

Kraków, 03.01. 2019 r.

Prof. dr hab. inż. Adam RUSZAJ
POLITECHNIKA KRAKOWSKA
Wydział Mechaniczny
Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji
Al. Jana Pawła II 37
31-864 KRAKÓW

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej pt.:

MAGNETYCZNO – ŚCIERNE WYGŁADZANIE POWIERZCHNI

Autor rozprawy: **Mgr inż. Michał Marczak**

Promotor: prof. dr. hab. inż. Lucjan Dąbrowski

Podstawa opracowania recenzji: Zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Produkcji z dnia: 29.11.2018

1. CHARAKTERYSTYKA PRACY

Opiniowana rozprawa poświęcona jest badaniom procesu obróbki magnetyczno – ścierniej. W procesie tym „spoiwem” ziaren ściernych jest pole magnetyczne. Pole magnetyczne formuje „elastyczne” narzędzie ściernie, które dostosowuje swój kształt do kształtu obrabianej powierzchni. Przebieg i wyniki procesu szlifowania magnetyczno ściernego zależą od wielu czynników np. grubość szczeliny roboczej, rozkład indukcji magnetycznej w przestrzeni roboczej, rodzaj i wymiary ziaren ściernych, właściwości materiału obrabianego (np. twardość, przewodność elektryczna, krzywa magnesowania), czas obróbki. Innymi słowy proces wygładzania magnetyczno – ściernego zależy wielu czynników a racjonalny dobór parametrów musi być prowadzony dla każdego kształtu elementu i rodzaju

obrabianego materiału. Istotny jest również dobór właściwości ziaren ściernych, a szczególnie ich właściwości ferromagnetycznych.

Autor opiniowanej rozprawy we wstępie przedstawia podstawowe informacje o materiałach ze względu na ich właściwości magnetyczne (ferromagnetyki, paramagnetyki, diamagnetyki i nadprzewodniki) oraz rodzaje ferromagnetycznych ziaren ściernych (Rozdział 1). W kolejnym rozdziale (Rozdział 2) charakteryzuje stan badań procesu obróbki magnetyczno – ścierniej. Najpierw koncentruje się na zjawiskach fizycznych zachodzących w obszarze obróbki w aspekcie właściwości ferromagnetycznych ziaren ściernych oraz właściwości fizyko-chemicznych materiału obrabianego, które odgrywają zasadniczą rolę w procesie obróbki magnetyczno-ścierniej. Na przykład przy obróbce materiałów ferromagnetycznych siła występująca między ziarnami ściernymi (narzędziem) jest istotnie większa niż w przypadku obróbki materiałów para i diamagnetycznych - dlatego obróbka cienkościennych elementów wykonanych z materiałów ferromagnetycznych jest utrudniona. Z kolei w obróbce materiałów o dużej przewodności elektrycznej problemem może być pojawienie się prądów wirowych o natężeniu powodującym istotny wzrost temperatury w warstwie wierzchniej a tym samym zmianę jej właściwości. Wyniki tej analizy zjawisk fizyko - chemicznych wykorzystuje Autor przy omawianiu możliwości praktycznych zastosowań badanego procesu w obróbce wykończeniowej powierzchni płaskich, powierzchni walcowych wewnętrznych i zewnętrznych czy powierzchni swobodnych. Przedstawia również praktyczne zastosowania obróbki magneto – reologiczno – przetłoczno - ścierniej oraz obróbki magnetyczno ścierniej wspomaganej drganiem ultradźwiękowymi przedmiotu obrabianego. Na podstawie tej wnikliwej analizy stanu badań Autor w Rozdziale 3 uzasadnia podjęcie tematyki badawczej, formułuje cele i tezę pracy oraz określa zakres jej realizacji.

