

Szczecin 10.06.2018

Dr hab. inż. Mirosław Pajor prof. ZUT
Instytut Technologii Mechanicznej
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin

W P Ł Y N Ę Ł O

dnia 12.06.2018
PK/WM/Dz/7/83/2018

Recenzja pracy doktorskiej pt. "Innowacyjne metody mikroszlifowania płaszczyzn z zastosowaniem ściernic o stożkowej i hiperboloidalnej powierzchni czynnej" autorstwa mgr inż. Filipa Szafranca.

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia PK/WM/Dz/7/83/2018 Pana Dziekana Wydziału Mechanicznego, Politechniki Koszalińskiej dr hab. inż. Błażeja Bałasa prof. PK z dnia 18.04.2018.

1. Przedstawienie treści pracy

Przemysł maszynowy i wytwórczy ulega bardzo szybkim przemianom, można śmiało powiedzieć, że zmiany te mają charakter rewolucyjny a analitycy nazwali ten proces czwartą rewolucją przemysłową „Przemysł 4.0”. Głównym wyznacznikiem tej rewolucji jest cyfryzacja procesów produkcji. W obszarze projektowania maszyn i procesów technologicznych bardzo intensywnie rozwija się problematyka modelowania maszyn wytwórczych, ich procesów roboczych oraz całych systemów produkcyjnych. Rozwój techniki komputerowej oraz postęp w zakresie oprogramowania do badań symulacyjnych daje konstruktorom i technologom nowe możliwości budowy coraz bardziej zaawansowanych modeli symulacyjnych z dużą dokładnością odwzorowujących modelowane zjawiska. Działania te zmierzają do budowy kompletnych modeli symulacyjnych zaawansowanych maszyn wytwórczych już na etapie projektowania i nazywane są „Wirtualną obróbką” (Virtual Machining). Opracowywane modele opisują wszystkie istotne zjawiska dynamiczne jakie zachodzą w pracującej maszynie i analizują ich wpływ na dokładność i wydajność jej pracy. Szczególnie ważne są modele realizowanych przez maszyny wytwórcze procesów roboczych. W obrabiarkach skrawających jednym z najbardziej skomplikowanych procesów roboczych, pod kątem modelowania, jest proces szlifowania. Recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się w tę

bardzo interesującą tematykę, niezmiernie ważną dla rozwoju technik symulacji zaawansowanych procesów technologicznych. Pan mgr inż. Filip Szafraniec podejmuje się realizacji badań nad problematyką nowych metod mikroszlifowania powierzchni płaskich umożliwiających uzyskanie wysokiej dokładności i efektywności procesu obróbki. W recenzowanej pracy Autor zaproponował zastosowanie kompleksowego systemu modelowania i symulacji procesów kształtowania powierzchni do badania tegoż procesu dla różnych układów kinematycznych, różnych relacji geometrycznych między nominalną powierzchnią przedmiotu, a powierzchnią działania narzędzia oraz dla różnych torów ruchu posuwowego przedmiotu.

Opiniowana praca doktorska liczy 204 strony i składa się z siedmiu rozdziałów oraz streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wykazu oznaczeń. Na końcu zamieszczono spis literatury oraz wykaz aktywności naukowej Autora rozprawy. Spis literatury zawiera zestaw 231 cytowanych pozycji literaturowych. Dobór źródeł literaturowych jest prawidłowy i nie budzi zastrzeżeń. Autor dogłębnie przeanalizował dostępne źródła i wyciągnął poprawne wnioski podsumowujące stan wiedzy. Poszczególne rozdziały rozprawy doktorskiej obejmują: wprowadzenie, analizę stanu wiedzy, cel pracy i hipotezy badawcze oraz cztery rozdziały merytoryczne zakończone podsumowaniem, wnioskami końcowymi i omówieniem perspektyw dalszych badań.

W pierwszym rozdziale rozprawy Autor definiuje problem (rozdział 1) a następnie po wnikliwej analizie stanu zagadnienia wykazuje potrzebę podjęcia badań nad problematyką nowych metod mikroszlifowania powierzchni płaskich umożliwiających uzyskanie wysokiej dokładności i efektywności procesu obróbki (rozdział 2). W rozdziale trzecim Autor przedstawia cele i zakres pracy oraz formułuje dwie hipotezy badawcze. Pierwsza z nich dotyczy możliwości ustawienia ściernicy tak aby zapewnić największą długość strefy szlifowania. Druga hipoteza dotyczy możliwości uzyskania korzystnej topografii powierzchni przedmiotów, w efekcie krzyżowania śladów obróbkowych oraz kształtowania obrabianej powierzchni przez większą liczbę ziaren ściernych w porównaniu ze szlifowaniem w typowych układach technologicznych. Przyjęty cel i zakres pracy oraz jej hipotezy nie budzą zastrzeżeń i są adekwatne do rozwiązywanych problemów naukowych.

