

W P Ł Y N Ę Ł O

dnia 15.09.2022r.
PK/NT/1010/8/94/2022

dr hab. inż. Mariusz Deja, profesor uczelni

Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa
Instytut Technologii Maszyn i Materiałów
Zakład Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji

ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk
mariusz.deja@pg.edu.pl
tel.: 608-281-567

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Bartosza Zielińskiego

Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Nadolny

Tytuł recenzowanej rozprawy doktorskiej:

Badania wpływu kinematyki oraz warunków chłodzenia
i smarowania w procesie szlifowania ostrzy noży
planarnych na ich trwałość eksploatacyjną

Gdańsk, wrzesień 2022 r.



1. Uwagi wstępne

Podstawę opracowania recenzji stanowi pismo Jej Magnificencji Rektora Politechniki Koszalińskiej, dr hab. Danuty Zawadzkiej, profesora Politechniki Koszalińskiej, z dnia 1 czerwca 2022 r., wynikające z Uchwały Nr 71/2022 Senatu Politechniki Koszalińskiej podjętej w dniu 25 maja 2022 r. oraz dołączony wydruk i wersja cyfrowa rozprawy doktorskiej.

Tytuł rozprawy doktorskiej: Badania wpływu kinematyki oraz warunków chłodzenia i smarowania w procesie szlifowania ostrzy noży planarnych na ich trwałość eksploatacyjną.

Autor rozprawy doktorskiej: mgr inż. Bartosz Zieliński.

Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Nadolny.

2. Tematyka rozprawy

Podjęta tematyka rozprawy doktorskiej jest ważna w aspekcie naukowym jak i przemysłowym. Okres trwałości jest kluczowym zagadnieniem dla producentów oraz użytkowników narzędzi. Proces produkcyjny powinien zapewnić określoną długość efektywnego czasu użytkowania narzędzi, który może być wydłużony w wyniku dodatkowych operacji technologicznych, co jednoznacznie udowodnił w przedstawionej rozprawie mgr inż. Bartosz Zieliński dla narzędzi planarnych stosowanych w procesie skórowania ryb płaskich.

Cięcie materiałów organicznych, w tym obróbka ryb, jest zagadnieniem bardzo złożonym z uwagi na niejednorodność materiału ciętego, nieregularność kształtu obiektów obrabianych, wtrącenia w postaci piasku lub łusek. Ponadto, właściwości materiału zależą od obszaru i sezonu połowu ryb oraz temperatury w czasie obróbki. Obróbka tego typu materiału, tzw. tkanek miękkich, nie jest procesem prostym w realizacji i wymaga doboru narzędzi tnących o odpowiednim kształcie i ostrości ostrzy w celu zapewnienia prawidłowego przebiegu procesu, przy jak najdłuższej trwałości eksploatacyjnej. Wytwarzanie ostrzy technicznych wymaga z kolei precyzyjnego doboru materiału, metody kształtowania, narzędzi oraz parametrów technologicznych dla uzyskania założonych wymagań konstrukcyjnych. Wymiana ostrzy tnących związana jest z długotrwałymi i kosztownymi przestojami maszyn technicznych pracujących w linii produkcyjnej. Dodatkowo, koszt nowego noża zapewniającego długi okres trwałości jest wysoki. Uzasadniona jest więc regeneracja narzędzi w celu przywrócenia odpowiednich zdolności skrawnych, przy zachowaniu założonej geometrii ostrza. Najczęściej stosowaną metodą regeneracyjną ostrzy noży planarnych jest szlifowanie.

Przeprowadzone przez Doktoranta badania ukierunkowane zostały na kompleksową analizę procesu regeneracji narzędzi w aspekcie trwałości eksploatacyjnej ostrzy noży planarnych. Warty podkreślenia jest fakt, że Doktorant przeprowadził badania rozpoznawcze oraz właściwe na autorskich, oryginalnych stanowiskach: badawczym i pomiarowym, tj. stanowisku do badań procesu szlifowania ostrzy technicznych i stanowisku do pomiaru siły cięcia. Natomiast badania eksploatacyjne ostrzy w procesie cięcia tkanek miękkich przeprowadzone zostały w warunkach przemysłowych.

