

W P Ł Y N Ę Ł O

dnia 01.12.2017r.
2416/894/2017

Dr hab. inż. Mariusz Deja, prof. nadzw. PG

Politechnika Gdańska
Wydział Mechaniczny
Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji

ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk
mdeja@pg.gda.pl
tel.: 58 347 29 67

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ mgr. inż. MICHAŁA WOJTEWICZA

Promotor: dr hab. Walery Sienicki, prof. nadzw. PK

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Krzysztof Nadolny, prof. nadzw. PK

Tytuł rozprawy doktorskiej:

Badania wpływu impregnacji ściernic substancjami
antyadhezyjnymi na efektywność procesu szlifowania
stopów niklu

Gdańsk, listopad 2017

1. Uwagi wstępne

Podstawę opracowania recenzji stanowi pismo Pana Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej, dr. hab. inż. Błażeja Bałasa, prof. nadzw. PK, z dnia 2 października 2017 r. wynikające z uchwały Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej oraz dołączony wydruk i wersja cyfrowa rozprawy doktorskiej.

Tytuł rozprawy doktorskiej: Badania wpływu impregnacji ściernic substancjami antyadhezyjnymi na efektywność procesu szlifowania stopów niklu.

Autor rozprawy doktorskiej: mgr inż. Michał Wojtewicz.

Promotor: dr hab. Walery Sienicki, prof. nadzw. PK.

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Krzysztof Nadolny, prof. nadzw. PK.

2. Tematyka rozprawy

Podjęta tematyka rozprawy doktorskiej jest ważna w aspekcie naukowym oraz przemysłowym. Szlifowanie wewnętrzne w tym szlifowanie otworów należy do trudniejszych operacji szlifierskich głównie z racji ograniczenia dostępu do strefy obróbki. Właściwości superstopów niklu, takie jak m.in. duża ciągliwość, mała przewodność cieplna oraz podatność na utwardzanie w procesie szlifowania, dodatkowo utrudniają realizację procesu, ograniczając zdolności skrawne narzędzi oraz doprowadzając do powstawania defektów szlifierskich na powierzchni materiału obrabianego. Prawidłowy dobór narzędzi oraz parametrów technologicznych w przypadku szlifowania stopów niklu pozwala na właściwy przebieg procesu, uzyskanie założonych wymagań konstrukcyjnych oraz na zmniejszenie strat energetycznych. Przeprowadzone przez Doktoranta analizy i badania bezpośrednio mogą pomóc w spełnieniu tych wymagań poprzez dobór ściernicy, metody impregnacji i parametrów obróbki. Doktorant opracował uniwersalne metody impregnacji ceramicznych narzędzi ściernych, możliwe do przeprowadzenia zarówno przez producentów narzędzi jak i przez użytkowników, co jest szczególnie ważne w aspekcie użytkowym. Przeprowadził również szczegółową ocenę charakteru aplikacyjnego opracowanych metod impregnacji ściernic ceramicznych substancjami antyadhezyjnymi.

Doktorant uwzględnił w swojej pracy doświadczenia innych badaczy z obszaru szlifowania powierzchni płaskich, szlifowania zewnętrznych powierzchni walcowych oraz szlifowania głębokiego z posuwem pełzającym. Bardzo dokładny przegląd literatury i ograniczone dane literaturowe odnośnie efektywności szlifowania wewnętrznego materiałów wykonanych z superstopów niklu skłoniły go do realizacji badań w tym zakresie co było całkowicie uzasadnione.

Opracowana przez Doktoranta metodyka i uzyskane wyniki eksperymentalne pozwalają prognozować wpływ ilości i rodzaju impregnatu na wybrane wskaźniki oceny efektywności procesu szlifowania otworów w materiale ze stopu Inconel® alloy 718 jak również mogą posłużyć jako ogólne wytyczne dla szlifowania innych gatunków stopów niklu.

