

Recenzja pracy doktorskiej
mgra inż. Dawida Wydrzyńskiego
p.t. "Efektywność obróbki powierzchni śrubowych za pomocą pilników obrotowych"

Podstawę prawną recenzji stanowi Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. nr 65 poz. 595 z późn. zm.), Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15 stycznia 2004 r. w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzania czynności w przewodach doktorskim i habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2004 r. nr 15 poz. 128 z późn. zm.) i Uchwała Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej z dnia 16 grudnia 2015 r.

1. Ogólny opis tematu recenzowanej pracy

Opracowana przez Doktoranta praca ma charakter doświadczalny i dotyczy procesu obróbki wykańczającej powierzchni śrubowej ślimaka za pomocą pilników obrotowych. Ślimaki, a ściślej współpracujące ze ślimacznicą powierzchnie śrubowe zwojów ślimaka, są wykonywane najczęściej, jak inne powierzchnie śrubowe, na tokarkach i frezarkach uniwersalnych lub tokarkach i frezarkach specjalizowanych do gwintów oraz na szlifierkach do gwintów. Wybór określonej metody obróbki zależy od odmiany ślimaka, jego modułu, liczby zwojów (krotności), żądanej dokładności wykonania oraz liczby wykonywanej serii przedmiotów.

W produkcji jednostkowej i małoseryjnej ślimaki o module do 3 mm są wykonywane zazwyczaj wstępnie oraz na gotowo frezami krążkowymi lub nożami tokarskimi. Obróbkę wstępną i wykańczającą ślimaków o dużych modułach (ponad 3 mm) wykonuje się na frezarkach do gwintów lub frezarkach obwiedniowych poziomych przy zastosowaniu frezów krążkowych lub palcowych. Niezależnie od zastosowanej technologii obróbki zgrubnej prawie zawsze jest

stosowana obróbka wykańczająca, w celu uzyskania wymaganej dokładności wymiarowo-kształtowej i chropowatości powierzchni ślimaka. Jest to najczęściej proces szlifowania.

Szlifowanie powierzchni śrubowej ślimaka już tylko z czysto geometrycznego punktu widzenia jest zagadnieniem dość złożonym. Istnieje więc zupełnie zrozumiała tendencja do korzystania w pierwszym rzędzie z takiej metody szlifowania, która umożliwi wykonywanie powierzchni zębów ślimaka łatwej do analizy geometrycznej i sprawdzenia dokładności wykonania. Jeżeli dodatkowo uwzględnimy parametry i charakterystykę ściernicy, a także parametry obróbkowe, to proces ten staje się jeszcze trudniejszym do właściwego zaprojektowania. Poza tym wymagana jest odpowiednia szlifierka do obróbki powierzchni śrubowych.

Stąd też poszukuje się ciągle innych metod obróbki wykańczającej, które mogłyby być realizowane na obrabiarkach do obróbki wiórowej, gdzie zarówno obróbka zgrubna jak też wykańczająca byłaby realizowana na jednym stanowisku, przy wykorzystaniu różnych narzędzi skrawających. W tym sensie podjęty temat pracy uważam za uzasadniony, tym bardziej, że w zasadzie nie były prowadzone dotychczas szersze badania zastosowania obróbki powierzchni śrubowych za pomocą pilników obrotowych. Oczywiście w tym celu jest wymagana odpowiednia kinematyka maszyny jak też odpowiednie narzędzia, które umożliwiłyby przede wszystkim duży zakres prędkości skrawania (prędkości obrotowej wrzeciona narzędzia). Obecnie produkowane centra obróbkowe z napędami elektrowrzecion umożliwiają bezstopniową zmianę prędkości obrotowych do 40 tys. obrotów/minutę, co powinno zapewnić odpowiednią prędkość skrawania dla nawet tak małych średnic narzędzi jakimi są pilniki obrotowe. Tematyka pracy jest zatem w pełni uzasadniona i może mieć znaczące efekty użytkowe.

