

Dr hab. inż. Piotr NIEŚŁONY
Katedra Technologii Maszyn i Materiałoznawstwa
Wydział Mechaniczny
Politechnika Opolska
ul. Mikołajczyka 5
45-271 Opole
tel: +48 77 449 8460
e-mail: p.nieslony@po.edu.pl

Opole, 12.05.2023r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Mateusza BRONISIA pt.

„Wpływ wybranych warunków obróbki na dokładność wymiarowo kształtową i chropowatość powierzchni obrobionych otworów”

Podstawą opracowania recenzji jest pismo dyrektora naukowego dyscypliny inżynieria mechaniczna w Politechnice Świętokrzyskiej z dnia 29 marca 2023 roku (MAA-510/28/2023).

1. Charakterystyka kandydata w postępowaniu doktorskim

Autorem przedstawionej do recenzji dysertacji jest mgr inż. Mateusz Broniś. Pan mgr inż. Mateusz Broniś tytuł magistra inżyniera uzyskała dnia 12 lipca 2018 roku w Politechnice Świętokrzyskiej na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn. Z przekazanych, dodatkowych informacji pozyskanych w trakcie przygotowywania opinii wynika, że Doktorant nie ubiegał się uprzednio o nadanie stopnia doktora. Doktorant oprócz studiów na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn PŚw studiował również w ramach studiów 1-go stopnia na wydziale Zarządzania i Modelowania Komputerowego PŚw. W 2018 roku podjął studia doktoranckie na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn w PŚw. Od 2022 roku do chwili obecnej zatrudniony jest w Politechnice Świętokrzyskiej w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn i Technologii Mechanicznej na stanowisku asystenta.

2. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Kształtowanie otworów jest ważnym problemem technologicznym w budowie maszyn. Mimo różnych, nowych rozwiązań produkcyjnych, związanych z dokładnym wykonywaniem otworów, nadal obróbka skrawaniem przy wykorzystaniu wiertła jest głównym elementem większości procesów technologicznych stosowanych w różnych obszarach przemysłu wytwórczego. Wykonując otwory

wierceniem duży uwagi poświęca się kontroli jakości kształtowanych powierzchni otworów. Głównie odnosi się to do oceny odchyłki walcowości, okrągłości, prostoliniowości jak i błędu średnicy otworu. Istotnym aspektem oceny jakości otworu jest również jakość jego powierzchni walcowej opisywanej parametrami chropowatości jak i możliwy do wystąpienia zadziór na wyjściu, przeważnie definiowany poprzez wskazanie jego szerokości i wysokości. Projektując technologię wiercenia, w celu uzyskania odpowiednich parametrów jakościowych otworów, koreluje się parametry technologiczne z możliwościami układów kinematycznych. Dodatkowo należy jeszcze uwzględnić wpływ materiału obrabianego, narzędzia jak i warunków realizacji procesu obróbkowego (sztywność obrabiarki, zakresy dostępnych parametrów technologicznych, moc obrabiarki, rodzaje mocowania narzędzia, itp.), co w znaczący sposób utrudnia jednoznaczny wybór racjonalnej technologii. Uzyskanie oczekiwanych rezultatów wymusza często przeprowadzenie szeroko zakrojonych jak i niekiedy wieloaspektowych modyfikacji procesów technologicznych, głównie na podstawie drogich i czasochłonnych testów eksperymentalnych. W istotny sposób wpływa to na wydłużenie czasu cyklu produkcyjnego, czy zwiększenie nakładu pracy ludzkiej. Tym samym spada efektywność produkcji, a jej koszty rosną. W związku z powyższym w przemyśle maszynowym poszukuje się rozwiązań przyczyniających się do szybszego, tańszego sposobu określenia optymalnych parametrów technologicznych dla różnych układów kinematycznych wiercenia, gdzie do podstawowych warunków optymalizacji zalicza się jakość wykonywanych otworów.

To interesujące i trudne zagadnienie inżynierskie zostało przez Doktoranta zauważone i stało się głównym aspektem pracy doktorskiej. Mimo spodziewanych problemów Pan mgr. inż. Mateusz Broniś podjął się wyzwania oceny jakości wierconego otworu przy uwzględnieniu dodatkowego parametru wejściowego procesu technologicznego jakim jest układ kinematyczny wiercenia dla szerokiego spektrum materiałów obrabianych. Dodatkowo założono opracowanie modeli matematycznych do prognozowania odchyłek kształtu, błędów średnic, chropowatości powierzchni obrobionej jako zadziórów. Tym samym podjęto się próby kompleksowej analizy jakości otworów wykonywanych metodami wiercenia.