3. Charakterystyka rozprawy

Praca liczy 202 strony i składa się z wykazu ważniejszych oznaczeń, 10-ciu rozdziałów oraz dwóch załączników. Po syntetycznym wprowadzeniu do tematyki pracy, Autor przedstawił w rozdziale 2. analizę stanu zagadnienia wyznaczonego tematem pracy na podstawie przeglądu literatury (43 strony). W rozdziale trzecim Doktorant przedstawił cel pracy, problemy i hipotezy badawcze oraz zakres pracy. Rozdział 4. opisuje metodykę badań eksperymentalnych. Kolejne rozdziały przedstawiają uzyskane wyniki badań rozpoznawczych i właściwych oraz zawierają syntetyczne podsumowania w podrozdziałach z wnioskami. Rozdział 9. przedstawia podsumowanie i wnioski końcowe dotyczące



problemu głównego oraz związane z metodami impregnacji. Kierunki dalszych badań zawiera rozdział 10. Wykaz literatury liczy 136 pozycji.

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 z zakresu wyznaczonego tematem pracy** – przedstawiona w odniesieniu do najważniejszych zagadnień i problemów w aspekcie: charakterystyki materiału obrabianego, technologii szlifowania, impregnacji, oceny efektywności szlifowania. Przegląd literatury pozwolił na wyciągnięcie właściwych wniosków będących podstawą do zaplanowania badań.
3. **Cele, problemy, hipotezy i zakres pracy** - prawidłowo sformułowane i wynikające bezpośrednio z dogłębnego przeglądu literatury.
4. **Metodyka badań doświadczalnych** - przedstawiona ze szczegółowym opisem etapów badań rozpoznawczych i właściwych, stanowiska badawczego, różnorodnych systemów pomiarowych dobranych właściwie do analizy i pomiaru wybranych wielkości. Przyjęto m.in. zbiór czynników wynikowych, takich jak parametr Ra chropowatości powierzchni, przyrost mocy szlifowania i maksymalna temperatura szlifowania w obszarze roboczym, które mogłyby decydować o zakończeniu okresu trwałości ściernicy.
5. **Autorskie metody impregnowania ściernic substancjami antyadhezyjnymi** - scharakteryzowane z podaniem praktycznych wskazówek dla zastosowania siarki, węgla amorficznego, grafitu i dwusiarczku molibdenu jako impregnatów. Przeprowadzona ocena charakteru aplikacyjnego opracowanych metod impregnacji ściernic ceramicznych pozwoliła na wybór jednej z nich (proszkami antyadhezyjnymi i/lub smarnymi) do badań właściwych z uwagi na spełnienie wszystkich przyjętych kryteriów oceny.
6. **Badania zjawisk elementarnych zużycia ściernic impregnowanych siarką (stosowanych standardowo) w procesie wglębnego szlifowania stopów niklu** – przeprowadzone w celu sprawdzenia czy grawitacyjna impregnacja ściernicy autorską metodą z odwirowaniem może wpływać na efektywność procesu szlifowania walcowych powierzchni wewnętrznych wykonanych ze stopów niklu. Celem tych badań doświadczalnych było określenie wpływu impregnacji ściernicy siarką na intensywność powstawania zalepień na CPS w procesie wglębnego szlifowania otworów wykonanych ze stopu Inconel® alloy 600 i Incoloy® alloy 800HT® oraz stali 100Cr6 jako materiału referencyjnego.
7. **Badania rozpoznawcze procesu szlifowania otworów ze stopu Inconel® alloy 718** – z wynikami eksperymentu wykonanego zgodnie z prawidłowo zaplanowanym planem badań oraz z analizą statystyczną wyników. Wyznaczono modele matematyczne w postaci funkcji potęgowej dla zmian parametru chropowatości Ra oraz przyrostu mocy szlifowania ΔP . Badania te pozwoliły na dobór parametrów do badań właściwych pozwalających prognozować zmiany parametru Ra i oraz ΔP .
8. **Badania właściwe zużycia narzędzi ściernych w procesie szlifowania otworów ze stopu Inconel® alloy 718** - gdzie przedstawiono m.in. wyniki badań potwierdzające zależność pomiędzy chropowatością powierzchni materiału obrabianego wyrażoną parametrem Ra a mocą szlifowania wyrażoną jej przyrostem ΔP . Przeprowadzono również pomiar temperatury szlifowania w obszarze roboczym. Dla określonych ściernic wyznaczono graniczne moce szlifowania oraz przeprowadzono dokładną analizę zużycia ściernic porównując obrazy mikroskopowe czynnych powierzchni ściernic przed i po procesie szlifowania. Oceniono stopień zalepienia czynnej powierzchni ściernic po zakończeniu okresu trwałości dla narzędzi: referencyjnego i impregnowanego dwusiarczkiem molibdenu. Efektywność badanego procesu wyrażono grupą sześciu wskaźników (wydajnościowe, przebiegu szlifowania i syntetyczne) i odniesiono do rezultatów uzyskanych ściernicą referencyjną.

