

Dr hab. inż. Piotr NIESŁONY
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, 02.06.2022r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Emilii FRANCIK pt.

*„Badanie wpływu geometrii ostrza i parametrów skrawania na
powstawanie zadziórów w procesie wiercenia materiałów
trudnoskrawalnych”*

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej z dnia 28 lutego 2022 roku (M.00-520/2022).

1. 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. W tym jednak przypadku coraz większy nacisk kieruje się w stronę kontroli jakości kształtowanych powierzchni otworów, w tym do minimalizacji zadziórów na krawędziach powstałych w wyniku przeprowadzonej obróbki. Obróbka materiałów trudnoskrawalnych, do której grupy zalicza się między innymi stopy tytanu i niklu, w szczególności sposób wymusza szeroko zakrojone jak i niekiedy wieloaspektowe modyfikacje procesów technologicznych w celu minimalizacji zadziórów na krawędziach precyzyjnie wykonywanych otworów.

Problemy pojawiające się w związku z występowaniem zadziórów wymuszają na technologach wprowadzenie szeregu dodatkowych działań, z których klasycznym przykładem jest ich usuwanie w ramach odrębnych operacji, najczęściej z użyciem dodatkowych narzędzi. W istotny sposób wpływa

to na wydłużenie czasem 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 minimalizacji zjawiska tworzenia się zadziórów w trakcie procesu wiercenia. To interesujące i trudne zagadnienie inżynierskie zostało przez Doktorantkę zauważone i stało się głównym celem pracy doktorskiej. Mimo spodziewanych problemów Pani mgr. inż. Emilia Franczyk podjęła się wyzwania oceny wpływu geometrii ostrza i parametrów skrawania na powstawanie zadziórów w procesie wiercenia materiałów trudnoskrawalnych, a efektem jej pracy jest przedłożona do recenzji rozprawa doktorska.

Jak już wspomniano, Doktorantka mgr inż. Emilia Franczyk w swojej rozprawie doktorskiej zajęła się bardzo ciekawą i aktualną tematyką powstawania i właściwej kontroli i minimalizacji zadziórów podczas wiercenia materiałów trudnoskrawalnych, do których prawidłowo zaliczono stop tytanu Ti6Al4V oraz stop niklu Inconel 718.

W wykonanym szczegółowo i adekwatnie do tematu pracy przeglądzie literatury przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat różnych strategii kontroli, minimalizacji jak i usuwania zadziórów powstałych w wyniku kształtowania otworów obróbką skrawaniem. Rozwinięto temat skrawalności, samych materiałów trudnoskrawalnych, w szczególności stopów tytanu i niklu oraz omówiono proces wiercenia z uwzględnieniem szeregu istotnych aspektów tego procesu w ujęciu możliwości wpływu na minimalizację zadziórów jak i ocenę obróbki wierceniem w ujęciu numerycznym.

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 procesów obróbkowych wynikających z nieakceptowalnej jakości powierzchni kształtowanych otworów.
- Ze względu na istotny wpływ parametrów obróbkowych i brak szczegółowej wiedzy o ich wpływie na sposób kształtowania otworów, głównie w obszarze powstawania zadziórów, poznanie tych interakcji jest konieczne i uzasadnione.
- Poznanie fizykalnych charakterystyk różnych strategii kształtowania otworów w celu eliminacji lub minimalizacji powstawania zadziórów może mieć istotny wpływ na wprowadzenie nowych strategii obróbki, co Doktorantka próbowała realizować poprzez zaproponowanie autorskiego rozwiązania narzędzia wielozadaniowego oraz opracowania odpowiedniej dla niego strategii sterowania i obróbki.

W tym kontekście uważam, że wybór tematyki rozprawy dotyczącej oceny wpływu geometrii ostrza i parametrów skrawania na powstawanie zadziórów w procesie wiercenia materiałów trudnoskrawalnych jest trafny i uzasadniony.