2. Zakres i ocena poszczególnych części realizowanej pracy

Praca została zrealizowana w Katedrze Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji pod opieką naukową prof. Leszka Skoczylasa, który zajmuje się naukowo od wielu lat tematyką obróbki przekładni ślimakowych. Katedra ta dysponuje nowoczesną bazą laboratoryjną, która umożliwia realizację tego typu badań doświadczalnych.

Praca o objętości 130 stron, podzielona jest na 6 rozdziałów uzupełnionych streszczeniem w języku polskim i angielskim, wykazem oznaczeń, oraz bibliografią załącznikami. Cztery rozdziały (od 3 do 6) zawarte na 97 stronach dotyczą pracy własnej Doktoranta.

W rozdziale pierwszym, stanowiącym wprowadzenie do tematu pracy, Doktorant przedstawił charakterystykę powierzchni zwojów ślimaków walcowych, technologie obróbki zwojów ślimaka, przegląd prac badawczych w zakresie kształtowania powierzchni śrubowych, kończąc na celu i zakresie pracy. Jest to w dużej mierze wiedza książkowa powszechnie znana. Brakuje natomiast przeglądu dotychczasowych badań odnośnie samej tematyki pracy. Dotyczy to w szczególności obróbki wykańczającej takimi narzędziami jak pilniki obrotowe, zastosowane do obróbki maszynowej. Brak jest opisu wpływu makro i mikrogeometrii tych narzędzi, a także parametrów obróbki na wydajność czy też dokładność obróbki. A przecież takie zależności istnieją i powinny być przeanalizowane przed sformulowaniem celu i zakresu pracy. Dotyczy to zwłaszcza postawienia tezy naukowej pracy, której w sposób sformalizowany w ogóle nie postawiono. W tytule pracy jest słowo efektywność, którą powszechnie rozumie się jako czas lub koszty obróbki, przy założonych wymaganych parametrach jakości obrabianej powierzchni. W tezie pracy powinno być sformułowane i jasno określone pojęcie tej efektywności, a także zdefiniowane parametry zmienne (nastawcze), które wpływają na efektywność procesu. Stąd powinien wynikać cel i zakres pracy. Jeżeli brak jest dotychczasowych wyników badań dotyczących tej metody obróbki to należało, przynajmniej uzasadnić wybór tej metody obróbki wykańczającej w stosunku do szlifowania, metody stosowanej dotychczas powszechnie w praktyce przemysłowej.

Rozdział drugi zawiera charakterystykę budowy pilników obrotowych, gdzie opisano budowę, geometrię i przeznaczenie głównie w zastosowaniu do obróbki ręcznej. Jak sam Doktorant stwierdza podane w tym przeglądzie parametry technologiczne obróbki tymi pilnikami odnoszą się do obróbki ręcznej. Uważam, że ten rozdział nie wnosi nic nowego do pracy i mógłby być pominięty, a sformułowania w końcowej części tego rozdziału „iż materiały o dużej twardości wymagają zastosowania niższych prędkości, a z kolei mniejsze pilniki wymagają zastosowania wyższych prędkości” są tak oczywiste, że nie wymagają żadnego wyjaśnienia.

W rozdziale trzecim przedstawiono założenia i przebieg badań eksperymentalnych. W szczególności opisano materiał i próbki do badań, aparaturę badawczą, wykorzystywane pla-

ny badawcze. Dobór materiału uważam za trafny, ponieważ stal stopowa 42CrMo4 przeznaczona jest na tego typu części jak ślimaki. Materiał ten zastosowano zarówno na próbki do badań wstępnych w postaci płyty jak też do badań zasadniczych samego ślimaka. Jeżeli można zrozumieć, wykonanie próbek do badań wstępnych na frezarce to nie rozumiem dlaczego również ślimaka nie wykonywano również na frezarce jako obróbki zgrubnej, a następnie na tej samej maszynie można było wykonać obróbkę wykańczającą przy zastosowaniu multiplikatora obrotów. Co do opisywania tak szeroko wykorzystywanych planów badawczych to uważam za zupełnie zbędne. Wystarczyło jedynie wspomnieć jakiego typu plany badań były zastosowane.

