

Dr hab. inż. Piotr Boral, prof. PCz
Katedra Technologii i Automatykacji
Wydz. Inżynierii Mechanicznej i Informatyki
Politechnika Częstochowska

Częstochowa, dn.12.09.2022

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Artura Belzo nt.:**

„Wpływ programowego profilowania ściernicy krążkowej na dokładność zarysu zwoju ślimaka walcowego”

wykonanej pod kierunkiem dra hab. inż. Leszka Skoczylasa, prof. PRz

Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa

Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukaszewicza

1. Charakterystyka pracy

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera 178 stron i składa się z 6 zasadniczych rozdziałów oraz wstępu, spisu treści, wykazu ważniejszych oznaczeń, bibliografii obejmującej 349 pozycji, złączników oraz streszczeń w języku polskim i angielskim.

W rozdziale zatytułowanym „Wstęp” Autor przedstawił wprowadzenie do tematyki rozprawy. Charakteryzuje w nim wpływ kształtu zwoju na właściwości eksploatacyjne przekładni ślimakowych. Zwraca uwagę na problematykę wykonania zarysu wklęsłego ślimaka narzędziem w postaci ściernicy krążkowej, a następnie wskazuje przedmiot zrealizowanych badań.

W rozdziale pierwszym Autor dokonał przeglądu literatury, przedstawiając aktualny stan zagadnienia w oparciu o wyniki prac różnych badaczy. Na początku rozdziału scharakteryzował parametry powierzchni uzwojenia ślimaków walcowych oraz ich klasyfikację ze względu na zarys znamionowy powierzchni śrubowej oraz na zarys narzędzia. W kolejnym podrozdziale omówił materiały i ich własności stosowane do wytwarzania ślimaków. Przedstawił metody obróbki uzwojenia ślimaków oraz wpływ kształtu narzędzia na obrabiany kształt zarysu. W podrozdziale 1.3 Autor opisał zagadnienia związane z kształtowaniem powierzchni śrubowych metodami przede wszystkim obwiedniowymi. Przedstawił również możliwość kształtowania jej metodą punktową poprzez toczenie i frezowanie. Dokonał szczegółowego przeglądu publikacji związanych z tematyką modyfikacji kształtu współpracujących elementów przekładni

ślimakowej, gdzie przedstawione były modele matematyczne powierzchni śrubowych uzwojenia ślimaka oraz jego zazębienia ze ślimacznicą. Zwrócił uwagę również na publikacje dotyczące metod komputerowego projektowania i generowania powierzchni stykowych, umożliwiających symulację i analizę zazębienia oraz kontaktu zwoju ślimaka ze ślimacznicą. Zreferował aktualny stan wiedzy z zakresu szlifowania powierzchni śrubowych ściernicami krążkowymi. W kolejnym podrozdziale zajął się problematyką związaną z procesem szlifowania ściernicami tarczowymi, a w szczególności procesem profilowania i ostrzenia ściernic. Opisał obciążacze diamentowe i oprzyrządowanie do kształtowego obciążania ściernic oraz parametry technologiczne procesu obciążania i ich wpływ na właściwości użytkowe i topografię czynnej powierzchni ściernicy. W końcowej części rozdziału Autor przedstawił proces przygotowania badania eksperymentalnego w celu określenia optymalnych warunków procesu szlifowania.

W rozdziale drugim zdefiniowano cel główny pracy oraz wymieniono szczegółowo zagadnienia obejmujące zakres rozprawy doktorskiej.

W rozdziale trzecim Autor opisał przebieg badań i obrabiane ślimaki oraz stanowiska badawcze wyposażone w autorskie oprzyrządowanie. Jako stanowisko badawcze wykorzystał uniwersalną tokarkę CNC z głowicą reworwerową, skonstruowany i wykonany przyrząd do szlifowania powierzchni śrubowych zamocowany w głowicy reworwerowej oraz autorski przyrząd do obciążania ściernic. Doktorant jest współautorem patentu, na podstawie którego wykonany został przyrząd do szlifowania powierzchni śrubowych. W ostatnim podrozdziale opisana została aparatura pomiarowa wykorzystana w przeprowadzonych badaniach.

W rozdziale czwartym Autor przedstawił model matematyczny czynnego zarysu ściernicy krążkowej do kształtowania powierzchni śrubowej ślimaka. Na podstawie aplikacji wykorzystującej przedstawiony wcześniej aparat matematyczny, określił współrzędne zarysu ściernicy, zastosowane do programu sterującego do obciążania ściernic. Autor przedstawił analizę odchyłek wynikającą z zastąpienia krzywizny zarysu odcinkami linii prostych wyznaczonego zarysu ściernicy oraz weryfikację modelu matematycznego z modelem CAD otrzymanym poprzez modelowanie przestrzenne i wykorzystanie operacji Boole'a.

