Prof. dr hab. inż. Marek Bieliński
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Katedra Technik Wytwarzania
Politechnika Bydgoska
im. J. J. Śniadeckich

Bydgoszcz 21.08.2023r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Kazimierza Rychlika
pt. „Wielokierunkowa analiza ostrza narzędzia i powierzchni kształtowanej w technologii głębokiego wiercenia", napisaną pod kierunkiem
Promotora Pana dr hab. Sławomira Kuleszy, prof. UWM

Podstawą do wykonania recenzji było pismo Pana Dziekana Wydziału Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, prof. dr hab. inż. Adama Lipińskiego z dnia 12.07.2023

Podstawowe informacje o mgr inż. Kazimierzu Rychliku

Pan mgr inż. Kazimierz Rychlik stopień magistra inżyniera uzyskał w 2010 roku na Wydziale Inżynierii Politechniki Warszawskiej za pracę „Koncepcja technologii wiercenia głębokich otworów wiertłami lufowymi z zastosowaniem zmiennych parametrów skrawania" Aktualnie jest doktorantem w Katedrze Technologii Materiałów i Maszyn Wydziału Nauk Technicznych UWM.

Dorobek naukowy

Prowadzone przez Pana mgr inż. Kazimierza Rychlika badania zaowocowały przygotowaniem **w latach 2005 – 2019,** 22 opracowań (w tym publikacji) wśród których w 9 przypadkach był Autorem a w pozostałych współautorem. Część dorobku została zaprezentowana na konferencjach (4), cztery stanowią patenty i wzory użytkowe a także projekty badawcze (2).

Informacje o ocenianej rozprawie doktorskiej i ocena jej układu

Tytuł rozprawy mgr inż. Kazimierza Rychlika „Wielokierunkowa analiza ostrza narzędzia i powierzchni kształtowanej w technologii głębokiego wiercenia". Promotorem rozprawy jest dr hab. Sławomir Kulesza, prof. UWM

Praca o objętości 165 stron zawiera, spis treści, przegląd aktualnego stanu wiedzy który zamieścił w rozdziale pt. „Analiza zagadnienia", kolejno są to cztery główne części rozprawy: „Problematyka, cel i zakres pracy", „Materiały i metody badawcze", „Analiza wyników badań" oraz „Dyskusja uzyskanych wyników i wnioski końcowe". Pozostałe części pracy to: bibliografia, streszczenie w języku polskim i angielskim. W wprowadzeniu do rozprawy, Doktorant uzasadnia podjęcie tematu badań procesu wykonywania głębokich otworów i szczególną potrzebę oceny charakteru zużycia ostrza w warunkach stosowania wiertła lufowego jednoostrzowego.

W rozdziale 1 „Analiza zagadnienia" Doktorant przedstawił charakterystykę technologii głębokiego wiercenia otworów wiertłami lufowymi, zaprezentował podział materiałów narzędziowych a także scharakteryzował procesy zużywania się narzędzi skrawających z opisem kryteriów zastosowanych do oceny tego procesu.

W rozdziale 2 Doktorant przedstawił problematykę, cel i zakres pracy. Sformułował tu problem badawczy, zawarł w nim cel i hipotezy badawcze rozprawy. W kolejnym rozdziale 3 Autor scharakteryzował obiekty badań (zastosowane materiały badawcze), przyjętą w pracy metodykę badań, w tym warunki w jakich realizowano badania eksploatacyjne zużycia ostrzy wiertła lufowego.

Rezultaty prac doświadczalnych Doktorant przedstawił w rozdziale 4 „Analiza wyników badań" gdzie interpretował uzyskane wyniki zgodnie z przyjętą metodyką i programem badań. Podsumowanie rozprawy Autor przedstawił w rozdziale 5 „Dyskusja uzyskanych wyników i wnioski końcowe". Ostatni rozdział pacy stanowi spis literatury użytej podczas przygotowania pracy.

Praca stanowi przykład dysertacji realizowanej w warunkach technologiczno/laboratoryjnych, obejmującej zaawansowane metody badawcze, zarówno w obszarze materiałowym i procesowym z zastosowaniem niezbędnej do oceny przyjętych wskaźników aparatury badawczej a także metody oceny rezultatów badań.

Praca napisana jest poprawnym językiem, zredagowana jest bardzo starannie i zawiera nieliczne błędy redakcyjne i literowe. Redakcja pracy jest przejrzysta a podział na rozdziały

uzasadniony, wynikający z przyjętego zakresu pracy. Treści o charakterze formalnym są sformułowane w sposób ścisły a ponadto dla ich lepszego zilustrowania zamieszczono szereg schematów, rysunków i tabel, w tym bardzo przydatny do analizy tematu program badań (rys. 2.1) na stronie 46.

Ocena zastosowanego piśmiennictwa

Autor rozprawy w bibliografii zawarł 167 pozycji dotyczących analizy zużycia ostrza i powierzchni kształtowanej w technologii głębokiego wiercenia, obrabiarek stosowanych w tym procesie a także automatyzowania tego procesu. Część literatury tzw. podstawowej z analizowanej dziedziny pochodzi z odległych lat 60-tych ubiegłego wieku. Dużą część tego zbioru stanowią normy. Część pozycji literatury to odnośniki w języku angielskim oraz katalogi światowych producentów narzędzi skrawających. W zbiorze załączonej literatury Autor przywołuje kilka publikacji z ostatnich 5-ciu lat.