W rozdziale czwartym Autor przedstawił kompleksowy system do symulacji procesu mikroszlifowania płaszczyzn obwodem ściernicy składający się z wielu komponentów obejmujących złożone procedury i modele. Ponadto w rozdziale przedstawiono wyniki

walidacji procedur i modeli w zestawieniu z wynikami pomiarów i badań eksperymentalnych.

W rozdziale piątym Autor opisał problemy jakie się ujawniają w procesie precyzyjnego szlifowania obwodem ściernicy warstwy o małej grubości. W badaniach modelowych zastosowano opracowany kompleksowy system do symulacji procesu mikroszlifowania. Na podstawie wyników badań symulacyjnych Autor wyciąga szereg interesujących wniosków w zakresie istniejących warunków ograniczających proces mikro i nanoszlifowania.

W kolejnym, szóstym rozdziale zaprezentowano koncepcję innowacyjnej metody mikroszlifowania powierzchni płaskich. Szczegółowo omówiono wyniki symulacji i analiz procesu mikroszlifowania płaszczyzn z zastosowaniem hiperboloidalnej powierzchni czynnej. Wyniki analizy: faz procesu kształtowania powierzchni, układu śladów obróbkowych, aktywności ziaren, prędkości usuwania nadmiaru oraz zmian topografii obrabianej powierzchni pozwoliły wykazać poprawność sformułowanych hipotez badawczych.

Rozprawę zakończono podsumowaniem (rozdział 7), w którym Autor wyciągnął wnioski z przeprowadzonych badań i ocenił poziom weryfikacji postawionych w pracy hipotez. Ponadto zaprezentowano kierunki dalszych badań proponowanych przez Autora rozprawy.

Podsumowując należy stwierdzić, że na podstawie analizy wyników badań numerycznych i doświadczalnych Autor rozwiązał postawiony problem naukowy i udowodnił hipotezy badawcze.

2. Oryginalne osiągnięcia pracy

Bardzo dużym atutem pracy doktorskiej Pana Filipa Szafrança jest innowacyjny charakter proponowanych rozwiązań oraz wysoki poziom ich aplikacyjności. Autor posiada dużą biegłość w posługiwaniu się nowoczesnymi narzędziami w zakresie komputerowego modelowania i symulacji złożonych procesów technologicznych. Autor nie stronił również od prac eksperymentalnych. W celu walidacji proponowanych rozwiązań oraz modeli symulacyjnych Autor przeprowadził szereg badań doświadczalnych wykazując przy tym wysokie umiejętności realizacji tego typu badań. Eksperyment praktyczny w przyjętym zakresie potwierdził poprawność działania opracowanych algorytmów i modeli w ramach kompleksowego systemu symulacji procesu

mikroszlifowania. Procedury badawcze opracowane dla potrzeb badań eksperymentalnych realizowanych w ramach pracy są nowoczesne i adekwatne do rozważanej problematyki. Zaplanowane zadania Autor zrealizował konsekwentnie a uzyskane rezultaty poddał stosownej analizie.

Do największych oryginalnych osiągnięć tej pracy zaliczyć można:

1. Opracowanie kompleksowego systemu do symulacji procesu szlifowania płaszczyzn.
2. Opracowanie procedury modelowania powierzchni naroży ziaren ściernych.
3. Opracowanie procedury modelowania powierzchni czynnej narzędzi ściernych z uwzględnieniem korelacji przestrzennej rozmieszczenia ich wierzchołków.
4. Opracowanie procedur modelowania cech geometrycznych powstawania wypływek.
5. Algorytmizacja procesu mikroszlifowania płaszczyzn z zastosowaniem ściernic o stożkowej i hiperboloidalnej powierzchni czynnej.
6. Realizacja teoretycznych i eksperymentalnych analiz procesu mikroszlifowania płaszczyzn z zastosowaniem ściernic o stożkowej i hiperboloidalnej powierzchni czynnej w celu doboru cech kinematycznych i geometrycznych procesu mikroszlifowania.

