

Recenzja
rozprawy doktorskiej
pt.: "Badanie procesu wygładzania powierzchni
z zastosowaniem elastycznych jednowarstwowych dysków ściernych".
Autor rozprawy: mgr inż. Jan Baran

Podstawa opracowania: pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej z dnia 29 kwietnia 2016 r. (L.dz. PK/WM/Dz/6/303/2016), do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

Tekst rozprawy zapisany jest na 120 stronach i podzielony na 9 rozdziałów, plus wykaz ważniejszych (wybranych) oznaczeń - bez jednostek, krótkie streszczenie w języku angielskim i trzy załączniki - rys.113-127 (s.122-136). W wstępie (s.6-7) omówiono pokrótce cel podjęcia badań własnych oraz zawartość rozprawy.

Podjęty w rozprawie problem należy uznać za ważny z technologicznego i innowacyjnego (konstrukcyjnego) punktu widzenia. Obecnie, jednowarstwowe obrotowe narzędzia ścierne mają stosunkowo szerokie zastosowanie w operacjach wygładzania powierzchni płaskich i krzywoliniowych, w elementach konstrukcyjnych wykonanych zarówno ze stali, jak i różnych metali i ich stopów. Szczególnie często wykorzystywane są do tego celu elastyczne tarcze ścierne firmy 3M, zwane dyskami. Zbudowane są one zarówno z ziaren ściernych konwencjonalnych, jak i otrzymywane przez replikację lub też z aglomeratów ściernych. Dobór ich elastyczności zależy głównie od wymiarów obrabianych elementów i intensywności zmienności krzywizn powierzchni wklęsłych lub wypukłych. W przypadku dużych wymiarów, korzystne jest zastosowanie głowic wielowrzecionowych. Wymaga to zastosowania podwyższonych prędkości obrotowych wrzecion i regulacji docisku do przedmiotu. W przypadku występowania niezależnego napędu wrzecion narzędziowych możliwe jest ich wykorzystanie na obrabiarkach konwencjonalnych i robotach technologicznych.

Aktualność podjętej tematyki wynika z rozdziału 2 (s.8-33), w którym przedstawiono przegląd dostępnej dla Autora literatury. Omówienie opublikowanych, wcześniejszych prac świadczy o dobrej wiedzy Autora na temat konstrukcji głowic do wygładzania powierzchni o zmiennej krzywiznie, charakterystyce dostępnych narzędzi i wynikach eksperymentów innych badaczy. Cały podrozdział 2.1 (s.8-12) poświęcony jest opracowanej głowicy i badaniom

przeprowadzonym przez Zespół z Politechniki Warszawskiej, a więc wielokrotne cytowanie prac [20,69,70,76,85,80,93] (s.9 i 10) wydaje się zbędne. Uwaga dotyczy również stron 13-19, 21 i 31. Szczególnie dużo uwagi poświęcono charakterystyce narzędzi firmy 3M i danym katalogowym. Zacytowano też wyniki modelowania mikroskrawania, wykonanego przez Zespół prof. W. Kacalaka z Politechniki Koszalińskiej oraz wyniki eksperymentów Chena, Kuriyagawy i innych badaczy. Przegląd literatury kończą wnioski do pracy własnej, dotyczące głównie konstrukcji głowicy do wygładzania i doboru elastycznych jednowarstwowych narzędzi ściernych.

W rozdziale 3 (s.34 i 35) podano ogólną hipotezę, cel główny i zakres rozprawy. Podstawowym celem pracy własnej było opracowanie konstrukcji innowacyjnej głowicy szlifiersko-polerskiej z wysokoobrotowymi wrzecionami o napędzie pneumatycznym, określenie jej cech użytkowych, z uwzględnieniem doboru narzędzi i podstawowych warunków wygładzania wybranych materiałów metalowych. Zakres rozprawy obejmował więc, oprócz prac projektowych i wykonania prototypu głowicy, wyznaczenie charakterystyki technicznej napędu i występującego poziomu hałasu, ustalenie właściwego pochylenia wrzeciona względem powierzchni obrabianej oraz określenie pola powierzchni styku narzędzia z przedmiotem, w zależności od występującej krzywizny. Zakres pracy obejmował też ocenę wpływu prędkości posuwu na zmianę wybranych parametrów chropowatości kształtowanej powierzchni i analizę zużycia narzędzi w funkcji czasu wygładzania.