W wykonanym szczegółowo i adekwatnie do tematu pracy przeglądzie literatury przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat układów kinematycznych wiercenia otworów, charakterystyki jakości otworu, znanych, literaturowych analiz wpływu wybranych warunków obróbki na dokładność wykonania otworów, w tym odchyłki kształtu i położenia. Oprócz podstawowych, starszych pozycji książkowych (lata 1970-1998) prof. Streubela, Grzesika, Kaczmarka czy Hulboja większość cytowanych książek jak i publikacji jest z lat 2000-2023, co wskazuje na uwzględnienie najnowszych badań naukowych w analizie tematu i potwierdza dobre przygotowanie Autora dysertacji do merytorycznej dyskusji z naukowcami z całego świata. W pracy poddano również ocenie strategię pomiarowe wykorzystywane do analizy otworu z punktu widzenia odchyłki walcowości czy odchylenia osi otworu, co ma istotne znaczenia w poprawnym zbudowaniu warsztatu pomiarowego wykorzystanego we własnych badaniach eksperymentalnych. Opis zastosowanych metod badawczych wraz z wskazaniem pełnego warsztatu badawczego Doktorant przedstawił w ramach rozdziału 4. Należy podkreślić, że zaproponowana metodyka prowadzenia badań jest jak najbardziej prawidłowa i powinna zakończyć się bazą danych eksperymentalnych o niepodważalnej jakości. Doktorant planował wykorzystać do badań wymiarowo kształtowych współrzędnościową maszynę pomiarową, profilometr, mikroskop optyczny, a do badań składu chemicznego materiałów skaningowy mikroskop elektronowy. Maszyny te zostały poprawnie scharakteryzowane. Same badania wiercenia prowadzone były na tokarce CNC o

odpowiednio dużej mocy i akceptowalnym zakresie parametrów technologicznych. Odnośnie metodyki badań należy jedynie zastanowić się, dlaczego Doktorant nie zaplanował bardziej rozbudowanych badań stereometrii ostrza skrawającego (wiertła). Zgodnie z opisem zaplanowano wykorzystanie tylko jednego wiertła (typu wiertła) dla całego zakresu badań (dla wszystkich obrabianych materiałów), co zostało poprawnie uwiarygodnione, jednak nie podano, jak prowadzono próby wiercenia, tj. czy zawsze nowym, nieużytym ostrzem/narzędziem, z tej samej partii narzędzi itp.

Zakres zaproponowanych i przeprowadzonych prac eksperymentalnych, przedstawionych w ocenianej dysertacji, jest jak najbardziej uzasadniony, ponieważ:

- Dążenie do podniesienia jakości i wydajności obróbki skrawaniem jest spotykane w każdej gałęzi przemysłu maszynowego, a jedną z możliwości osiągnięcia tego celu jest minimalizacja koniecznych do realizacji dodatkowych testów eksperymentalnych koniecznych do wykonania w celu określenia racjonalnej, akceptowalnej technologii kształtowania otworów.
- Ze względu na istotny wpływ parametrów obróbkowych i brak szczegółowej wiedzy o dodatkowym wpływie układu kinematycznego na proces wiercenia, poznanie tych interakcji jest konieczne i uzasadnione.
- Poznanie fizykalnych charakterystyk wpływu różnych układów kinematycznych procesu wiercenia na wybrane cechy jakości otworu umożliwi opracowanie modeli matematycznych ujmujących badane cechy tworząc tym samym narzędzie do racjonalizacji procesu budowania technologii wiercenia otworów w sposób wydajny i dobrze dopasowany do realiów produkcyjnych.

W tym kontekście uważam, że wybór tematyki rozprawy doktorskiej dotyczącej oceny wpływu wybranych warunków obróbki na dokładność wymiarowo kształtową i chropowatość powierzchni obrobionych otworów dla szerokiej grupy materiałów konstrukcyjnych z uwzględnieniem układu kinematycznego procesu wiercenia jest trafny i uzasadniony. Swoje spostrzeżenia z przeglądu literatury odnośnie prac badawczych w zakresie wiercenia dorowadziły Doktoranta do stwierdzenia faktu braku takich badań w kontekście wiercenia z uwzględnieniem różnych układów kinematyki. W pracy nie sprecyzowano jednoznacznego celu pracy, a skoncentrowano się na udowodnieniu hipotez. Wydaje się to, dla tego przypadku badań, akceptowalnym rozwiązaniem, nawet precyzyjniej oddającym kierunek planowanych do realizacji prac badawczych mających potwierdzić wyszczególnione hipotezy.