Doktorant uwzględnił w swojej pracy doświadczenia innych badaczy z obszaru procesów kształtowania ostrzy technicznych oraz problematyki procesu cięcia tkanek miękkich. Dokładny przegląd literatury pozwolił na wyznaczenie kierunków badań poznawczych i aplikacyjnych w zakresie wpływu kinematyki oraz warunków chłodzenia i smarowania w procesie szlifowania ostrzy noży planarnych na ich trwałość eksploatacyjną.

Opracowana przez Doktoranta metodyka badawczo-pomiarowa oraz uzyskane wyniki eksperymentalne i przeprowadzone analizy pozwoliły na wytypowanie takiej technologii regeneracyjnej, która umożliwiła wydłużenie trwałości eksploatacyjnej ostrzy o kilka do nawet 18%, co pozwala na znaczącą redukcję kosztów narzędziowych oraz skrócenie czasów przestoju linii



technologicznej. Przedstawiona metodyka może być wykorzystana do badania trwałości eksploatacyjnej ostrzy narzędzi stosowanych w obróbce również innych materiałów organicznych.

3. Charakterystyka rozprawy

W wersji drukowanej praca liczy 202 strony i składa się z Wykazu symboli i akronimów, 9-ciu rozdziałów głównych i Bibliografii oraz pięciu rozdziałów pomocniczych (streszczenia w j. polskim i angielskim, spis rysunków i tabel).

Po syntetycznym wprowadzeniu do tematyki pracy, Autor przedstawił w drugim rozdziale analizę stanu zagadnienia wyznaczonego tematem pracy na podstawie przeglądu literatury (30 stron). W rozdziale trzecim Doktorant przedstawił cele, hipotezę, problemy badawcze i zakres rozprawy. Rozdział czwarty zawiera obszerny opis zastosowanej metodyki badawczej w odniesieniu do narzędzi oraz stanowisk badawczych i pomiarowych. Rozdział piąty opisuje autorskie stanowiska badawcze i pomiarowe. Badania rozpoznawcze, właściwe i eksploatacyjne zostały przedstawione kolejno w rozdziałach szóstym, siódmym i ósmym. Podsumowanie i wnioski zawarte są w rozdziale 9. Wykaz literatury (Bibliografia) liczy łącznie 137 pozycji, głównie czasopismowych, ale również książkowych i internetowych.

Istotne informacje w aspekcie realizowanego tematu zawarte zostały szczegółowo w następujących rozdziałach:

1. **Wprowadzenie** - z prawidłowym przedstawieniem problematyki i zasadności tematu.
2. **Analiza materiałów źródłowych w zakresie wyznaczonym tematem rozprawy** – przedstawiona w odniesieniu do najważniejszych zagadnień i problemów dotyczących tematyki pracy w aspekcie: charakterystyki ostrzy technicznych oraz procesu ich kształtowania i zużycia, zwłaszcza podczas cięcia tkanek miękkich. Dogłębny przegląd literatury pozwolił Doktorantowi na wyciągnięcie czternastu właściwych wniosków będących podstawą do postawienia celów, hipotezy i problemów badawczych, a w konsekwencji do zaplanowania badań.
3. **Cele, hipoteza, problemy badawcze i zakres rozprawy** - prawidłowo sformułowane i wynikające bezpośrednio z dogłębnego przeglądu literatury oraz doświadczenia praktycznego. Podrozdział końcowy zawiera szczegółowy schemat obiektu badań.
4. **Metodyka badań doświadczalnych** – przedstawiona w odniesieniu do badań rozpoznawczych (wybór ściernicy, pomiar siły cięcia), badań właściwych procesu szlifowania ostrzy, badań eksploatacyjnych ostrzy w procesie cięcia tkanek miękkich oraz stanowisk pomiarowych: pomiary stykowe struktury geometrycznej powierzchni obrabianej, rejestracja obrazów ostrzy mikroskopią optyczną i skaningową mikroskopią elektronową z analizą składu pierwiastkowego metodą dyspersji promieniowania rentgenowskiego (EDS).
5. **Autorskie stanowiska badawcze i pomiarowe** – z opisem budowy zaprojektowanej 5-cio osiowej szlifierki wyposażonej w układ sterowania CNC oraz opisem autorskich stanowisk do pomiaru siły cięcia i usuwania elementów materiału z krawędzi ostrza powstałego w procesie szlifowania.
6. **Badania rozpoznawcze procesu szlifowania ostrzy** – pozwalające na wybór ściernicy do dalszych badań oraz na weryfikację poprawności funkcjonowania stanowiska do pomiaru siły cięcia. Badania rozpoznawcze pozwoliły sformułować szereg wniosków szczegółowych, istotnych dla badań właściwych.
7. **Badania właściwe procesu szlifowania ostrzy** – mające na celu określenie najkorzystniejszych warunków realizacji procesu szlifowania w aspekcie minimalizacji mocy szlifowania i siły cięcia dla odpowiednio ukształtowanych ostrzy. Analizowano kinematykę szlifowania ostrzy, oraz warunki chłodzenia i smarowania strefy obróbki. Podobnie jak w przypadku badań rozpoznawczych, badania

właściwe pozwoliły sformułować szereg wniosków szczegółowych istotnych dla badań właściwych oraz na wytypowanie ostrzy do badań eksploatacyjnych.

8. Badania eksploatacyjne ostrzy w procesie cięcia tkanek miękkich – przeprowadzone w warunkach przemysłowych w procesie skórowania ryb płaskich. Badania te miały na celu określenie okresu trwałości noży planarnych, których geometria ostrza ukształtowana została w najkorzystniejszych warunkach procesu szlifowania, określonych w badaniach właściwych. Badania przeprowadzono osobno dla dwóch gatunków ryb płaskich: gładzicy i flądry. Badania eksploatacyjne pozwoliły sformułować szereg wniosków szczegółowych.

9. Podsumowanie i wnioski – z przedstawieniem szczegółowych wniosków poznawczych, użytkowych i metodycznych oraz z zaproponowaniem kierunków dalszych prac. Ostatni podrozdział zawiera wykaz prac naukowych upowszechniających rezultaty rozprawy doktorskiej.

Bibliografia – 137 pozycji literaturowych, głównie czasopismowych, ale również książkowych i internetowych ściśle związanych z realizowanym tematem.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Doktorant postawił na podstawie analizy literatury oraz doświadczenia praktycznego **hipotezę pracy związaną z możliwością poprawy właściwości ostrzy noży planarnych dzięki zastosowaniu odpowiednich wartości parametrów oraz warunków regeneracji ich geometrii. Dodatkowo założył, że zostanie wydłużony okres eksploatacyjny w odniesieniu do noży kształtowanych przez producentów narzędzi dedykowanych przetwórstwu rybnemu.**

Uzyskane wyniki badań i analizy w pełni potwierdziły, że taka poprawa właściwości badanych ostrzy jest możliwa w przypadku zastosowania odpowiedniej kinematyki, narzędzia i chłodzenia w procesie regeneracyjnym. W celu zidentyfikowania najlepszych warunków regeneracji geometrii, Doktorant przeprowadził kompleksowe badania w warunkach laboratoryjnych i przemysłowych. Pozwoliło to na wydłużenie trwałości eksploatacyjnej ostrzy nawet o 18%, co przekłada się na wymierne korzyści finansowe firmy przetwarzającej ryby, przy prawdopodobnie niewysokich kosztach inwestycyjnych.

