

prof. dr hab. inż. Tadeusz Marciniak  
Politechnika Łódzka

## Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Dawida Wydrzyńskiego  
pt.: „Efektywność obróbki powierzchni śrubowych za pomocą pilników obrotowych”

*Recenzja wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa  
Politechniki Rzeszowskiej  
prof. dr hab. inż. Jarosława Sępa z dnia 16.12.2015*

### 1. Ocena wyboru tematu pracy

Technologia wykonywania powierzchni śrubowych zawsze sprawiała wiele problemów. Dotychczasowe metody przy zastosowaniu klasycznych narzędzi wymagały pełnej zgodności zarysu obrabianego i zarysu narzędzia, co w wielu przypadkach powodowało konieczność stosowania kosztownych narzędzi specjalnych. Trudności te nasilają się w przypadku wykonywania zarysów, które nie mają w żadnym z przekrojów linii prostej. Tradycyjnie powierzchnie takie, z dużą wydajnością, wykonywane są najczęściej narzędziem obrotowym typu frez tarczowy. W takim przypadku zarys narzędzia zależy od zarysu obrabianej powierzchni śrubowej i w przejściu wykończeniowym, powierzchnia narzędzia i powierzchnia obrabiana styka się wzdłuż charakterystyki na całej wysokości zarysu, co powoduje znaczne obciążenie krawędzi skrawających. Czasami uniemożliwia to prowadzenie efektywnej obróbki. W tej sytuacji zastosowanie narzędzi obrotowych w postaci pilników w kształcie walca lub stożka o tworzącej w postaci linii prostej i kształtowanie powierzchni śrubowej, co najwyżej w dwóch przejściach jest całkowicie odmienną technologią. W tym przypadku obrabiana powierzchnia nie jest związana z krawędzią tnącą narzędzia. Narzędzie takie ma charakter uniwersalny, jest tanie i tym samym narzędziem, w pewnym zakresie, można kształtować różnorodne powierzchnie śrubowe. Dodatkowo narzędzia takie mogą być stosowane w wysokoobrotowych obrabiarkach CNC, co zwiększa możliwości ich zastosowania. Wymaga to jednak opracowania zależności, w których nastąpi powiązanie zarysu i parametrów ustawienia zastosowanego narzędzia z zarysem obrabianej powierzchni. W tym świetle podjęty temat uważam za bardzo trafny i istotny z punktu widzenia poznawczego jak i użytecznego.

## 2. Zakres i ocena poziomu naukowego pracy

Praca została zrealizowana na 130 stronach i została podzielona na 6 rozdziałów, poprzedzonych wykazem ważniejszych oznaczeń oraz dwóch załączników zawierających wyniki badań zrealizowanych w trakcie wykonywania pracy. Na zakończenie pracy przedstawiono wykaz 85 pozycji literaturowych o różnym stopniu ich wykorzystania. Brak jest opracowań własnych. Występuje jedynie jedno współautorstwo z promotorem pracy. Przedstawiono też wykaz 12 norm oraz 9 katalogów firm zajmujących się produkcją przekładni ślimakowych. Wykaz ten można uznać za wyczerpujący w zakresie realizowanej pracy.

W pracy podjęto się głównie opracowania technologii obróbki wykończeniowej powierzchni śrubowych metodą skrawania pilnikami obrotowymi. Pilnik taki o dużej ilości ostrzy skrawających ma skrawać wcześniej przygotowaną np. toczeniem powierzchnię na całej wysokości zwoju (nieprzekraczającej długości narzędzia po tworzącej) i ustawiony w osi obrabianej powierzchni ma wykonywać powierzchnię typu ZK a przemieszczony z osi powierzchnię typu ZR. Dużą zaletą takich pilników jest możliwość obróbki powierzchni utwardzonych nawet do 65 HRC. W rezultacie powierzchnie takie mogą być obrabiane w całości na centrach numerycznych i przy niezbyt wygórowanych wymaganiach, co do gładkości obrabianej powierzchni, możliwe będzie wyeliminowanie kłopotliwej obróbki ścierniej. W wielu przypadkach może mieć to duże znaczenie dla możliwości prowadzenia obróbki. Dla realizacji tego zagadnienia użyto opracowane w ramach pracy i wdrożone do zastosowania oprogramowanie sterujące.

**Za najważniejsze osiągnięcie Doktoranta uważam opracowanie podstaw teoretycznych i technologii wykonywania powierzchni śrubowych przy zastosowaniu pilników obrotowych. Wyniki uzyskane w dysertacji mogą być natychmiast wykorzystane w praktyce przemysłowej.**

W badaniach wstępnych na próbkach płaskich wykonano analizę efektów obróbki, co miało stanowić podstawę do opracowania zakresu parametrów obróbki powierzchni śrubowych. Badania te przeprowadzono na przy prostym i skośnym ustawieniu pilnika i wykorzystano tu metodę planowanego eksperymentu prowadzonego na dwóch i trzech

poziomach zmienności. Weryfikację wyników oparto o pomiary stanu geometrycznego obrabianych powierzchni szeroko przedstawionych w dwóch załącznikach.