2. Zawartość pracy

Rozprawa jest edycyjnie dobrze napisana. Dysertacja ma w sumie 144 strony i wyszczególniono w niej 15 rozdziałów. Rozdziały są czytelnie, logicznie ułożone, a większość z nich zawiera szereg dobrze zdefiniowanych podrozdziałów.

Praca jest dobrze zilustrowana, zawiera 180 rysunków oraz 51 tabel. Spis literatury jest bardzo obszerny i przedstawia 118, z reguły dobrze dobranych i cytowanych w pracy, pozycji wraz z uwzględnieniem patentów (5 odniesień) oraz specyfikacji sprzętowych (7 pozycji).

Dysertacja rozpoczyna się wykazem ważniejszych oznaczeń stosowanych w pracy (może niepotrzebnie ujętego w formie rozdziału). Drugi rozdział pracy ujmuje w sposób klarowny i jednoznaczny podstawowy cel naukowy pracy wraz z wskazaniem oczekiwanego celu utylitarnego. Kolejny rozdział przedstawia, w sposób wypunktowany, zakres pracy. Na podstawie tych początkowych informacji można było zdefiniować tezę pracy, co Doktorantka przedstawiła w rozdziale czwartym.

Szeroko ujęte studium literatury wraz z wprowadzeniem, w którym Autorka przedstawiła w zwięzły sposób powód podjętej problematyki badawczej, opisano w rozdziale piątym. 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.

Badania własne przedstawiono w rozdziale szóstym. Rozdział ten, podzielony na podrozdziały, przedstawia informacje o obiekcie badań, materiałach i narzędziach komercyjnych jak i zmodyfikowanych stosowanych w swoich autorskich testach, stanowisku badawczym wraz z podstawowymi informacjami o metodologii badań i oceny zadziorów oraz efektach wstępnych prac symulacyjnych jak i praktycznych służących do weryfikacji przyjętego algorytmu planu badawczego. W podrozdziale 6.5 przedstawiono cykl badań właściwych. Jest to jeden z obszerniejszych podrozdziałów pracy, gdzie swoje badania Doktorantka prezentowała w ujęciu graficzno – matematycznym, głównie w formie wykresów słupkowych czy liniowych oraz opracowanych, adekwatnych modeli matematycznych. Jednoznacznie i raczej w czytelny sposób wyszczególniono w ramach tego podrozdziału szereg etapów prac badawczych, który każdy kończył się podsumowaniem.

Krótki rozdział siódmy zawiera propozycję rozwiązania narzędzia – wiertła wielozadaniowego, które ma służyć wierceniu i usuwaniu zadziorów w wykonanym uprzednio otworze w ramach jednej operacji bez konieczności wymiany narzędzia.

Wnioski poznawcze, utylitarne oraz podsumowujące Doktorantka przedstawiła w rozdziale ósmym. Kolejne, oddzielne rozdziały obejmują propozycje dalszych prac badawczych, streszczenie, po polsku i angielsku, spis literatury oraz spis rysunków i tabel.