Doktorant przyjął odpowiednią metodykę badań z właściwym doбором aparatury pomiarowej wykorzystanej w wieloetapowych badaniach eksperymentalnych i finalnie w badaniach eksploatacyjnych. Kompleksowo przeanalizował proces regeneracji ostrzy, badając wpływ odmiany kinematycznej szlifowania, rodzaju ściernicy i chłodzenia na właściwości ostrzy. Wysiunicie właściwych wniosków z uzyskanych rezultatów było możliwe dzięki pomiarom struktury geometrycznej obrabianej powierzchni oraz analizie obrazów ostrzy mikroskopią optyczną i skaningową mikroskopią elektronową z analizą składu pierwiastkowego metodą dyspersji promieniowania rentgenowskiego (EDS).

Autor rozprawy wykazał się również wysokimi umiejętnościami konstrukcyjno-technologicznymi, projektując i wykonując 5-cio osiową szlifierkę wyposażoną w układ sterowania CNC oraz stanowiska do pomiaru siły cięcia i usuwania elementów materiału z krawędzi ostrza powstałego w procesie szlifowania. Pozwoliło to na kompleksowe przeprowadzenie badań rozpoznawczych i właściwych w warunkach laboratoryjnych bez ingerencji w cykl produkcyjny oraz na bardzo efektywne zrealizowanie badań eksploatacyjnych ostrzy w procesie cięcia tkanek miękkich w warunkach przemysłowych w procesie skórowania ryb płaskich. Wytypowane do badań eksploatacyjnych ostrza wykazały się bardzo dobrymi właściwościami tnącymi co pozwoliło na normalny przebieg procesu produkcyjnego. Filety rybne, które były obrabiane nie ulegały żadnym uszkodzeniom, ograniczona została ilość odpadów i co najważniejsze z punktu widzenia założonych celów pracy związanych z regeneracją narzędzi, umożliwiające zostało wielokrotne wykorzystanie tego samego ostrza.



Doktorant rozprawy przeprowadził wnikliwą analizę literatury kierunkowej świadczącej o jego szerokiej orientacji w przedmiocie badań.