Rozdział 4 (s.36-41) i 5 (s.42-63) to ważne fragmenty rozprawy dotyczące budowy głowicy szlifiersko-polerskiej i wyznaczenia jej warunków użytkowych. Początek podrozdziału 4.1 należałoby zamieścić w przeglądzie literatury. Nie znalazłem także informacji, czy wersja I głowicy i kolejny prototyp zgłoszono do opatentowania. Opis konstrukcji nie budzi wątpliwości, z wyjątkiem kilku powtórzeń w tekście i na rysunkach. W analizach symulacyjnych wykorzystano program ANSYS. Analizowano trzy rodzaje geometrii łopatek zastosowanej turbinki pneumatycznej (R_{∞} , $R=10$ i $R=31,6$ mm). Wyznaczono wartości siły wypadkowej działającej na łopatkę, przy czterech wartościach ciśnienia powietrza (z sieci ogólnej, w zakresie 0,5-0,8 MPa). Błędnie podano, na s.49, że ze wzoru (18) wyznaczano wartości momentu obrotowego. W badaniach założono, iż zmienia się jedynie liczba i zarys łopatek. Do wyznaczenia rzeczywistych prędkości obrotowych turbin wykorzystano kamerę o wysokiej rozdzielczości, mogącą rejestrować 2 tys. klatek na sekundę, przy wprowadzeniu dodatkowego oświetlenia zewnętrznego o wysokiej jasności. Proces rejestracji i analizę prędkości obrotowej wrzeciona podczas wygładzania powierzchni prowadzono za pomocą zintegrowanego systemu akwizycji obrazu. Wyznaczono zależność wartości mocy i

momentu obrotowego od prędkości obrotowej wrzeciona oraz mocy i prędkości obrotowej od ciśnienia roboczego dla badanych zarysów łopatek. Nasuwa się pytanie, jak wybrano turbinę o najlepszej charakterystyce technicznej - jak to stwierdzono na s.52, nie komentując bliżej podanych tu wyników badań i analiz. Do badań hałasu podczas pracy głowicy wykorzystano przenośny cyfrowy analizator dźwięku SVAN 912 AE. Przeprowadzone pomiary wykazały przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu na stanowisku badawczym (do wartości 112 dB). Zmusza to operatora do zastosowania dodatkowych zabezpieczeń w tym zakresie. Stosując siłomierz KISTLERA wyznaczono obciążenie przedmiotu przez wrzeciono narzędziowe, zaś zmieniając kąt odchylenia wrzeciona γ od pionu w zakresie od 5 do 15° badano wartość parametru Ra chropowatości gładzonej powierzchni płaskiej. Najlepsze wyniki uzyskano dla $\gamma = 10$ i 15° ($Ra=0,20 \mu m$). Na s.63 autor podaje, że pochylenie γ ma wpływ na zużycie narzędzia. Na jakiej podstawie oparte jest to stwierdzenie?

Rozdziały 6 (s.64-74) i 7 (s.75-110) zawierają omówienie przeprowadzonych badań doświadczalnych. W badaniach rozpoznawczych (rozd. 6) analizowano podstawowe parametry chropowatości powierzchni gładzonych stali: węglowej C45, narzędziowej NC6 (przed i po obróbce cieplnej), stali nierdzewnej 304 (OH18N9) oraz brązu, bez podania jego gatunku. Zachowywano stały nacisk $0,1 \text{ N/mm}^2$, prędkość skrawania 72 m/s i prędkość posuwową 1120 mm/min, pochylenie $\gamma = 10^\circ$ oraz liczbę przejść 20. Wykorzystano dyski ściernie z ziarnami Cubitron II™ 984 F P36+, z aglomeratami Al_2O_3 oraz włókninę ścierną AMED™. Nie podano na jakiej podstawie przyjęto wartości warunków obróbki, szczególnie tak dużą prędkość posuwową. Zapewne jest to pomyłka w zapisie. Badania przeprowadzono na konwencjonalnej frezarce pionowej FYF-32J przy użyciu opracowanej głowicy, wygładzając powierzchnie płaskie. Obserwowano je na skaningowym mikroskopie elektronowym, będącym na wyposażeniu Centrum Niekonwencjonalnych Technologii Hydrostrumieniowych Politechniki Koszalińskiej. Dodatkowo wykorzystano laserową mikroskopię konfokalną (LEXT OLS4000 firmy OLYMPUS) oraz mikroskop metalograficzny odwrócony MET-INVERT, który sprzężono z kamerą cyfrową, umożliwiając rejestrację zdjęć struktury powierzchni. Próbkę przed badaniami szlifowano czołowo ściernicą segmentową, uzyskując $Ra=1,26 \mu m$. Nie podano rozrzutu wartości badanych parametrów chropowatości powierzchni przed i po wygładzeniu oraz jaka była liczność poszczególnych pomiarów i ewentualnych powtórzeń eksperymentów. W wyniku badań rozpoznawczych, do doświadczeń zasadniczych wybrano dyski z aglomeratami Al_2O_3 (Trizact™). W załącznikach do rozprawy zamieszczono szczegółowe wyniki prób obrobionych powierzchni płaskich, zrealizowane w badaniach rozpoznawczych. Badania