3. Uwagi szczegółowe dotyczące pracy

1. W rozdziale 5, gdzie Autorka w szczegółowy i wyczerpujący sposób przedstawia i omawia informacje o pracach badawczych realizowanych przez innych autorów w ramach problemu usuwania i kontroli zadziór tworzonych podczas wiercenia, brakuje nawiązania do informacji graficznej w formie wykresów, przykładowo rysunków rozwiązań narzędzi czy wizualizacji procesu oceny zadziórów. Dane te są integralną częścią wielu cytowanych artykułów i wielokrotnie łatwiej i szybciej jest zrozumieć pewne aspekty omawianego problemu prezentowane w taki graficzny sposób.
2. W pracy prowadzono obszerne badania symulacyjne metodą elementów skończonych. Na jakiej podstawie Doktorantka przyjęła, za model konstytutywny materiału obrabianego (stop Ti6Al4V oraz Inconel 718), wartości podane w tabelach 2 oraz 3? Czy prowadzono w tym obszarze badania porównawcze lub weryfikujące poprawność otrzymanych wyników symulacji MES? Nawiązując do tematu danych materiałowych, skąd otrzymano dane prezentowane w tabelach 5-8?
3. Autorka dysertacji wprowadziła do swoich badań narzędzie, wiertło, o zmodyfikowanej krawędzi skrawającej. Na stronie 33 pracy szczegółowo omówiono powód zastosowania tej modyfikacji, jednak nasuwa się pytanie, na jakiej podstawie przyjęto stwierdzenie, że „Wprowadzona modyfikacja spowodowała zmniejszenie wartości naprężeń materiałowych w okolicy krawędzi wierconego otworu”?
4. Bardzo ciekawą koncepcję usuwania czy minimalizacji efektu powstawania zadziórów testowano w oparciu o autorskie rozwiązanie płytki skrawającej z węgla spiekane mocowanej w odpowiednio przygotowanej oprawce. Problem ten omawiano na str. 34 dysertacji. Brakuje jednak informacji o samym narzędziu, tj. oprawce z zamocowanymi, autorskimi, modyfikowanymi płytkami skrawającymi. Czy nie warto byłoby zamieścić tu np. w formie rysunku technicznego, budowę tej oprawki wraz z wskazaniem podstawowej stereometrii ostrza w układzie roboczym? Czy podawane w tabeli 10 kąty płytki skrawającej będą zachowane po zamocowaniu tych wkładek do oprawki?
5. Czy promień końcówki pomiarowej profilografometru Talysurf rzeczywiście wynosi $0,2\ \mu\text{m}$?
6. W jaki sposób ustalono wartości kątów ostrza dla symulacji MES w układzie płaskim (2D)? Jakimi były wartości tych kątów?
7. Analizując wyniki symulacji MES Doktorantka oceniała, na rys. 29 i 30, odkształcenie plastyczne czy prędkość odkształcenia?
8. Na jakiej podstawie Autorka badań stwierdziła, na str. 57, że „wyniki uzyskane w ramach eksperymentalnej części badań wstępnych odpowiadają wynikom przeprowadzonych symulacji”? Przykładowo, dobrym rozwiązaniem i potwierdzeniem tego stwierdzenia byłoby skorelowanie wartości zmierzonej składowej osiowej siły skrawania F_z z danymi MES. Czy taką ocenę przeprowadzono?

9. Czy udało się ustalić lub czy poszukiwano powodu braku, a potem znów dobrej korelacji pomiędzy siłą osiową skrawania F_z , a wysokością zadzioru h_0 dla różnych warunków obróbki? Takie stwierdzenia zawarto w dysertacji między innymi na str. 68 (pierwszy akapit) czy na str. 76 (również akapit pierwszy).
10. Dużo istotnych informacji i powiązań pomiędzy warunkami procesu wiercenia próbowała Doktorantka pozyskać z analizy średnich wartości sygnału siły osiowej F_z . Odpowiedni sposób wyznaczenia tych wartości średnich z posiadanego zapisu sygnału siły F_z w funkcji czasu obróbki przedstawiono w pracy. Zaproponowana metodologia spełniała się dobrze dla ustabilizowanych wartości sygnału, które obserwowano podczas obróbki stopu tytanu. Czy ustalono jednak zakres błędów pomiaru dla prób wiercenia w stopie niklu Inconel 718? Zapis sygnału w tym przypadku znacząco różnił się od tych uzyskiwanych dla stopu tytanu (rys.90-92). Czy mogło to wpłynąć na próbę oceny możliwej korelacji wartości siły F_z z wysokością zadzioru h_0 ?
11. Interesujące badania zostały przedstawione w ramach etapu drugiego – gratowanie (str.85). Przedstawione, analizowane układy kinematyczne, wykorzystywane z zaproponowanym narzędziem specjalnym, są czytelne i jednoznaczne. Brakuje jednak wyczerpujących informacji odnośnie samego narzędzia. Jaka jest jego średnica nominalna i jak się ona ma do średnicy narzędzia? Czy odwrócenie procesu gratowania - na str. 85 podano, że „po wywierceniu wstępnych otworów płaskowniki zostały obrócone o 180° - nie zaburzy koncepcji zastosowania tego narzędzia przedstawionej w rozdz.7?