Kolejny rozdział „Badania wstępne i przygotowawcze” Autor przedstawił obróbkę zgrubną uzwojenia ślimaków, sposób precyzyjnego ustawienia przyrządu do szlifowania powierzchni śrubowych oraz bazowanie obciążaczy. Celem badań wstępnych był dobór parametrów procesu szlifowania wpływających na chropowatość powierzchni.

W rozdziale szóstym Autor opisał zagadnienia związane z kształtowaniem ściernic oraz ocenił dokładność wykonania ich zarysu. Następnie przedstawił proces szlifowania uzwojenia ślimaków na tokarce CNC z zastosowaniem przyrządu autorskiego i dokonał oceny dokładności zarysów zwojów obrabianych ślimaków oraz określił wysokości nierówności powierzchni po obróbce. Badania przeprowadził dla trzech zarysów zwojów ślimaków: Archimedesesa oraz dwóch zarysów kołowo-wklęsłych o promieniach $R_1=30\text{mm}$ i $R_2=50\text{mm}$. Każdy z zarysów ślimaka został obrobiony dwoma ściernicami o średnicy 150mm i 200mm. W wyniku badań Autor słusznie zauważył, że kształt powierzchni śrubowej, jej zarys w wybranym przekroju zależy nie tylko od kształtu zarysu narzędzia i położenia jego osi względem osi ślimaka, ale również od jego średnicy. Należy podkreślić, że wyznaczony zarys powierzchni czynnej ściernicy, jej odpowiednie profilowanie oraz bazowanie przyrządu tokarskiego w pozycji szlifowania pozwoliło na uzyskanie zarysów uzwojenia w klasach dokładności od czwartej do szóstej. Jest to wynik bardzo dobry biorąc pod uwagę zastosowany układ technologiczny.

W podsumowaniu rozprawy Autor wskazał swoje zasadnicze osiągnięcia oraz zaproponował dalsze badania dokładności obróbki innych zarysów uzwojeń ślimaków, jak również prace nad rozwojem konstrukcji oprzyrządowania do szlifowania powierzchni śrubowych.

2. Ocena pracy

Tematyka rozprawy doktorskiej obejmuje zagadnienia związane ze szlifowaniem powierzchni śrubowych zdefiniowanych znamionowym zarysem uzwojenia ślimaka, zwłaszcza o zarysach kołowo-wklęsłych ściernicami krążkowymi z wykorzystaniem tokarki CNC i autorskiego oprzyrządowania. Zarys narzędzia krążkowego musi być taki, aby tworzona powierzchnia jako obwiednia, była zgodna ze zdefiniowanym zarysem kołowo-łukowym ślimaka. Obróbka powierzchni śrubowej tego typu ślimaków jest bardzo trudna, gdyż zarys narzędzia nie jest łukiem okręgu, a ponadto zależy od średnicy narzędzia i położenia jego osi. W celu rozwiązania tego złożonego zagadnienia Autor opracowała model matematyczny, przeprowadził badania weryfikujące i dokonał analizy dokładności zarysu obrobionych powierzchni śrubowych.

Wybór tak określonej tematyki badawczej, jako przedmiotu rozprawy doktorskiej, w kontekście literatury cytowanej przez Autora, uważam za w pełni uzasadniony, a ponadto stwierdzam, że Autor swoją rozprawą zrealizował w pełni sformułowane w pracy cele.

Opracowana została nowa metoda szlifowania ściernicami krążkowymi powierzchni zwojów ślimaka na uniwersalnej tokarce CNC z wykorzystaniem skonstruowanego oprzyrządowania, która może posłużyć do szlifowania ślimaków o dowolnym zarysie.

Zaprojektowanie i wykonanie przyrządu do szlifowania zwojów ślimaka na tokarce CNC wg współautorskiego patentu oraz skonstruowanie i wykonanie przyrządu do kształtowania ściernicy na obrabiarkę CNC jest potwierdzeniem umiejętności naukowych i umiejętności projektowania posiadanych przez Autora.

Zakres przeprowadzonych badań oraz uzyskane wyniki scharakteryzowano w punkcie pierwszym niniejszej recenzji, gdzie wyszczególniono działania podjęte przez Autora w ramach realizowanego zakresu rozprawy oraz wyeksponowano najważniejsze osiągnięcia uzyskane w wyniku realizacji podjętych zadań, zarówno w aspekcie badań eksperymentalnych, jak i konstrukcji.

Analizując zawartość ocenianej rozprawy doktorskiej można stwierdzić, że postawione i zrealizowane w niej zadania mają znaczenie zarówno poznawcze, jak i praktyczne dla przemysłowych zastosowań, a zamieszczone w pracy wyniki badań potwierdzają prawidłowość sformułowanych wniosków, co stanowi dobrą bazę do dalszych badań.