5. Uwagi do pracy

- 5.1. Doktorant podkreślił w pracy problem zmienności cech reologicznych materiału obrabianego, których znajomość jest konieczna do właściwego określenia procesu produkcyjnego. W przypadku obróbki ryb cechy takie jak: twardość, spoistość, sprężystość, elastyczność zależą od wielu czynników, np. obszar i sezon połowu. W badaniach eksploatacyjnych cechy te zostały przyjęte jako stałe. Czy ich zmienność może znacząco wpłynąć na wybór procesu regeneracji ostrzy? Czy określenie właściwości materiałowych ryb pozwoliłoby na lepszy, dedykowany dobór parametrów procesu ich regeneracji?
- 5.2. Jednym z przyjętych czynników stałych jest prędkość obrotowa narzędzia. Lepiej operować wartością prędkości skrawania, nie prędkości obrotowej, co umożliwi przeprowadzenie szybkiej i bezpośredniej analizy porównawczej z innymi badaniami. W wykazie symboli prędkość szlifowania została wymieniona, ale jako czynniki wejściowe przyjęto prędkość obrotową ściernicy. Co warunkowało dobranie określonej wartości prędkości obrotowej narzędzia przyjętej w badaniach?
- 5.3. Doktorant porównując wyniki stwierdza na str. 119, że „... różnice w wartościach były znacznie mniejsze i nie wykazały żadnego istotnego trendu”. Jakie metody statystyczne można zastosować w celu oceny istotności różnic pomiędzy uzyskanymi wartościami średnimi?
- 5.4. Przyjęta w zakładzie produkcyjnym norma określa, że udział pozostałości skóry na porcjach filetów rybnych po skórowaniu nie może być większy niż 7% w odniesieniu do całkowitej powierzchni skóry. Prawidłowa ocena tego udziału wpływa istotnie na trwałość eksploatacyjną ostrzy noży. Jak ten udział procentowy i z jaką dokładnością jest określany w warunkach przemysłowych?
- 5.5. Doktorant wytypował ostrza o geometrii nr 1 i nr 2 jako „najkorzystniejsze” (str. 133). W pracy nie zawsze jest podana informacja dla której geometrii odnoszą się określone wyniki. Uzupełnienie wykresów o te dane byłoby wskazane w dalszych publikacjach doktoranta.
- 5.6. Wybór geometrii ostrza jest pewnym kompromisem pomiędzy jego ostrością, a odpornością na zużycie, co Doktorant również podkreślił w pracy. Czy na podstawie przeprowadzonych badań można jednoznacznie wybrać ostrze spełniające kryteria wysokiej ostrości, przy jednocześnie dużej odporności na zużycie, tak aby osiągnąć najdłuższą trwałość eksploatacyjną? Od jakich czynników ten wybór jest uzależniony?
- 5.7. Badania eksploatacyjne zostały przeprowadzone dla geometrii nr 1, a wyniki badań eksploatacyjnych związane z 18% wydłużeniem okresu trwałości zostały wprost (bezwarunkowo) przyjęte dla wszystkich ostrzy w analizie korzyści wynikających z wydłużenia okresu trwałości. Czy takie podejście jest uzasadnione?
- 5.8. Średnie roczne zużycie ostrzy o geometrii nr 3 jest na podobnym poziomie jak ostrzy o geometrii nr 1. Co uzasadnia praktyczne stosowanie ostrzy o geometrii nr 3 na tak wysokim poziomie, jeżeli geometria ta, wg Doktoranta, teoretycznie nie jest pożądaną geometrią?
- 5.9. Oprócz wymiernych korzyści związanych z zaoszczędzonym czasem produkcyjnym w przypadku zastosowania proponowanej przez Doktoranta metody wydłużenia trwałości noży, występują koszty związane z procesem regeneracji: stanowisko szlifierskie z odpowiednim oprzyrządowaniem i doprowadzeniem chłodzenia, narzędzia, pracownicy, itp. Czy te elementy nie wpłyną istotnie na zmniejszenie korzyści wynikających z procesu regeneracji ostrzy?
- 5.10. Czy Doktorant rozważał dodatkową operację po szlifowaniu oprócz, lub może nawet zamiast przedstawionej metody usuwania elementów materiału z krawędzi ostrza powstałego w procesie szlifowania? Przykładowo, miejscowe odkształcenie plastyczne wytworzone w

warstwie wierzchniej ostrza mogłoby zwiększyć twardość, a w konsekwencji odporność na zużycie. Jednocześnie mogłyby zostać usunięte elementy materiału z krawędzi.

6. Uwagi edytorskie

Praca napisana została bardzo starannie pod kątem edytorskim i językowym. Większość rysunków i wykresów jest czytelna, poza nielicznymi wyjątkami, jak Rys. 74. Niektóre rysunki mogły zostać uzupełnione o informacje dostępne w tekście, np. nr geometrii ostrza (uwaga 5.5). Zauważone błędy edytorskie, opisowe i stylistyczne:

1. 9⁶ : jest „**wydatkiem**” powinno być „**wydatek**”;
2. 12⁷ : jest „Najważniejszym celem **niemniejszej** pracy” powinno być „Najważniejszym celem **niniejszej** pracy”;
3. 16₅ : jest „bezpośrednio **o**” powinno być „bezpośrednio **od**”;
4. 21¹⁶: jest „**niemniejszej** pracy” powinno być „**niniejszej** pracy”;
5. 26₃ : jest „**na** usuwania” powinno być „**dla** usuwania”;
6. 33¹⁰: jest „**Marinesu**” powinno być „**Marinescu et al.**”;
7. 46³: jest „zastosowaniu **w** specjalistycznych” powinno być „zastosowaniu specjalistycznych”;
8. 68⁸: jest „**zakończeniu**” powinno być „**zakończeniu**”;
9. 113^{9,10}: „W ten sposób” – w dwóch zdaniach występujących po sobie;
10. 156₅: jest „Świadczy to niekorzystnych” powinno być „Świadczy to **o** niekorzystnych”;
11. 168₃: jest „mięso flądry cechuje **zwartą**” powinno być „mięso flądry cechuje **się** **zwartą**” lub „cechuje **zwarta**”.