Rozdział czwarty przedstawia badania wstępne procesu obróbki. W szczególności opisano wybór narzędzi i badania zarysu ostrzy, ustalenie zakresu parametrów obróbki, istotność wpływu geometrii ostrza pilników obrotowych, istotności wpływu kierunku obróbki. Oczywiście wyborem były pilniki o kształcie stożkowym, ponieważ takie jest ukształtowanie po obróbce zgrubnej zarysu ślimaka. W tym miejscu należy jednak zaznaczyć, że tego typu kształt narzędzia powoduje zmianę prędkości skrawania wzdłuż tworzącej. Przy wyborze konkretnego pilnika powinien być przedstawiony taki rozkład prędkości, który ma wpływ na chropowatość powierzchni na wysokości zwoi. Ważne są również parametry kąta stożka i prostoliniowości pilnika, które wpływają na błędy kształtu obrabianej powierzchni.

Co do wyboru wartości parametrów obróbki, takich jak prędkość skrawania v_c , prędkość posuwu v_t , głębokość skrawania a_e , szerokość skrawania a_p , przyjęto zalecenia katalogowe a także wyniki własnych badań, przy których jak pisze Doktorant zużył ok. 100 pilników. W tym miejscu pomyłono w pracy pojęcia głębokości i szerokości skrawania. Są to tak dwie różne wielkości, w szczególności przy obróbce pilnikiem, że nawet ich wartości wskazują co jest głębokością a co szerokością warstwy skrawanej. Nie zrozumiałe jest przyjęcie do badań pilników o geometrii Z3 i Z4 skoro jak pokazano w tab.2.2 pilniki te nie są przeznaczone do obróbki wykańczającej materiałów twardych. Z kolei badanie wpływu kierunku obróbki współbieżnej i przeciwbieżnej na chropowatość powierzchni jest powszechnie znane. Doktorant raz twierdzi, że kierunek ten ma znaczący wpływ na strukturę geometryczną powierzchni, natomiast w wyniku przeprowadzonych badań stwierdza, że nie wpływa na chropowatość powierzchni. Ostatecznie przyjęto do dalszych badań obróbkę współbieżną.

W piątym rozdziale przedstawiono badania procesu obróbki powierzchni płaskich. Najpierw przedstawiono założenia dotyczące przebiegu badań, istotności wpływu parametrów

obróbki, wyboru wartości parametrów spełniających założenia obróbkowe, badania okresu trwałości ostrzy, badania przy skośnym ustawieniu pilnika. Wybranie modelu badań na powierzchni płaskiej otwartej uzasadnione jest możliwością pomiaru chropowatości na całej szerokości styku pilnika z obrabianą powierzchnią, co jest niemożliwe przy sąsiadujących powierzchniach zwoju ślimaka. W tym przypadku należało od razu przyjąć kąt skrzywienia osi pilnika w stosunku do obrabianej powierzchni i badania chropowatości powierzchni przeprowadzić w tym położeniu, a nie równoległym do powierzchni. Poza tym należałoby przeprowadzić pomiary chropowatości w kilku równoległych przekrojach do kierunku posuwu, ze względu na zmianę prędkości skrawania v_c wzdłuż tworzącej pilnika stożkowego. Z przyjętej geometrii pilnika wynika, że prędkość ta różni się prawie 2 – krotnie w krańcowych punktach styku pilnika z obrabianą powierzchnią. Stąd też należało wykonać przynajmniej kilka pomiarów chropowatości w granicznych punktach i strefie środkowej. W ten sposób można byłoby wnioskować o rozkładzie chropowatości na całej szerokości obróbki, co jest niezmiernie ważne w eksploatacji ślimaka. W sposób bardzo uproszczony oceniono pomiary zużycia pilnika wzdłuż krawędzi skrawającej. Zastosowany do tego celu mikroskop ALICONA umożliwia bowiem bardzo szeroką analizę pomiaru zużycia powierzchniowego i objętościowego, a także samej zmiany parametrów mikrogeometrii narzędzia. Bazowanie tylko na pomiarze zużycia wierzchołka krawędzi skrawającej jak to pokazano w pracy niewiele mówi o procesie zużycia i o okresie trwałości pilnika.