W kolejnym Rozdziale 4 Autor: opisuje stanowisko badawcze, którego podstawowym elementem jest obwód magnetyczny umożliwiający skoncentrowanie energii pola magnetycznego w obszarze obróbki. Kształt i gabaryty magnetowodu determinują możliwości zastosowania go do obróbki złożonych części maszyn takich jak tuleje, czy wewnętrzne powierzchnie rur. W celu racjonalnego zaprojektowania i wykonania magnetowodu Doktorant analizuje geometrię układu i jego właściwości oraz oblicza dla różnych wariantów obwodu magnetycznego: przewodność magnetyczną szczeliny, napięcie magnetyczne pomiędzy kolumnami, natężenie

obwodu magnetycznego oraz indukcję magnetyczną w szczelinie. Następnie analizuje dla różnych wariantów obwodu magnetycznego zagadnienia koncentracji czy rozproszenia energii pola magnetycznego. W oparciu o wyniki tych rozważań Autor projektuje stanowisko badawcze i przeprowadza jego symulację numeryczną, buduje jego model fizyczny (bryłowy) oraz wyznacza rzeczywiste charakterystyki stanowiska badawczego. Największe znaczenie dla realizacji procesu obróbkowego ma uzyskanie wysokiej indukcji magnetycznej w obszarze oddziaływania ziaren ściernych. Zaprojektowane stanowisko umożliwia uzyskanie wartości indukcji magnetycznej w przedziale 0,45 – 0,74 T co zapewnia stosunkowo dużą siłę działającą na ziarna ściernie i umożliwia przeprowadzenie badań doświadczalnych (Rozdział 4).

Przedstawione w tym rozdziale prace, w wyniku których powstało stanowisko do badań procesu magnetyczno – ściernego wygładzania powierzchni, stanowią istotne i oryginalne osiągnięcie merytoryczne Autora.

W kolejnych rozdziałach Autor: charakteryzuje metodykę badań, metody i technikę pomiarów (Rozdział 5), opisuje badania i prezentuje ich wyniki w przypadku obróbki powierzchni płaskich głowicą stałą i ruchoma (Rozdział 6), w przypadku obróbki powierzchni wewnętrznych elementów rurowych spawanych doczołowo (Rozdział 7) oraz obróbki powierzchni krzywoliniowych (Rozdział 8). Analizuje również zachowanie się narzędzia elastycznego w czasie obróbki (Rozdział 9), opracowuje charakterystyki obwodu magnetycznego z zastosowaniem superpozycji cewki indukcyjnej i magnesów stałych (Rozdział 10), dokonuje podsumowania pracy oraz formułuje wnioski końcowe o charakterze poznawczym i użytecznym oraz wnioski do dalszych badań (Rozdział 11).

Powyższa charakterystyka rozprawy uwypukla jej walory, do których zaliczam kompleksowe ujęcie badanych problemów, poprawność metodologiczną wynikającą z układu pracy, poprawność metodyczną w rozwiązywaniu zadań cząstkowych, opracowanie oryginalnego i nowoczesnego stanowiska do badań oraz zastosowanie nowoczesnego sprzętu metrologicznego i poprawne przeprowadzenie pomiarów, obszerną prezentację wyników badań i ich analizę w aspekcie zastosowań praktycznych procesu obróbki magnetyczno – ścierniej..

2. OCENA WYBORU TEMATYKI ROZPRAWY

Praca dotyczy niezwykle istotnych zagadnień kształtowania właściwości warstwy wierzchniej elementów maszyn i urządzeń. Proces magnetyczno – ściernego wygładzania daje możliwości wygładzania powierzchni płaskich, kształtowych i trudnodostępnych (np. wewnętrzne powierzchnie rur) elementów wykonanych z materiałów metalowych. Pragnę podkreślić, że opiniowana rozprawa stanowi istotny wkład w rozwój i praktyczne zastosowania tego procesu. Metoda ta może znaleźć również zastosowanie w obróbce wykończeniowej elementów wykonanych metodami przyrostowymi z materiałów metalowych (lub domieszkowanych proszkami metalowymi). **Z powyższych względów wybór tematyki rozprawy uznaję za uzasadniony zarówno ze względów poznawczych jak i użytkowych.**

3. OCENA MERYTORYCZNA

Celem rozprawy było:

1. Określenie wpływu parametrów obróbki magnetyczno – ścierniej na stan warstwy wierzchniej.
2. Opracowanie charakterystyki obwodu magnetycznego z zastosowaniem superpozycji cewki indukcyjnej i magnesów stałych.
3. Wyznaczenie najkorzystniejszych parametrów obróbki złączy spawanych elementów rurowych na powierzchniach wewnętrznych.
4. Analiza elastycznego narzędzia ściernego oraz zjawisk fizycznych zachodzących wewnątrz strefy obróbki.