3. Zawartość pracy

Rozprawa jest edycyjnie dobrze napisana. Dysertacja ma w sumie 205 stron i wyszczególniono w niej 6 numerowanych rozdziałów. Rozdziały są czytelnie, logicznie ułożone, a większość z nich zawiera szereg dobrze zdefiniowanych podrozdziałów.

Praca jest dobrze zilustrowana, zawiera 141 rysunków oraz 95 tabel. Spis literatury jest bardzo obszerny i przedstawia 83, z reguły dobrze dobrane i cytowane w pracy, pozycje wraz z uwzględnieniem norm (6 odniesień) oraz storn internetowych (5 pozycji).

Dysertacja rozpoczyna się wykazem ważniejszych oznaczeń stosowanych w pracy oraz skrótów. Nienumerowany rozdział obejmuje wstęp przedstawiający ideę pracy oraz jej syntetyczne podsumowanie. Szeroko ujęte studium literatury, w którym Autor w zwięzły sposób przedstawił powód podjętej problematyki badawczej jak i badania prowadzone przez inne ośrodki naukowe, opisano w rozdziale pierwszym. Przedstawione informacje dotyczą aktualnego stanu wiedzy z wyraźnym ukierunkowaniem na informacje, które zostały wykorzystane w dysertacji podczas prezentowania założeń, co do planu badawczego i zakresów realizacji pracy badawczej. Wyraźnie została podkreślona istotność tej tematyki badawczej i jej aplikacyjny charakter.

Drugi rozdział pracy zawiera ciekawą, autorską analizę literaturowych modeli matematycznych dotyczących dokładności wymiarowo kształtowej i chropowatości powierzchni kształtowanych otworów. Wnioski podsumowujące ten rozdział są wprowadzeniem do własnych obserwacji i badań eksperymentalnych.

Trzeci rozdział pracy ujmuje w sposób klarowny i jednoznaczny podstawowy cel naukowy pracy wraz z wskazaniem hipotez naukowych i elementów nowości w pracy. W tym też rozdziale określono zakres prac badawczych planowanych do realizacji w ramach własnych badań naukowych.

Badania własne przedstawiono w kolejnych dwóch rozdziałach. Szczegółową metodykę badań eksperymentalnych procesu wiercenia omówiono w rozdziale czwartym. Najbardziej obszerny rozdział piąty przedstawia cykl badań właściwych. Swoje badania Doktorant prezentował w ujęciu graficzno – tabelarycznym, a opracowane wyniki prezentował w szeregu matematycznych modelach empirycznych. W celu uporządkowania olbrzymiej wiedzy pozyskanej z eksperymentów Doktorant wprowadził podrozdziały obejmujące badania dokładności wymiarowo kształtowej wykonywanych otworów, analizę chropowatości powierzchni tych otworów, analizę zadziórów oraz szczegółową analizę odchyłki walcowości. Każdy z głównych podrozdziałów jest zakończony wnioskami, co ułatwia analizę wyników i pozwala łatwiej śledzić zakres prac badawczych prezentowanych w ramach podrozdziału.

Wnioski poznawcze, użytkarne oraz podsumowujące kierunki dalszych badań Doktorant przedstawił w rozdziale szóstym. Kolejne, oddzielne rozdziały obejmują spis literatury oraz streszczenie po polsku i angielsku.

4. Uwagi szczegółowe dotyczące pracy

1. Proszę doprecyzować, co Autor miał na myśli stwierdzeniem „W literaturze oraz czasopismach naukowych...”? Jest to 1 akapit podrozdziału 1.3 – str.23.
2. W rozdziale 2 Autor przeprowadził interesujące badania symulacyjne wpływu wybranych warunków obróbki na dokładność wymiarowo kształtową i chropowatość powierzchni w oparciu o przedstawione wcześniej w dysertacji wybrane, matematyczne modele literaturowe. Proszę jednak doprecyzować, czy porównując wyniki tych obliczeń, wykonanych dla różnych modeli (rys.13), lub dokonując ich interpretacji graficznej na wykresach z rys.14-13, Autor uwzględnił zakresy parametrów technologicznych, dla których te modele zostały wyznaczone?
3. Autor dysertacji w rozdziale 3 przedstawił w zwięzły sposób hipotezy i zakres pracy. Również w tym rozdziale określił elementy nowości w pracy. Proszę jednak ustosunkować się do

trzeciego elementu nowości, gdzie podano, że będzie nim „wnikliwa analiza odchyłki walcowości...”. Czy nie oczekuje się, że w pracy naukowej każda analiza będzie wnikliwa?