W szóstym rozdziale przedstawiono zasadnicze wyniki badań obróbki powierzchni śrubowych. Opisano geometrię powierzchni badanego sposobu obróbki, przebieg obróbki zgrubnej i przebieg obróbki wykańczającej. Przeprowadzono pomiary struktury geometrycznej powierzchni (SGP) oraz dokładności wykonania zarysu zwoju ślimaka. Pierwsza część tego rozdziału powinna się znaleźć już w pierwszym rozdziale jako opis geometrii powierzchni śrubowych. Opisana realizacja obróbki zgrubnej na tokarce CNC wymagała opracowania własnej aplikacji programu obróbki zwojów ślimaka. Jest to wartościowa część aplikacyjna pracy, która może być wykorzystana do tego rodzaju obróbki na innych maszynach. Do obróbki wykańczającej zastosowano centrum frezarskie, na wrzecionie którego zamocowano multiplikator obrotów w celu uzyskania odpowiedniej prędkości obrotowej pilnika. Tu również opracowano program umożliwiający automatyczne generowanie kodu obróbkowego dla różnych zarysów zwojów. Program ten umożliwia wprowadzenie korekty kąta ustawienia pilnika w zależności od odchyłki prostoliniowości jego części roboczej. Do oceny parametrów SGP wykorzystano zarówno parametry 2D i 3D.

Uważam, że taka analiza SGP w świetle postawionych założeń celu pracy jest zbędna. Wystarczyłaby tylko analiza parametrów chropowatości R_a i R_z i ich rozkładu na całej wysokości zarysu ślimaka. Przeprowadzone pomiary dokładności zarysu zwoju na maszynie współrzędnościowej potwierdziły duży wpływ sztywności pilnika i jego zamocowania na odchyłki kształtu, co widać na rozkładach odchyłki u podstawy zwoju. Z powyższego wynika, że jest to główna wada tej metody obróbki, w stosunku do metody szlifowania. Z przedstawionych wyników widać również, że na dokładność zarysu ma wpływ także odchyłka prostoliniowości części roboczej pilnika.

W końcowej części pracy podano 8 wniosków szczegółowych i 5 wniosków końcowych o charakterze ogólnym. Obie grupy wniosków wynikają z uzyskanych rezultatów badań. Doktorant odniósł się również do założeń celu pracy wskazując na możliwość realizacji obróbki wykańczającej przy wykorzystaniu pilników obrotowych. W mojej ocenie zabrakło wyraźnego odniesienia się do porównania tej metody obróbki do metody szlifowania, zarówno pod względem wydajności jak też dokładności obróbki.

Rozprawa zakończona jest spisem bibliograficznym zawierającym 132 pozycje, z czego ponad 35% to normy i katalogi

2. Ocena ogólna pracy

Jak już wspomniałem praca ma charakter doświadczalny. Doktorant podjął badania trudnego procesu obróbki wykańczającej powierzchni śrubowej ślimaka jakim jest obróbka pilnikiem obrotowym. Głównym aspektem badań było określenie wpływu parametrów obróbkowych na dokładność zarysu i chropowatość powierzchni śrubowej. Przeprowadzone badania charakteryzują się wielowątkowością; uwzględniono wpływ szeregu czynników tj. prędkości skrawania, głębokości i szerokości skrawania, rodzaju i dokładności części roboczej narzędzia. W ramach badań wykonano bardzo dużą liczbę pomiarów, co wymagało zatem dużego nakładu pracy i czasu. Uważam jednak, że wiele z tych badań było zbędne w stosunku do założonego celu pracy. Można było na przykład na wstępie ograniczyć się do konkretnego pilnika, który był zalecany do obróbki wykańczającej stali hartowanej i nie badać innych narzędzi.