Bardzo wysoko oceniam oryginalność, innowacyjność i poziom naukowy wymienionych osiągnięć.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Do uwag dyskusyjnych i krytycznych zaliczyłbym:

1. W rozdziale 4.7 Autor zaprezentował probabilistyczne metody modelowania zużycia i trwałości narzędzi ściernych. Nasuwa się pytanie w jaki sposób prezentowane modele probabilistyczne połączono z modelem geometrycznym powierzchni ściernicy stosowanym w symulacjach? Czy zużycie ziaren jest na tyle intensywne, że zachodzi konieczność uwzględnienie tego zjawiska on-line w trakcie jednej symulacji? Czy też może być to uwzględnione w trybie off-line w formie modyfikacji modelu powierzchni ściernicy w kolejnych symulacjach?
2. W przedstawionym modelu symulacyjnym sił skrawania uwzględniono tylko modelowanie związków geometrycznych określających parametry przekroju warstwy skrawanej determinujących wartość siły skrawania. W badaniach eksperymentalnych

stosowane było intensywne chłodzenie. Nasuwa się pytanie, czy fakt zastosowania chłodziwa nie powinien być uwzględniony w modelu? Przy tak specyficznym procesie jak szlifowanie warstwa chłodziwa przedostaje się pomiędzy ściernicę a materiał obrabiany i może mieć wpływ na wartości sił poprzez zmiany warunków tarcia.

3. W rozdziale 4.11.2 Autor podaje, że w badaniach symulacyjnych topografii śladów skrawania tworzonych przez ziarna uwzględniono wpływ drgań. Opis analizowanych drgań jest stosunkowo lakoniczny i stwierdza, że dodano składowe harmoniczne i losowe. Z uwagi na silny wpływ drgań na proces kształtowania powierzchni nasuwa się szereg pytań. W jaki sposób ustalono owe składowe harmoniczne – czy realizowany był standardowy „tooltip” test umożliwiający zarejestrowanie funkcji przejścia FRF opisującej drgania względne ściernicy i przedmiotu obrabianego? Czy w realizowanych badaniach eksperymentalnych kontrolowano poziom drgań ściernicy i przedmiotu obrabianego? Ponadto w procesie szlifowania mogą wystąpić również drgania typu „chatter”. Czy opracowane modele symulacyjne mogą być zastosowane do predykcji tego typu niekorzystnego zjawiska?

Tekst pracy został napisany bardzo starannie, część edytorska pracy jest na najwyższym poziomie i zasługuje na bardzo wysoką ocenę. W trakcie czytania pracy wykryłem tylko kilka drobnych błędów redakcyjnych:

- Str.18 rys.2.1.5 – niekompletny opis rysunku.
- Str.42 (trzeci akapit, pierwszy podpunkt), jest „...drgań z szlifierki” winno być „...drań ze szlifierki”.
- Str.44 (pierwsze zdanie) Praca napisana jest bardzo starannym językiem a to zdanie jest truizmem, który razi w zestawieniu z pozostałym tekstem.
- Str.44, rys.2.3.15 – w opisie użyto pojęcia „rozdzielczość”, a na osi rysunku jest „dokładność”. Dokładność i rozdzielczość to różne pojęcia.
- Str.62, rys.4.2.3 – na rysunku pokazano punktu charakterystyczne LWP (brak opisu dla punktu P) na bazie, których wyznaczono proste styczne definiujące kąt wierzchołkowy oraz opisano okrąg definiujący promień ziarna – brak jest informacji według jakiej procedury przyjmowane są punkty LWP.
- Str.64 (ostatni akapit), jest „W pracy stosowano metody tworzenia modeli.... . W pierwsze wykorzystano...” winno być „W pracy stosowano dwie metody tworzenia modeli... .W pierwszej wykorzystano...”.

- Str.74 (pierwsze zdanie), jest „...kontaktu ziarna z szlifowaną powierzchnią...”, winno być „...kontaktu ziarna ze szlifowaną powierzchnią...”.
- Str.82 (pierwszy akapit, trzeci wiersz), jest „po-wierzchni”, winno być „powierzchni”.
- Str.103 (drugi akapit, opis w nawiasie), jest „licznych od...”, winno być „liczonych od...”.
- Str.103 (tytuł rozdziału 4.11) „Analiza topografii śladów skrawania tworzonych przez ziarna na czynnej powierzchni ściernicy...” sugeruje, że owe ślady są na czynnej powierzchni ściernicy. Proponuję usunąć „na” i wówczas jasne będzie, że chodzi o ślady na powierzchni obrabianej. Analogiczna sytuacja jest w rozdziale 4.11.2 w pierwszym zdaniu.

4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę powyższą ocenę treści rozprawy stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę o stopniach i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 r. (z późniejszymi zmianami) oraz Rozporządzeniu Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15 stycznia 2004 r. (z późniejszymi zmianami). Zrealizowana przez mgr. inż. Filipa Szafranca praca charakteryzuje się bardzo wysokim poziomem innowacyjności. Praca ta stanowi oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego oraz wskazuje na duży poziom wiedzy teoretycznej i praktycznej jej Autora. **Reasumując stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska może być dopuszczona do publicznej obrony.**

Z uwagi na bardzo wysoki poziom naukowy pracy, na publicznej obronie będę wnioskował o jej wyróżnienie.