Oceniając formę pracy chciałbym stwierdzić, że jest ona napisana bardzo starannie i przejrzyście. Zawiera wiele ilustracji graficznych, w tym wykresów, które ułatwiają właściwą interpretację przedstawianych wyników. Można zauważyć także pewne usterki, z których najbardziej istotne lub przykładowe wyszczególniłem w formie uwag w dalszej części niniejszej recenzji.

Uwagi ogólne:

- Podczas procesu szlifowania powierzchni śrubowej o stałym skoku, ściernica wykonuje ruch śrubowy względem powierzchni obrabianej, nie zmieniają się parametry ruchu śrubowego. Dlaczego w kodzie programu do szlifowania ślimaków ruch jednego przejścia ściernicy podzielono na kilka etapów, chociaż możliwe jest zaprogramowanie tego w jednym bloku?
- Do badań zasadniczych były wykorzystane ślimaki z wstępnie uformowanymi zwojami o założonych zarysach poprzez toczenie na tokarce sterowanej numerycznej, a następnie poddane obróbce cieplnej hartowania i odpuszczania. Obróbka cieplna powoduje znaczne odkształcenia. Z badań zasadniczych wynika, że wielkość usuwanego naddatku wynosi tylko 0,02 mm.

- W pracy przedstawiono schematy pomiaru zarysu uzwojenia ślimaka Archimedesza szlifowanego ściernicą $\phi 150$ mm oraz ściernicą $\phi 200$, nie opisano ani nie przedstawiono schematu pomiarów zarysów uzwojeń ślimaków o zarysie kołowo-wklęsłym.
- W badaniach zasadniczych Autor dokonał pomiaru odchyłki kształtu zarysu powierzchni szlifowanych na tokarce CNC ze specjalnym oprzyrządowaniem. Zaprezentował szereg wyników amplitudowych chropowatości powierzchni, nie przedstawił analizy wolumetrycznej parametrów funkcyjnych powierzchni.

Uwagi szczegółowe

- str. 22 – występuje opis: „Frezowanie punktowe przy użyciu frezów palcowych zostało omówione w opracowaniach [7–11, 19, 41–43, 207, 208, 241, 304]. Metodą frezowania punktowego najczęściej wykonuje się ślimaki o nietypowym uzwojeniu, np. ślimaki stożkowe o zmiennym skoku zwoju, stosowane w układach uplastyczniających wytłaczarek. Temu zagadnieniu poświęcone są publikacje [43, 204, 207, 278]”. Sugeruję, że publikacje [43, 207, 278] dotyczą obróbki ślimaków stożkowych obrabianych frezem palcowym stożkowym, ale nie metodą frezowania punktowego,
- str. 75 – opis w rysunku w języku angielskim: *Rys. 4.4. Teoretyczna odchyłka zarysu – a), interpolacja liniowa G1 – b).*

Zauważone usterki (błędy edytorskie) to:

- str. 14, w10 – jest **sosowana** powinno być **stosowana**;
- str. 21, w16 – jest **kształtowaniu** powinno być **kształtowania**;
- str. 24, w16 – jest **pozawala** powinno być **pozwala**;
- str. 33, w25 – jest **nieszlifowanie** powinno być **nieszlifowane**;
- str. 33, w26 – jest **szlifowanie** powinno być **szlifowane**;
- str. 37, w7 – jest **wstanie** powinno być **w stanie**;
- str. 40, w16 – jest **pora** powinno być **poza**;
- str. 55, w13 – jest **togo** powinno być **tego**.

Mimo tego typu uchybień pracę należy jednak uznać za wykonaną z dużą starannością, co w kontekście realizowanej tematyki ma zasadnicze znaczenie.

3. Wniosek końcowy

Podsumowując recenzję stwierdzam, że mgr inż. Artur Bełzo zdefiniował, a następnie rozwiązał istotny i aktualny problem naukowy dotyczący obróbki wykańczającej ślimaków o zadanym zarysie. W mojej opinii Autor w sposób znaczący przyczynił się do poszerzenia wiedzy w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna, a przede wszystkim w temacie szlifowania powierzchni śrubowych o kołowo-wklęsłym zarysie, co przyczyni się do rozwoju konstrukcji i technologii przekładni ślimakowych. Świadczy to o wysokim poziomie naukowym Doktoranta i jednocześnie potwierdza jego gotowość do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W świetle dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że rozprawa mgr. inż. Artura Bełzo nt. „Wpływ programowego profilowania ściernicy krążkowej na dokładność zarysu zwoju ślimaka walcowego” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą w tym względzie aktualną ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (z dnia 20 lipca 2018r. „Prawo o szkolnictwie wyższym”) i stanowić podstawę do nadania jej Autorowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Może być zatem dopuszczona do publicznej obrony.