9. **Wnioski końcowe** – z syntetycznym podsumowaniem zrealizowanych prac oraz przedstawieniem szczegółowych wniosków dotyczących problemu impregnacji substancjami antyadhezyjnymi na efektywność procesu szlifowania stopów niklu.

10. **Kierunki dalszych badań** – prawidłowo sformułowane wraz z propozycją badań szlifowania z impregnacją narzędzi ściernic w trakcie obróbki oraz ze zdjęciem stanowiska badawczego.

Bibliografia – 136 pozycji literaturowych związanych z realizowanym tematem.

Załącznik 1, Załącznik 2 – z cennymi informacjami technologicznymi zawartymi w wybranych źródłach literaturowych opisujących badania procesu szlifowania stopów niklu.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Doktorant postawił, na podstawie analizy literatury i własnych wyników badań, **dwie hipotezy pracy związane z wpływem wprowadzenia na powierzchnię czynną ściernicy, lub w jej przestrzenie między ziarnowe dodatkowych substancji chemicznych jako impregnatów na wydłużenie jej okresu trwałości. Założył, że okres trwałości jest najdłuższy przy określonym stopniu wypełnienia impregnatem wolnych przestrzeni w ściernicy.** Uzyskane wyniki badań potwierdziły, że zastosowana impregnacja może w znaczącym stopniu wpływać na efektywność procesu szlifowania stopów niklu oraz, że efektywność procesu szlifowania z udziałem ściernic impregnowanych zależy od rodzaju użytego impregnatu oraz od jego udziału masowego lub objętościowego w narzędziu.

Doktorant przedstawił różne metody impregnacji wskazując ich wady i zalety. Wybrana do badań właściwych modyfikacja budowy ściernic poprzez impregnację grafitem oraz dwusiarczkiem molibdenu metodą zanurzeniową daje użytkownikowi możliwość dostosowania rodzaju impregnatu oraz jego zawartości w ściernicy do określonych potrzeb technologicznych w przypadku szlifowania stopu Inconel® alloy 718. Szeroki zakres badań pozwala na prognozowanie efektywności szlifowania również w odniesieniu do innych gatunków stopu niklu.

Autor rozprawy przeprowadził wnikliwą analizę literatury kierunkowej. Zawarte w załącznikach nr 1 i 2 zestawienie informacji technologicznych dla procesów szlifowania stopów niklu jest bardzo dokładne i świadczy o szerokiej orientacji Doktoranta w przedmiocie badań. Jest to bardzo dobry materiał do wykorzystania w artykule przeglądowym dotyczącym szlifowania stopów niklu.

Doktorant przyjął prawidłową metodykę badań z właściwym doбором aparatury pomiarowej wykorzystanej w badaniach eksperymentalnych. Analiza wyników eksperymentalnych i modelowych pozwoliła na prawidłowe wysunięcie wniosków poznawczych i użytkarnych. Warto pokreślić kompletność badań i prawidłowe wysuwanie wniosków po każdym etapie pracy, będących podstawą do realizacji kolejnych etapów badań. Aplikacyjne walory pracy dodatkowo podnoszą jej wartość merytoryczną, a wyznaczone kierunki dalszych badań, już zresztą realizowanych, pozwolą na szersze zgłębianie zagadnienia wpływu impregnacji ściernic innymi metodami niż przedstawionymi w dysertacji.