Badania obróbki wykończeniowej uzwojenia przeprowadzono na ślimaku, w którym uzwojenie wstępne wykonano na tokarce sterowanej numerycznie metodą toczenia a następnie przeprowadzono próby obróbki wykończeniowej za pomocą pilników obrotowych na pięcioosiowym centrum numerycznym. Dla potrzeb prób utworzony został autorski program wspomagający NC, w którym wymagane jest wprowadzenie podstawowych danych dotyczących obrabianej powierzchni śrubowej oraz narzędzia. Próby prowadzone były przy osiowym i przesuniętym z osi ustawieniu narzędzia. Zauważa się brak tu planu prowadzenia tych badań a powinien on wynikać z badań wstępnych. W rezultacie w czterech tablicach przedstawiono wyniki pomiaru stanu geometrycznego obrabianych powierzchni, na których podano wprowadzone parametry, przy których prowadzone były obróbki, ale czy takie zestawy parametrów były najbardziej miarodajne? Praca zakończona jest prezentacją sposobu i wyników pomiaru dokładności tak wykonanych powierzchni. Nie przeprowadzono tu analizy błędów pomiaru. Wyniki przedstawiono tylko na dwóch rysunkach, co jest chyba zbyt skromną ich prezentacją. Należy przypomnieć, że w tytule pracy występuje obróbka powierzchni śrubowych i to zagadnienie powinno stanowić główną część pracy.

Pracę poprzedza wykaz ważniejszych oznaczeń (bez jednostek) i akronimów oraz krótki wstęp wprowadzający w zagadnienie.

**W rozdziale 1** nazwanym analizą literatury, Doktorant wprowadza w zagadnienie będące przedmiotem pracy. Przedstawiono tu opisy stosowanych dotychczas technologii. Rozdział ten zwyczajowo prowadzi do wykazania przesłanek do sformułowania tezy pracy. Niestety w pracy zdecydowano się nie stawiać tezy naukowej, co uważam za postępowanie niewłaściwe, gdyż w ten sposób praca, w pewien sposób, traci charakter dysertacyjny. Zgodnie z punktem 1.5 jako cel pracy przyjęto 5 zadań, z których tylko dwa mają charakter naukowy. Są to w skrócie:

- wyznaczenie efektywnych parametrów procesu obróbki,
- ocena przydatności zastosowania pilników do obróbki powierzchni śrubowych.

Pozostałe zadania są oczywiste w każdej pracy badawczej i nie powinny stanowić wyszczególnionego zakresu pracy.

**W rozdziale 2** przedstawiono charakterystyką użytych w pracy narzędzi. Ma to o tyle istotne znaczenie, że są to narzędzia niezbyt popularne i nieczęsto stosowane. Jest to, więc rozdział w pełni odtwórczy i wnosi do pracy tylko dodatkowe informacje.

**Rozdział 3** został niezbyt fortunnie nazwany „Założenia i przebieg badań eksperymentalnych” pomimo, że przedstawiono w nim materiał podlegający obróbce w badaniach oraz aparaturę badawczą. Opisano również szczegółowo plany badawcze, które są od dawna znane. Nazywano je wtedy eksperymentem planowanym. Mimo drobnych zmian w ostatnich wersjach można było się tylko powołać na nie, nie opisując ich tak szczegółowo. Można też było uniknąć takich truizmów jak na stronie 44 to, że w każdym badaniu wyróżnia się trzy etapy eksperymentu: zaplanowanie, realizacja i opracowanie wyników.

**Rozdział 4** poświęcony został opisowi badań wstępnych, które przeprowadzono na powierzchniach płaskich. W pierwszym kroku poddano pomiarom geometrię pilników. Wyniki podano na rysunku 4.3 w nieprawidłowy sposób. Praktycznie nie wiadomo, która odchyłka jest odchyłką kąta, a która prostoliniowości. Gdzie na rysunku są opisane niżej parametry  $h_z$  i  $h_w$ . Przy ustalaniu zakresu parametrów obróbki wymienione zostały kryteria doboru prędkości posuwu (5 kryteriów) i szerokości skrawania (7 kryteriów). Większość z nich nie została uzasadniona. Na przykład ustalono prędkość posuwu z uwzględnieniem sztywności multiplikatora. Jak to należy rozumieć i jak można ją wyznaczyć? Poniżej, dla szerokości skrawania ustalono górny poziom, przy którym nie występują zakłócenia sztywności układu OUPN. Też brak jest jakichkolwiek wyjaśnień. W tabeli 4.3 podano „Chropowatość badanych powierzchni..”. Chropowatość to pojęcie ogólne, tu natomiast powinien wystąpić jakiś parametr chropowatości. Są wyniki, ale nie wiadomo, co przedstawiają i w jakich warunkach zostały uzyskane.