zasadnicze wykonano na powierzchniach o zmiennej krzywiznie (rozdz. 7). Wygładzano powierzchnie o zarysie wklęsłym i wypukłym z zastosowaniem jednowarstwowych dysków ściernych produkcji firmy 3M o wielkości agregatów A6, A16, A30, A45, A65, A100 i A160. Wykorzystując metodę profilografowania oraz mikroskop z komputerową rejestracją obrazu wyznaczono zmienność zagęszczenia agregatów. W dyskach od A6 do A65 występuje 20 agregatów, zaś przy nasypie A100 i A160 -15 agregatów na długości 10 mm. Określono też wymiary tych ostrosłupów. Próby w czasie 5, 10 i 15 min wykonano stosując parametry jak w badaniach rozpoznawczych, jednak przy $\gamma = 15^\circ$ i trzech wartościach prędkości posuwu stołu frezarki (90, 112 i 140 mm/min). Promień krzywizny powierzchni wklęsłej i wypukłej próbek ze stali 304, wykonanych na 3-osiowym centrum frezarskim VF-2 firmy HAAS, wynosił 338 mm. Powierzchnia wklęsła po frezowaniu charakteryzowała się parametrem $Ra=5,38 \mu\text{m}$ i $Sa=13,4 \mu\text{m}$, zaś wypukła - $Ra=6,49 \mu\text{m}$ i $Sa=12,7 \mu\text{m}$. W rozdziale 7 (w podrozdz. 7.3) wyznaczono również wymaganą liczbę miejsc pomiarów chropowatości powierzchni. Tego typu analizę można było rozszerzyć i zamieścić w badaniach rozpoznawczych. Po obróbce wstępnej, narzędziami z aglomeratami A100, powierzchnie wygładzano narzędziami z nasypem A6. Czas każdego szlifowania to 10 min. Wartości średnie Ra i Sa z pięciu pomiarów zobrazowano na wykresach słupkowych (rys.95 i 96), zaś otrzymane różnice skomentowano w oparciu o wyniki obliczeń pól powierzchni styku narzędzia z obrabianym przedmiotem wklęsłym i wypukłym. Ważnymi są też otrzymane wyniki badań wpływu prędkości posuwu na parametry kształtowanej struktury geometrycznej powierzchni. Dla ułatwienia analizy można było zestawić je na jednym lub dwóch wykresach, a nie oddzielnie - na wykresach słupkowych (rys.98-102). Nie podano jaki był cel tych badań, czy tylko jako rozpoznawcze? W dalszej części przeprowadzono przecież eksperyment planowany, z planem statycznym, rotabilnym na 5-ciu poziomach wartości prędkości posuwu i czasu obróbki. Nie podano na jakiej podstawie przyjęto postać funkcji regresji (29) i (30), zaś wzór (28) nie jest poszukiwanym modelem matematycznym. Można zadać też pytanie, czy wydłużanie czasu wygładzania, np. ponad 6 min, a właściwie liczby przejść, ma istotny wpływ na wartość parametru Ra (rys.106)? Interesującą z poznawczego punktu widzenia jest też rejestracja strefy skrawania przy pomocy zastosowanej kamery. Badania te można kontynuować, podobnie jak ocenę stanu powierzchni narzędzi w czasie, a więc mechanizm skrawania materiałów i zużycie agregatów.

W rozdziale 8 (s.11-113) dokonano podsumowania rozprawy oraz sformułowano końcowe wnioski poznawcze i użyteczne. Cenne są też wytyczne do dalszych prac, które z uwagi na proponowany obszerny zasięg sugerują, iż Doktorant chciałby tę tematykę kontynuować - co

będzie moim zdaniem korzystne, nie tylko z naukowego, ale i wdrożeniowego punktu widzenia.

Rozdział 9 (s.114-120) to wykaz wykorzystywanej w pracy własnej i cytowanej w rozprawie literatury - 98 pozycji, w tym 10, co warto podkreślenia, współautorstwa Doktoranta. Szkoda, że nie zachowano jednolitej formy zapisu poszczególnych pozycji, pomijając często strony i numery cytowanych czasopism, czy wydawcę monografii i książek oraz datę dostępu do materiałów internetowych.