5. Uwagi do pracy

- 5.1. Doktorant przedstawił prawidłowy przegląd literatury. Rozdział 2.2.6 dotyczy monitorowania i diagnostyki procesu szlifowania nadstopów niklu. Szkoda, że akurat ten podrozdział został potraktowany skrótowo z ograniczeniem do analizy sygnału emisji akustycznej i to tylko na przykładzie dwóch pozycji literaturowych tych samych autorów. W pierwszym zdaniu pada zresztą stwierdzenie, że „prowadzi się szereg prac badawczych”. Czy Doktorant rozważał lub rozważył zastosowanie innych metod od zastosowanych w pracy do monitorowania zużycia ściernic?

- 5.2. Autor przeprowadził pomiar temperatury w strefie szlifowania metodą termowizyjną co było słusznym podejściem, pomimo, że można było spodziewać się zakłóceń pomiarowych spowodowanych płynem chłodząco-smarującym przesłaniającym badane objekty. Szkoda, że Autor nie wskazał propozycji metody pomiarowej, która mogłaby być skuteczniejszą i bardziej dokładną. Jako jeden z kierunków dalszych badań Doktorant wskazuje badanie wpływu impregnacji ściernic na temperaturę procesu szlifowania, co niewątpliwie wymusi przyjęcie dokładniejszej metody pomiaru. Którą z metod pomiaru temperatury Doktorant wskazałby jako najwłaściwszą?
- 5.3. W badaniach rozpoznawczych i w badaniach właściwych Doktorant przedstawił analizy związane ze zmianą parametru chropowatości Ra w powiązaniu z przyrostem mocy szlifowania. Czy w jakimś zakresie analizowane były również inne parametry chropowatości powierzchni, ważne z punktu widzenia eksploatacyjnego i współpracy elementów po montażu?
- 5.4. Doktorant pisze we wprowadzeniu, że praca przedstawia wyniki wieloletnich badań autora w tematyce rozprawy. Dlaczego nie zostały wymienione dotychczasowe osiągnięcia literaturowe Doktoranta w spisie literatury, poza zgłoszeniem patentowym [99]?

6. Uwagi edytorskie

Praca napisana została bardzo starannie pod kątem edytorskim i językowym. Rysunki i wykresy są bardzo czytelne i przedstawiają wszystkie niezbędne opisy i informacje. Występują bardzo nieliczne błędy edytorskie, np.:

23⁷ : jest „pływ” powinno być „wpływ”;

30¹⁶ : jest „powastawaniu” powinno być „powstawaniu”;

39₁ : jest „kondycjono-waniu” powinno być „kondycjonowaniu”;

77⁴ : jest „tabela 4.4” powinno być „tabela 4.5”;

133⁹ : jest „ilości” powinno być „liczby”.

7. Uwagi końcowe

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. 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. Umiejętnie wykorzystał również stan istniejącej wiedzy z zakresu procesów szlifowania stopów niklu. Praca stanowi oryginalny wkład do badań procesów szlifowania pozwalając prognozować efektywność procesu szlifowania prostoliniowo-zwrotnego wewnętrznych powierzchni walcowych wykonanych ze stopów Inconel® alloy 718 ściernicami impregnowanymi grafitem oraz dwusiarczkiem molibdenu o różnych zawartościach w ściernicy. Przeprowadzone badania pozwalają na dobór metody impregnacji i parametrów technologicznych również dla innych gatunków stopu niklu. W ogólnej ocenie stwierdzam, że Pan mgr inż. Michał Wojtewicz w pełni zrealizował zadanie badawcze będące przedmiotem rozprawy, której tematyka jest zbieżna z badaniami prowadzonymi na świecie oraz z aktualnymi wymaganiami i oczekiwaniami wielu gałęzi przemysłu maszynowego.

Doktorant klarownie sformułował problemy i hipotezy badawcze oraz osiągnął jej cele na drodze prawidłowo zaplanowanych i przeprowadzonych badań eksperymentalnych i modelowych. W mojej opinii praca zasługuje na wyróżnienie z uwagi na szeroki i użyteczny zakres badań. Tematyka pracy mieści się w obszarze dyscypliny naukowej budowa i eksploatacja maszyn.

Pozytywnie oceniam przedstawioną rozprawę doktorską i wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr. inż. Michała Wojtewicza 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 odpowiednimi ustawami.

Gdańsk, 27.11.2017 r.


.....
/Mariusz Deja/