Praktycznie z przeprowadzonych badań wynika, że geometria ostrza pilników i kierunek obróbki praktycznie nie wpływają na, jak tu podano, na wybrany parametr struktury geometrycznej, tylko nie wiadomo jaki. Wydaje się, że mając do dyspozycji tak zautomatyzowane przyrządy do pomiarów stanu powierzchni można było przeprowadzić znacznie szerszą analizę przy użyciu szeregu innych parametrów.

**Rozdział 5** poświęcony został opisowi badań przeprowadzonych na powierzchniach płaskich. W przyjętych założeniach zdecydowano, że wpływ na proces obróbki (raczej na pewne parametry tego procesu) mają trzy wielkości tj. prędkość obrotowa narzędzia, prędkość posuwu i szerokość skrawania. Na stronie 67 stwierdzono, że szerokość skrawania nie wpływa na chropowatość powierzchni (tu też należało wskazać na wybrany parametr chropowatości) i jednocześnie poniżej stwierdzono, że ten parametr wywiera wpływ na proces obróbki. Na rysunkach 5.4 5.5 i 5.6 przedstawiono analizę wpływu prędkości obrotowej, posuwu i szerokości skrawania na parametr  $Ra$  stwierdzając jednocześnie, że wraz ze wzrostem posuwu pogorszeniu ulega jakość powierzchni i że prędkość obrotowa również wpływa, na jakość powierzchni. To są stwierdzenia z podstaw obróbki skrawaniem. Wiadomo o takich wpływach i niepotrzebne są w tym zakresie jakiegokolwiek badania. Również w tabeli 5.6 brak jest w opisie jaki parametr chropowatości przedstawiono. Trochę niezrozumiałe wydaje się stwierdzenie przedstawione na stronie 84, gdzie napisano, że na bazie modelu trójpoziomowego niemożliwe jest znalezienie optymalnych parametrów procesu. To powinno być określone na etapie wstępnym pracy i niewłączanie go do zasadniczej części badań. W rezultacie można stwierdzić, że żaden plan badań nie dał w pełni pozytywnych rezultatów i trzeba było posłużyć się prostymi wynikami pomiaru parametrów  $Ra$  i  $Rz$ . Dla lepszego zobrazowania wyników badań można tu było przedstawić uzyskane wyniki w postaci wykresów przestrzennych, dostępnych przecież choćby w Microsoft Excel.

**Rozdział 6** jest rozdziałem poświęconym zasadniczemu zagadnieniu pracy, jakim było określenie efektywności obróbki powierzchni śrubowych. Przeprowadzone badania tylko w pewnej części oparto na badaniach wstępnych, dlatego też w zasadzie przeprowadzono cztery próby połączone z pomiarami profilu 2D i parametrów SGP. Zauważa się dość pobieżną interpretację uzyskanych wyników. W rezultacie ocena wykonania zarysu została przedstawiona tylko na dwóch rysunkach 6.22 i 6.23 bez statystyki błędów pomiarów

W podsumowaniu za najważniejszy wniosek można uznać określenie optymalnych warunków obróbki powierzchni śrubowych przy pomocy pilników obrotowych, przyjmując jako kryterium parametr  $Ra$  na poziomie  $0,3 \mu\text{m}$ . Ważnym jest

sformułowanie obszarów, które wymagają dalszych badań, tak aby w pełni wykorzystać uzyskane wyniki w praktyce przemysłowej

### 3. Uwagi dodatkowe

W trakcie recenzowania pracy nasunęły się następujące uwagi o mniejszym znaczeniu dla całości pracy:

- zbyt rozbudowane badania wstępne w porównaniu do zasadniczej części pracy,
- brak wniosków z badań trwałości narzędzi,
- brak, choćby pobieżnego, porównania procesu szlifowania ze skrawania pilnikami obrotowymi, jako obróbki alternatywnej.

Zauważone drobne błędy sformułowań czy oznaczeń, numeracji załączników i niekiedy niedostatecznych wyjaśnień, które jako mniej istotne wskazałem Doktorantowi w egzemplarzu pracy.

### 4. Wniosek końcowy

Recenzowana praca należy do prac o dużym znaczeniu dla rozwoju wiedzy o technologii wykonywania powierzchni śrubowych. Doktorant w swojej pracy na zadowalającym poziomie merytorycznym i edytorskim przedstawił rozwiązanie zagadnienia, które może mieć szerokie zastosowanie praktyczne.

Na podstawie analizy przedstawionej pracy doktorskiej mogę stwierdzić, że mgr inż. Dawid Wydrzyński wykazał się umiejętnością rozwiązywania postawionych przed nim zadań naukowych. W trakcie realizacji pracy doktorskiej wykazał, że opanował trudne zagadnienia związane z analizą geometrii złożonych powierzchni śrubowych, umiejętnością tworzenia oprogramowania wspomagającego i prowadzenia badań eksperymentalnych.

**Uważam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska jest oryginalnym osiągnięciem Doktoranta, odpowiada wymaganiom stawianym w ustawie o tytule naukowym i stopniach naukowych i może być dopuszczona do publicznej obrony.**

Łódź 2016-02-07