W tekście rozprawy zauważyłem też pewne uchybienia - niektóre dyskusyjne, a także usterki redakcyjne i inne. Zaznaczyłem je na wydruku otrzymanym do recenzji. Poniżej zamieszczam niektóre z nich:

- s.4 w.8g, Hz - to oznaczenie jednostki
- s.4 w.2-7d, brak: chropowatości
- s.5 w.1g, j.w.
- s.10 w.9g, powinno być: p
- s.10 tab.1, co oznacza : T_1 , T_2 i T_3
- s.11 tab.2, j.w.
- s.12 tab.3, j.w.
- s.11 i 12 rys.2-4, opis w ramce mało czytelny
- s.11, podpis rys.2 i 3, powinno być: chropowatości powierzchni
- s.11 rys.2, powinno być: p, kPa
- s.13 w.8d, co oznacza: o elastycznych kształtach
- s.14 w.5g, co oznacza: o elastycznych promieniach
- s.15, rys.8, opis w języku angielskim
- s.15, podpis rys.8, lepiej: obrabiarce
- s.16, błędny podpis rys.10
- s.16 rys.10, powinno być: diamentowego
- s.16 w.12d, o jaką zależność chodzi?
- s.17 w.1g, błędne: wartością kątem
- s.19 podpis rys.16, lepiej: 2-miejsce
- s.19 podpis rys.16, co oznacza: 3-wektor normalny
- s.22 w.10d, co oznacza: ... wielu sferycznie ułożonych ...
- s.25 w.2g, lepiej: spawanych
- s.28 rys.23 i 24, co oznacza: liczba zabiegów
- s.29 w.6 i 7d, przy jakich wartościach nacisku?

s.30 w.5 i 6 g, co oznacza: ... mini frezowania ...

s.30 w.7g, styl: ... przyrost czasu ...

s.30 podpis rys.27, powinno być: ubytek objętościowy

s.32 rys.29, mało czytelny

s.32 w.2d, lepiej: Autorzy [39]

s.40 w.13g, powinno być: się

s.42 tytuł podrozdz.5.1, lepiej: ... do napędu wrzecion ...

s.53-55, dlaczego podano w tab.6-8 czas w ms i s

s.55 w.3d, powinno być: w zakresie 62-72 m/s

s.56 w.11g, powinno być: Na rys.57 ...

s.58 w.12g, powinno być: ... oraz nacisku ...

s.59 w.1d, tab.9 i dalej w rozprawie, występuje określenie: siły nacisku?

s.60 w.5g, przecinki zbędne

s.60 w.10d, powinno być: (produkcji JAFO)

s.64 w.11d, j.w.

s.65 w.3d, powtórzenia ze s.64

s.66 rys.68, brak oznaczeń 7 i 8

s.66 w.4d, lepiej: zamocowany

s.69 tab.10 - wiersz 1, jest dwa razy F_z

s.70 w.7d, powinno być: (tab.11)

s.71 tab.11, powinno być: Laserowy mikroskop konfokalny

s.75 w.16d, powinno być: (produkcji JAFO)

s.78 w.3 i 4, kolejne powtórzenie: ... ok.25

s.83 w.1d, powinno być: kształtującej

s.88 w.1d, lepiej: wstępnej

s.89 i 91, podpis rys 91 i 93, jest: ... obróbce zgubnej ...

s.93 podpis rys 95 i 96, zbędne: Rys.

s.93 w.1 i 2d, zdanie nie precyzyjne

s.95 w.1g, warto podać wymiary dysku

s.100 w.6 i 7g, po co taki zapis?

s.100 w.6d, powinno być: statycznym

s.101 tytuł tab.20, powinno być: ... arytmetycznego ...

s.102 w.6 i 8g, brak spacji

s.107-110, słaba czytelność wykresów

s.115, zbędne duże litery

s.117 w.9g, zbędne: itp.

Reasumując stwierdzam, że nieścisłości oraz uwagi dyskusyjne i redakcyjne jakie nasunęły mi się podczas czytania pracy nie umniejszają jej wartości merytorycznej. Autor rozwiązał postawione zadania naukowe i wykazał się wiedzą ogólną z zakresu obróbki ściernej i metod badawczych. Udowodniona została postawiona hipoteza rozprawy, osiągnięto zamierzony cel jakim było opracowanie innowacyjnej głowicy szlifiersko-polarskiej, z niezależnym napędem pneumatycznym. Wyznaczono techniczne charakterystyki głowicy, umożliwiając efektywne wygładzanie powierzchni płaskich i krzywoliniowych, zapewniając powtarzalność kształtowanej struktury geometrycznej. Autor rozprawy udowodnił, że jest dobrze przygotowany do dalszej pracy naukowej.

W moim przekonaniu, rozprawa doktorska pt.: "Badanie procesu wygładzania powierzchni z zastosowaniem elastycznych jednowarstwowych dysków ściernych", której autorem jest mgr inż. Jan Baran, spełnia wymagania ustawowe stawiane pracom kwalifikacyjnym na stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn i wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej.



/-/ Adam Barylski