Tak sformułowany cel Autor zrealizował kompleksowo w racjonalnie zaplanowanych etapach badań. W etapie pierwszym (Rozdział 6) przeprowadzone zostały badania procesu obróbki magnetyczno - ścierniej powierzchni płaskich z zastosowaniem głowicy nieruchomej oraz ruchomej to znaczy wykonującej ruch obrotowy i posuwowy. W przypadku głowicy nieruchomej czynnikami badanymi (wejściowymi) były: koncentracja ziaren ściernych, szerokość szczeliny międzyelektrodowej oraz czas obróbki. Pozostałe parametry miały wartość stałą. Zastosowano ziarna ściernie: Fe – TiC 315/200 (30 μ m) a materiał obrabiany to stal nierdzewna 304L. Badania przeprowadzono zgodnie z zasadami planowania eksperymentów a wyniki przedstawiono w postaci równań regresji wyrażającymi zależność parametrów chropowatości powierzchni a wyżej wymienionymi czynnikami wejściowymi. W przypadku badań z ruchomą głowicą czynnikami

wejsciuowymi były: posuw oraz prędkość obrotowa głowicy a materiałem obrabianym była stal: 1.4542; czy stp tytanu Grade 5. Czynnikiami wynikowymi były parametry struktury geometrycznej obrabianej powierzchni. Wyniki badań zostały przedstawione również w postaci równań regresji, zdjęć warstwy wierzchniej przed i po obróbce oraz twardości i mikrotwardości. Cytując Autora „ **Otrzymane wyniki pomiarów chropowatości poddano analizie statystycznej w programie statistica v.10 a następnie opracowano modele wielomianowe dla wybranych pomiarów chropowatosci**”, stwierdzam, że bardzo przydatną byłaby informacja o zakresie i wynikach analizy statystycznej: np. czy obliczono wariancję, odchylenie standardowe i czy wykonano ocenę istotności współczynników regresji czy adekwatności równań regresji.

Wyniki powyższych badań umożliwiły Autorowi zaplanowanie i realizację badań obróbki wewnętrznych powierzchni walcowych (rurowych) dla próbek wykonanych ze stali nierdzewnej, stopu aluminium AW-6060 (PA38-niemagnetycznego), mosiądzu MO63 (CuZn37/CW508L – niemagnetycznego) oraz powierzchni krzywoliniowych: regeneracja kontaktów elektrycznych ze stopu wolframowego lub mosiężno berylowego; regeneracja części maszyny krawieckiej nazywanej stebnówką a wykonanej ze stali NC11LV w operacjach toczenia i frezowania i poddanej obróbce cieplnej hartowaniem do twardości 61-62 HRC). Wyniki powyższych badań umożliwiły Autorowi przeprowadzenie analizy właściwości „elastycznego narzędzia ściernego” w zależności od warunków obróbki oraz opracowanie charakterystyki obwodu magnetycznej, który powstał w wyniku superpozycji cewki indukcyjnej i magnesów stałych.

Ten obszerny opis badań, prezentację i analizę uzyskanych wyników kończy Autor podsumowaniem i sugestiami do dalszych prac, które również oceniam pozytywnie.

Po wnikliwym zapoznaniu się z treścią Rozprawy stwierdzam, że analiza stanu badań, planowanie i opracowanie uzyskanych wyników, poprawność projektowania stanowiska do badań, metodyka badań, realizacja badań, dobór sprzętu pomiarowego, sposób przeprowadzenia pomiarów (wskaźników technologicznych) , sposób przedstawienia wyników badań oraz ich analiza **prezentują wysoki poziom merytoryczny, a sformułowany przez Autora cel pracy został w pełni zrealizowany w planowanym zakresie.**

Do zalet pracy zaliczam również kompleksowe ujęcie badanych problemów, poprawność metodologiczną wynikającą z układu pracy oraz poprawność metodyczną w rozwiązywaniu zadań cząstkowych. Wiarygodność uzyskanych wyników wspiera zastosowanie oryginalnego urządzenia do realizacji procesu obróbki magnetyczno - ścierniej oraz nowoczesnej aparatury pomiarowej.

