zagadnienia, jakim było zbadanie procesu mikroszlifowania płaszczyzn z zastosowaniem ściernic o stożkowej i hiperboloidalnej powierzchni czynnej i zrealizował je z dużą starannością. Podczas badań i w swoich rozważaniach Autor wykazał się rozległą wiedzą z dziedziny modelowania procesów i zjawisk mających miejsce podczas mikroszlifowania oraz umiejętnościami prowadzenia badań: teoretycznych z zastosowaniem nowoczesnego oprogramowania naukowego i doświadczalnych przy użyciu właściwie dobranego sprzętu pomiarowego. To stanowi podstawę wysokiej merytorycznej oceny rozprawy i przedstawionych w niej badań naukowych, które są dużym osiągnięciem naukowym mgra Filipa Szafrąca.

2. Oryginalność rozprawy

Nowatorstwo oraz oryginalność rozprawy mgra Szafrąca polega na:

- opracowaniu **kompleksowego systemu do symulacji procesu szlifowania płaszczyzn**,
- opracowaniu modelu powierzchni naroży ziaren ściernych,
- opracowaniu modelu powierzchni czynnej narzędzi ściernych z uwzględnieniem korelacji przestrzennego rozmieszczenia wierzchołków ziaren ściernych,
- opracowaniu modelu cech geometrycznych powstawania wypływek,
- opracowaniu modelu kinematyki procesu szlifowania płaszczyzn,
- opracowaniu modelu usuwania materiału,
- opracowaniu modelu zużycia i trwałości narzędzi ściernych (modelowanie wykruszeń ziaren ściernych, ich czasu pracy, powierzchni starcia i zużycia objętościowego narzędzi ściernych),
- opracowaniu modelu obciążeń ziaren ściernych,
- opracowaniu modelu sił w procesie szlifowania płaszczyzn dla małych głębokości obróbki,
- zastosowaniu autorskiego systemu symulacji procesu szlifowania płaszczyzn do:

- określenia minimalnej grubości warstwy szlifowanej,
- doboru parametrów szlifowania z uwzględnieniem liczby ziaren kształtujących obszar obrabianej powierzchni,
- doboru parametrów mikroszlifowania w celu spełnienia określonych wymagań dotyczących chropowatości powierzchni,
- **teoretycznej i doświadczalnej, wieloaspektowej analizie procesu mikroszlifowania płaszczyzn z uwzględnieniem ściernic o stożkowej i hiperboloidalnej powierzchni czynnej.**

Samodzielność przeprowadzenia przez Autora badań teoretycznych i doświadczalnych obejmujących zakres pracy nie budzi wątpliwości. Na podkreślenie zasługuje duża pracowitość mgra Szafranca oraz jego godna podziwu determinacja w dążeniu do celu, czego dowodem jest dobrze zaplanowany scenariusz publikacyjny, konsekwentnie realizowany od roku 2010.

Na tej podstawie stwierdzam, że Autor w sposób samodzielny udowodnił postawioną, oryginalną tezę naukową.

3. Poprawność metodyki i analiza wyników

W pracach naukowych z zakresu konstrukcji maszyn i sterowania obecnie można wyróżnić dwie koncepcje badawcze:

- badania teoretyczne z uwzględnieniem praw m.in. mechaniki, teorii drgań, tribologii itp., których istota polega na przeprowadzeniu symulacji komputerowych w celu analizy wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych, technologicznych lub eksploatacyjnych na działanie projektowanego układu mechanicznego lub procesu technologicznego,
- badania doświadczalne, określające poszukiwane wartości z wykorzystaniem skomplikowanej techniki pomiarowej na podstawie eksperymentu.

Badania teoretyczne są podstawą otrzymania rozwiązań ścisłych, ale obarczonych niedoskonałościami, jakimi są: idealizacja modelu w odniesieniu do rzeczywistego obiektu badań oraz konieczne ze względów obliczeniowych uproszczenia. Zaletą badań przeprowadzonych na podstawie symulacji komputerowych jest możliwość otrzymania wyników, których doświadczalne uzyskanie byłoby albo bardzo kosztowne i czasochłonne, albo czasem wręcz niemożliwe ze względu na ograniczenia techniczne doświadczalnego laboratorium badawczego. Badania doświadczalne dają wyniki bardziej wiarygodne niż symulacje, ponieważ nie są obciążone nieuniknionymi uproszczeniami modelu teoretycznego, lecz niestety są ograniczone wyłącznie do zakresu i warunków przeprowadzonego doświadczenia.

W recenzowanej rozprawie Autor poprawnie zastosował obie koncepcje. Na podstawie otrzymanych wyników badań teoretycznych i doświadczalnych można wnioskować o charakterze i właściwościach technologicznych innowacyjnej metody mikroszlifowania płaszczyzn z zastosowaniem ściernic o stożkowej i hiperboloidalnej powierzchni roboczej w praktyce w różnych warunkach technologicznych obróbki ścierniej.

Analiza wyników badań została przeprowadzona w sposób właściwy na bardzo dobrym poziomie naukowym świadcząc o znacznym zasobie wiedzy, inwencji i pracowitości Autora.

Należy więc stwierdzić, że zagadnienie naukowe postawione jako teza pracy zostało prawidłowo rozwiązane.

4. Podsumowanie

Recenzowana rozprawa zawiera wiele wartościowych koncepcji oraz wyników badań. Na tej podstawie stwierdzam, że Autor posiada ugruntowane wiadomości z dziedziny budowy i eksploatacji maszyn, umie poprawnie sformułować zagadnienie naukowe oraz rozwiązać je na drodze teoretycznej i doświadczalnej, przeanalizować wyniki badań i wyciągnąć poprawne wnioski. Jego tok rozumowania jest jasny,

a wyniki rozprawy mają duże znaczenie naukowe i uytylitarne. Na szczególną uwagę zasługuje nienaganny styl edycyjnego przygotowania rozprawy – umiejętność zanikająca w świecie współczesnej nauki nacechowanym bezustannym pośpiechem i dążeniem do szybkiego osiągnięcia naukowego celu kosztem formy przekazu informacji.

Biorąc pod uwagę całość pracy należy stwierdzić, że Autor rozwiązał istotny problem nowoczesnej tematyki naukowej związanej z dyscypliną „Budowa i eksploatacja maszyn”, a rozprawa jest oryginalnym osiągnięciem Autora, który wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej.

Podsumowując wyrażam opinię, że dysertacja mgra inż. Filipa Szafranca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wobec tego wnoszę o dopuszczenie tej dysertacji do publicznej obrony.



Witold Pawłowski