4. 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 trudności w interpretacji wyników badań sprawiały rysunki przedstawiające wyniki pomiaru wysokości zadzioru (rys.53, 54 i dalsze). Nie podano, czy wysokość wyliczano automatycznie na podstawie algorytmu profilometru, czy konieczna była ingerencja operatora analizującego te dane.

5. Ocena końcowa

Powyższe uwagi krytyczne nie podważają istotnej treści merytorycznej rozprawy ani nie umniejszają osiągnięć Doktorantki, która udowodniła, że posiada dużą wiedzę z zakresu obróbki skrawaniem, a w szczególności z problemów wynikających z kształtowania otworów w materiałach trudnoskrawalnych. Dodatkowo Doktorantka wykazała się znacznymi umiejętnościami z zakresu planowania i prowadzenia badań eksperymentalnych jak i opracowania i merytorycznej analizy ich wyników.

Uważam, że uwagi zawarte w recenzji mogą być przedmiotem analiz w dalszej działalności badawczej i publikacyjnej Pani Emilii Franczyk. Szczególnie duże znaczenie może to mieć w kontekście opracowania technologii minimalizacji zadziorów z wykorzystaniem narzędzia wielozadaniowego

umożliwiającego integrację procesów obróbkowych, a tym samym minimalizację czasu wytwarzania tego typu elementów maszyn.

Podkreślam, że część uwag ma charakter pytań i sugestii do wykorzystania na przyszłość. Ponadto stwierdzam, że postawione w pracy cele naukowo-badawcze jak i użyteczne zostały osiągnięte.

Reasumując, wśród wielu nowych zagadnień spotykanych w nowoczesnej obróbce skrawaniem Pani mgr inż. Emilia Franczyk potrafiła znaleźć istotny, z punktu widzenia naukowego i użytecznego, obszar badawczy, w ramach którego możliwe stało się ustalenie wpływu geometrii ostrza jak i parametrów skrawania na powstawanie zadziorów podczas wiercenia materiałów trudnoskrawalnych. Wynikiem pracy Doktorantki jest niniejsza dysertacja, której efekty niewątpliwie przyczyniły się do rozwoju inżynierii mechanicznej.

Uważam również, że ze względu na umiejętność kompleksowego podejścia do badań wpływu geometrii ostrza i parametrów skrawania na powstawanie zadziorów w procesie wiercenia materiałów trudnoskrawalnych, jak i opracowanie przez Doktorantkę rozwiązania postawionego sobie problemu badawczego w sposób pozwalający na jego wdrożenie do realiów produkcyjnych, **pracę tę można uznać za wyróżniającą.**

Niepodważalne zalety pracy to:

1. Ocena i wyselekcjonowanie optymalnych, z punktu widzenia technologii wykonywania otworów, parametrów technologicznych i narzędzi dla obróbki w materiałach trudnoskrawalnych.
2. Udana próba modyfikacji wiertła w celu minimalizacji zadziorów pierwotnych.
3. Zaproponowanie autorskiego rozwiązania narzędzia wielozadaniowego pozwalającego na racjonalne kształtowanie otworów z minimalizacją generowania zadziorów podczas obróbki materiałów trudnoskrawalnych.
4. Zdefiniowanie użytecznych wniosków o dużym potencjale aplikacyjnym.

6. Wniosek końcowy

Całość rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Emilii FRANCZYK pt. „Badanie wpływu geometrii ostrza i parametrów skrawania na powstawanie zadziorów w procesie wiercenia materiałów trudnoskrawalnych” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, zarówno w aspekcie technologicznym jak i praktycznym, a przedstawione w dysertacji rozwiązanie problemu naukowego potwierdza wiedzę Doktorantki 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 ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 (Dz.U. z 2016r. poz.882). W związku z powyższym wnioskuję do Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej o **przyjęcie tej rozprawy i o dopuszczenie Autorki**, Pani mgr inż. Emilii FRANCZYK, do publicznej obrony w ramach **dyscypliny inżynieria mechaniczna.**