Autor wykazał się w realizacji pracy szeroką interdyscyplinarną wiedzą, umiejętnością planowania, organizacji i realizacji badań oraz interpretacji ich wyników. W każdym fragmencie pracy można dostrzec dojrzałość naukową Autora. W realizacji badań doświadczalnych nie ma decyzji przypadkowych, każda z nich została wnikliwie przemyślana i znajduje uzasadnienie w teorii i praktyce badawczej. Podobnie można ocenić analizę wyników badań – dla każdej serii jest ona kompleksowa i wskazuje na bardzo dobrą praktyczną znajomości badanego procesu. Pewien niedosyt może stanowić pominięcie szczegółów wyników statystycznej analizy wyników badań. Zagadnienia te może Autor uzupełnić w przyszłych publikacjach.

Do najważniejszych osiągnięć Autora zaliczam:

1. Kompleksową, wnikliwą i twórczą analizę stanu badań procesu obróbki magnetyczno ścierniej najpierw na podstawie danych literaturowych a następnie potwierdzoną w wybranych przypadkach wynikami badań własnych.
2. Zbudowanie obszernej bazy danych doświadczalnych (technologicznych) o procesie obróbki magnetyczno - ścierniej. Jest to bardzo cenna baza z punktu widzenia projektowania procesów technologicznych wygładzania magnetyczno – ściernego.

Podsumowując stwierdzam, że Autor osiągnął założone cele a rozprawa została przygotowana na bardzo dobrym poziomie merytorycznym i zawiera wiele elementów nowości i oryginalności.

4. UWAGI

Przedstawiona do recenzji rozprawa jest bardzo obszerna i obejmuje 172 strony i składa się z 11 części (rozdziałów) o bardzo zróżnicowanej objętości. W pracy Autor wykorzystuje 118 pozycji literaturowych podstawowych oraz 9 pozycji literatury uzupełniającej. Wyniki badań prezentuje na ponad 158 rysunkach, w około 34 tabelach oraz kilkunastu równaniach regresji. Nazewnictwo stosowane w pracy jest generalnie poprawne. Ale zdarzają się stosunkowo liczne potknięcia

gramatyczne, językowe i stylistyczne. W swoich rozważaniach Autor marginalnie traktuje fakt, że badany proces obróbki magnetyczno ścierniej charakteryzuje się znaczną losowością a byłby to dodatkowy bardzo ważny aspekt w analizie wyników badań czy projektowaniu procesów technologicznych. Powyższe uwagi powinny być uwzględnione w ewentualnych publikacjach opartych na wynikach badań przedstawionych w rozprawie.

4. WNIOSEK KOŃCOWY

Uważam, że recenzowana rozprawa generalnie prezentuje bardzo dobry poziom merytoryczny zawiera wiele elementów nowości i oryginalności i stanowi istotny i oryginalny wkład w poznanie i rozwój procesu obróbki magnetyczno – ścierniej. Z tego względu wnioskuję o „WYRÓŻNIENIE” recenzowanej pracy. Ponadto stwierdzam, że Autor wykazał się szeroką interdyscyplinarną wiedzą, dociekliwością, umiejętnością modelowania matematycznego, projektowania stanowiska badawczego czy sprzętu pomiarowego, umiejętnością planowania i realizacji badań doświadczalnych oraz wnikliwej analizy i krytycznej oceny uzyskanych wyników, co pozytywnie świadczy o Jego predyspozycjach do realizacji prac badawczych i cechach osobowych jako pracownika naukowego.

**W związku z powyższym uważam, że rozprawa doktorska opracowana przez
Mgra inż. Michała Marcza pt.:**

MAGNETYCZNO – ŚCIERNE WYGŁADZANIE POWIERZCHNI

spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy i może być dopuszczona publicznej obrony.