7. Uwagi końcowe

Pomimo wymienionych uwag, praca napisana została w sposób zrozumiały z uwypukleniem istotnych treści. Podane uwagi mają charakter dyskusyjny i powinny być inspiracją dla Doktoranta do dalszych badań eksperymentalnych i analiz teoretycznych. Mam nadzieję, że będą pomocne w dalszym upowszechnianiu rezultatów rozprawy. Uwagi te nie pomniejszają bardzo wysokiej wartości merytorycznej opiniowanej pracy.

8. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest wartościową pracą naukową. Doktorant wykazał się umiejętnością formułowania problemów badawczych i rozwiązywania ich przy użyciu właściwych metod naukowych z właściwym doбором aparatury pomiarowej. Umiejętnie wykorzystał również stan istniejącej wiedzy z zakresu procesów szlifowania materiałów, z których wykonywane są noże planarne. Praca stanowi oryginalny wkład do badań kształtowania geometrii i struktury geometrycznej powierzchni, zrealizowanych na przykładzie procesu regeneracji narzędzi, w aspekcie trwałości eksploatacyjnej ostrzy noży stosowanych do obróbki tkanek miękkich. Niewątpliwie opracowana metodyka może być stosowana, po odpowiedniej modyfikacji, w badaniach narzędzi stosowanych do obróbki również innych materiałów, w tym materiałów konstrukcyjnych. Doktorant przeprowadził badania rozpoznawcze oraz właściwe na autorskich, oryginalnych stanowiskach: badawczym i pomiarowym. Natomiast badania eksploatacyjne ostrzy w procesie cięcia tkanek miękkich przeprowadzone zostały w warunkach przemysłowych, **potwierdzając jednoznacznie tezę pracy, że poprawa właściwości badanych ostrzy jest możliwa w przypadku zastosowania odpowiedniej kinematyki, narzędzia i chłodzenia w procesie regeneracyjnym.**



W ogólnej ocenie stwierdzam, że Pan mgr inż. Bartosz Zieliński w pełni zrealizował zadanie badawcze będące przedmiotem rozprawy, której tematyka jest zbieżna z badaniami prowadzonymi na świecie oraz z aktualnymi wymaganiami i oczekiwaniami przemysłu.

Doktorant klarownie sformułował hipotezę i problemy badawcze oraz osiągnął jej cele na drodze prawidłowo zaplanowanych i przeprowadzonych badań eksperymentalnych i eksploatacyjnych. **W mojej opinii praca zasługuje na wyróżnienie z uwagi na bardzo szeroki zakres prac konstrukcyjno-technologicznych, badań eksperymentalnych i analiz zakończonych pozytywnym wdrożeniem zregenerowanych narzędzi w zakładzie produkcyjnym. Tematyka pracy mieści się w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.**

Pozytywnie oceniam przedstawioną rozprawę doktorską i wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr. inż. Bartosza Zielińskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Na podstawie przedstawionej opinii i w świetle dostępnej i znanej mi literatury naukowej stwierdzam, że praca spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim, przewidziane przez obowiązujące w tym względzie aktualne przepisy (Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki - Dz. U. z 2017 r. poz. 1789; rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora - Dz. U. z 2018 r. poz. 261; ustawa z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce - Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 ze zm.) i **może stanowić podstawę do nadania jej Autorowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.**

Gdańsk, dnia 12.09.2022 r.


.....
/Mariusz Deja/