4. Czy dla danych w tabelach 15-19 oszacowano błędy pomiarów? Autor wskazał na niepewność pomiaru na poziomie 1 μm , ale jak się to ma do błędów pomiarów z uwzględnieniem również metody pomiarowej (współrzędnościowa maszyna pomiarowa)? Podobną uwagę można zastosować do wniosku nr 8 ze str. 95.
5. Badania prowadzone przez Autora są bardzo ciekawe i kompleksowe. Dotyczy to również oceny geometrii otworów. Proszę jednak wytłumaczyć, dlaczego do oceny odchyłki walcowości otworów zastosowano pomiary na 5 poziomach, gdzie przykładowo do oceny okrągłości wykonano aż 1500 pomiarów.
6. Jak należy interpretować stwierdzenie ze str. 78 (górny akapit), gdzie Autor podał, że „Zauważono, że wszystkie wartości są w bardzo dobrej korelacji ze zbudowanymi modelami”. Co rozumie się pod stwierdzeniem „w bardzo dobrej korelacji”?
7. Czy do wykreślenia wykresów z rys.42 i dalszych podobnych zastosowano dane eksperymentalne czy z wyliczonych modeli matematycznych?
8. Kompleksowa analiza wyników eksperymentów przedstawiona na wykresach efektów głównych dla różnych materiałów pokazuje istotne zmiany charakteru ocenianych zależności (funkcji) różne dla różnych materiałów. Przykładowo można tu wskazać na obserwacje poczynione dla aluminium PA6. Na rys. 50 i 51, które przedstawiają wykresy ze zmianą odchyłki walcowości jak również prostoliniowości, przy analizie posuwu, mamy wyraźne piki w przebiegu funkcji. Jak to wytłumaczyć? Czy Doktorant zna lub zastanawiał się nad technologiczną interpretacją takiego przebiegu tej funkcji?
9. Ciekawą interpretację graficzną zaproponował i wykonał Doktorant na rys.62-67 jak i dalszych podobnego typu. Graficzna wizualizacja w 3D tych danych jest bardzo interesująca, jednak zawsze wykresy tego typu przysparzają trudności w ich interpretacji – w ich „czytaniu”. Czy nie warto byłoby wprowadzić na te wykresy pewnej płaszczyzny odniesienia, która wskazywałaby na, przykładowo, zerowe wartości w osi pionowej? Podobnym rozwiązaniem, poprawiającym czytelność, jest wskazanie na wykresie miejsc z punktami ekstremalnymi. Są to propozycje, które w znaczący sposób ułatwiłyby interpretację tych wykresów.
10. Wnioski na str.103 – punkt 1. Co Autor chciał wskazać poprzez stwierdzenie, że „Badania symulacyjne poszczególnych parametrów wykazały różne przedziały zakresów parametrów technologicznych w stosunku do układu kinematycznego”?
11. Bardzo interesujące, z praktycznego punktu widzenia, wnioski zredagował Doktorant na koniec rozdziału 5.5 dotyczącego odchyłek okrągłości. Czy Autor zastanawiał się nad ich interpretacją technologiczną? Jaki jest powód takich zmian okrągłości? Czy ma na to wpływ narzędzie, jego sztywność, może cały układ OUPN? Czy można podać na tej podstawie konkretne wytyczne dla technologów, aby skorygować błędy okrągłości?

5. Uwagi redakcyjne

Rozprawa jest starannie napisana. Drobne błędy stylistyczne i edycyjne nie wpłynęły na jakość pracy.

Rozdziały redagowane są czytelnie, zarówno pod względem stylistycznym jak i edycyjnym. W pracy zachowano jednorodny i dobrze przemyślany układ graficzny, co ułatwia jej zrozumienie. Czytając poszczególne rozdziały, głównie obejmujące badania eksperymentalne, widoczna była szczególna staranność w zakresie estetyki informacji graficznych (rysunków, wykresów itd.).