Bardzo pozytywnie oceniam umiejętność samodzielnego przygotowania przez Doktoranta programów obróbkowych powierzchni śrubowej ślimaka na maszynie CNC . Na podkreślenie

zasługuje bardzo staranne przygotowanie planu i metodyki badawczej, a także umiejętność realizacji pomiarów. Chociaż niepotrzebnie do przesady opisano obszernie ich istotę. Doktorant wykazał się znajomością analizy statystycznej wyników pomiarów, lecz również mam wiele zastrzeżeń co do wyciągania zbyt wiele ogólnych wniosków, jak na przykład że chropowość zależy od parametrów obróbki itp.

Realizowany temat jest nowym zagadnieniem technologicznym, a osiągnięte wyniki mają charakter użytkowy. Do najważniejszych osiągnięć praktycznych Doktoranta należy zaliczyć określenie zakresu zalecanych z uwagi na wydajność procesu oraz jakość powierzchni parametrów technologicznych dla badanych rodzajów pilników. Spośród osiągnięć naukowych wyróżnić należy określenie zależności pomiędzy prędkością skrawania, głębokością i szerokością skrawania a chropowatością powierzchni. W wyniku wykonanych badań Doktorant wykazał słuszność przyjętych założeń i zrealizował cel pracy. Całość rozprawy oceniam pozytywnie.

Uwagi ogólne do pracy

Praca napisana jest z wieloma błędami polszczyzny i wykonana mało starannie pod względem edycyjnym. W tak dużej objętościowo pracy trudno ustrzec się niedociągnięć gramatycznych i usterek technicznych jednak jest ich stosunkowo zbyt wiele. Nie wpływają one istotnie na jakość opracowania, stąd w większości nie zostały wskazane w recenzji, a zaznaczone w tekście pracy jako uwagi recenzenta i przekazane Doktorantowi w nadziei, że ustrzeże się ich w dalszej pracy naukowej. Wymienię tu tylko najważniejsze:

1. W pracy brakuje wyraźnie sprecyzowania tezy naukowej pracy, która powinna się odnieść do występującej w tytule efektywności obróbki. Jest to przecież praca naukowa a nie technologiczna. Wprawdzie w dalszej części pracy Doktorant wspomina o czasie obróbki, ale w żaden sposób nie przedstawia modelu tego kryterium.
2. Jednym z większych uchybień pojęciowych występujących w całej rozprawie jest błędne określenie głębokości a_e szerokości skrawania a_p . Dla technologa zajmującego się tylko sporadycznie obróbką skrawaniem podawana w pracy wartość głębokości skrawania 14 mm dla pilnika który ma głębokość rowka wiórowego rzędu kilku mm jest od razu nieporozumieniem.

3. W pracy wyraźnie brakuje opisu makro i mikrogeometrii pilnika, przecież jest specyficzne narzędzie skrawające, którego ostrza są określone parametrami geometrycznymi. Parametry te nie są podawane w katalogach narzędzi, ale dla potrzeb pracy można było wykonać takie pomiary, tym bardziej że były takie możliwości pomiarowe. Ułatwiłoby to zrozumienie wiele zależności technologicznych występujących przy obróbce pilnikami obrotowymi.

4. Istotnie brakuje także badań bicia powierzchni pilnika obrotowego po zamocowaniu we wrzecionie multiplikatora, szczególnie przy tak dużych prędkościach obrotowych, które także wpływa na dokładność obróbki a przede wszystkim na powstawanie drgań.

Powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny i nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy. Uważam, że ustosunkowanie się do nich Doktoranta wzbogaci podane treści.

3. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgra inż. Dawida Wydrzyńskiego zawiera samodzielne opracowanie zagadnienia naukowego. Autor wykazał należyłą wiedzę oraz umiejętności prowadzenia badań naukowych i przedstawiania wyników.

Na podstawie przedstawionej oceny stwierdzam, że opiniowana praca mgra inż. Dawida Wydrzyńskiego spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone przez Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003 r. nr 65 poz. 595 z późn. zm.).

Wnioskuje o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