Drobne błędy edycyjne dotyczyły przykładowo braku ujednoczenia sposobu zapisu stopu tytanu Ti6Al4V (str. 30 i 33), czy też stali C45 (str.48 i 50). Również w podrozdziale 1.2 brakuje odniesie do rysunków w tekście. Można oczywiście adekwatny opis dla poszczególnych rysunków zidentyfikować po cytowanej literaturze, ale zmniejsza to czytelność przekazu. Brak pewnej systematyczności we wzorach literaturowych (15-20), gdzie w różny sposób oznaczano, przykładowo, prędkość obrotową wrzeczona (n , S) czy prędkość posuwu (x , f) lub też prędkość skrawania (wzory 28-33), gdzie mamy raz V_c , a później v_c . Mamy również zdublowane strony 177 i 178.

6. Ocena końcowa

Powyższe uwagi krytyczne nie podważają istotnej treści merytorycznej rozprawy ani nie umniejszają osiągnięć Doktoranta, który udowodnił, że posiada dużą wiedzę z zakresu obróbki skrawaniem, a w szczególności z problemów wynikających z kształtowania otworów w różnego typu materiałach metalowych. Dodatkowo Doktorant wykazała się znacznymi umiejętnościami z zakresu planowania i prowadzenia badań eksperymentalnych jak i opracowania i merytorycznej analizy wyników badań.

Uważam, że uwagi zawarte w recenzji mogą być przedmiotem analiz w dalszej działalności badawczej i publikacyjnej Pana Mateusza Bronisia. Szczególnie duże znaczenie może to mieć w kontekście opracowania technologii kształtowania otworów wierceniem w szerokiej gamie materiałów metalowych o odpowiednich cechach wymiarowo kształtowych z uwzględnieniem układu kinematycznego.

Podkreślam, że część uwag ma charakter pytań i sugestii do wykorzystania na przyszłość. Ponadto stwierdzam, że udowodniono poprawność sformułowanych hipotez, a zdefiniowane wnioski poznawcze i użytkowe jednoznacznie wynikają z wyników eksperymentu i przedstawione są w czytelny, inżynierski sposób. Doktorant dobrze operuje warsztatem badawczym, a swoje eksperymenty prowadził w przemyślany, racjonalny sposób, co pozwoliło mu również zauważyć niedociągnięcia i braki w tym zakresie, które proponuje uzupełnić w ramach planowanych, dalszych kierunków swoich badań. Jest to godna podkreślenia pozytywna cecha naukowca, który wie i rozumie, że nie ma możliwości takiego zaplanowania badań, aby całkowicie wyczerpać problem badawczy.

Reasumując, wśród wielu nowych zagadnień spotykanych w nowoczesnej obróbce skrawaniem Pan mgr inż. Mateusz Broniś potrafił znaleźć istotny, z punktu widzenia naukowego i użytkowego, obszar badawczy, w ramach którego możliwe stało się ustalenie wpływu wybranych warunków obróbki na dokładność wymiarowo kształtową i chropowatość powierzchni obrabianych otworów.

Wynikiem pracy Doktoranta jest niniejsza dysertacja, która stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia przez niego prac naukowych. Potwierdzam, że przedstawiana do oceny rozprawa doktorska wpisuje się, w zakresie zaprezentowanej wiedzy teoretycznej jak i badań naukowych, w dyscyplinę inżynieria mechaniczna.

Uważam również, że ze względu na umiejętność kompleksowego podejścia do badań warunków obróbki na dokładność wymiarowo kształtową i chropowatość powierzchni obrobionych otworów, jak i zaproponowanie i potwierdzenie poprawności wyboru zastosowania optymalizacji wielokryterialnej, tzw. analizy szarych relacji (Grey Relational Analysis - GRA) do określenia najkorzystniejszych parametrów wejściowych wg ustalonych cech oczekiwanego otworu, **pracę tę można uznać za wyróżniającą.**

7. Wniosek końcowy - konkluzja

Całość rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Mateusza BRONISIA pt. „Wpływ wybranych warunków obróbki na dokładność wymiarowo kształtową i chropowatość powierzchni obrobionych otworów” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, zarówno w aspekcie technologicznym jak i praktycznym, a przedstawione w dysertacji rozwiązanie problemu naukowego potwierdza wiedzę Doktoranta z inżynierii mechanicznej i wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Rozprawa doktorska opatrzone jest też odpowiednim streszczeniem w języku angielskim. Wypełnienie tych wymogów umożliwia sformułowanie wniosku o spełnieniu warunków określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.). W związku z powyższym wnioskuję do Rady Naukowej dyscypliny inżynieria mechaniczna w Politechniki Świętokrzyskiej o **przyjęcie tej rozprawy i o dopuszczenie Autora**, Pana mgra inż. Mateusza BRONISIA, do publicznej obrony w ramach **dyscypliny inżynieria mechaniczna.**