Zacytowane przez Doktoranta pozycje literatury zostały dobrane we właściwy sposób zarówno w zakresie oceny aktualnego stanu wiedzy i techniki, jak i w opisie metodyki badań oraz analizie wyników badań własnych.

Ocena celu rozprawy

Głównym celem rozprawy było określenie charakteru zużycia monolitycznego ostrza wiertła lufowego jednoostrzowego oraz jego wpływu na strukturę i ukształtowanie warstwy wierzchniej otworów wykonywanych w technologii głębokiego wiercenia. Przeprowadzone analizy i badania umożliwiły ponadto zidentyfikowanie problemów wynikających z rodzaju konstrukcji, materiałów narzędzia, jak również opracowanie zależności pomiędzy warunkami procesu skrawania czy też rodzaju i parametrów technologicznych czynnika chłodząco smarującego. Badania te dotyczą więc oceny stanu powierzchni zarówno narzędzia i obrabianego przedmiotu jako efektu ustabilizowanego procesu technologicznego.

Przedstawione w pracy wyniki badań zużycia monolitycznego ostrza wiertła lufowego jednoostrzowego i korelacji z efektem oddziaływania tego procesu na strukturę i ukształtowanie warstwy wierzchniej otworu w warunkach technologii głębokiego wiercenia, należy uznać za ważne z praktycznego punktu widzenia, gdyż mogą być podstawą do dalszego doskonalenia tego procesu przede wszystkim podwyższania trwałości badanych ostrzy. Równie istotny jest opis problemów technologicznych mogących pojawiać się przy zmianie parametrów i warunków skrawania.

Przedmiotem badań były: narzędzie obróbkowe – wiertło lufowe, podłoże wykonane z węglika spiekanego do badania struktury i stanu powierzchni (H10), płyty wykonane ze stali C45 do badań eksploatacyjnych, a także czynnik chłodząco-smarujący olej Milpro HG12, spełniający funkcje chłodzenia i smarowania przestrzeni roboczej.

Ciągły rozwój technologii wiercenia głębokich otworów wynika z rozpowszechnienia tego procesu w wielu różnych gałęziach przemysłu np. motoryzacji, wytwarzania narzędzi do przetwórstwa tworzyw polimerowych (np. formy wtryskowe, głowice wytłaczarskie), czy sprzętu używanego w medycynie sprawia, że doskonalenie warunków niezbędnych do uzyskania oczekiwanych efektów zarówno geometrycznych jak i materiałowych często prowadzi do nowych rozwiązań, w tym uzyskania cech innowacyjnych. Kolejnym wyzwaniem procesowym jest utrzymanie stanu powierzchni wykonanych otworów w warunkach zapewniających założoną efektywność procesu chłodzenia czy też smarowania. W opisie stanu wiedzy Autor podkreślił potrzebę komplementarnego traktowania zarówno konstrukcji obrabiarek, ich zespołów, układów napędowych i sterowania elektrycznego, hydraulicznego, pneumatycznego, układów chłodzenia i odwiórowania oraz materiałów i konstrukcji wierteł lufowych (str. 30). Oceniana rozprawa poświęcona jest więc ciągle ważnej tematyce badawczej. Można tu przywołać tzw. spiralę innowacyjności, która dobrze opisuje wzajemne relacje w zakresie oddziaływania: materiału, narzędzia, maszyny i procesu. Wyzwaniem kolejnym mogą tu być również problemy tzw. Gospodarki Obiegów Zamkniętych, które powodują, że wytworzenie elementu nie zamyka cyklu życia elementu.

Cele i tezy pracy uważam za właściwie sformułowane i uwzględniające aktualne trendy badawcze.

Ocena zastosowanych metod badawczych

Do realizacji celu badań Autor rozprawy zastosował: badania twardości zarówno podłoży, jak i ostrzy badanych narzędzi, pomiar chropowatości powierzchni z szerokim spektrum wskaźników opisujących efekty głębokiego wiercenia. Doktorant zastosował również badania dyfraktometryczne (XRD) do oceny wielkości krystalitów i zniekształceń sieci krystalicznej zarówno materiałów podłoża jak i narzędzi. Ponadto w ramach badań identyfikujących zużycie, realizował badania odporności na zużycie ścierne użytych w eksperymencie materiałów. Autor wykonał również pomiary kształtu tworzonego wióra, stosując do ich oceny doświadczenia z wiercenia otworów wiertłami krętymi. Na uwagę zasługuje tu autorskie konstytuowanie stanowiska do realizacji badań eksploatacyjnych, dzięki któremu można ten złożony proces zrealizować w warunkach powtarzalnych.

W badaniach Autor wykorzystał potencjał aparaturowy kilku ośrodków badawczych i naukowych, przede wszystkim: Katedry Technologii Materiałów i Maszyn, Katedry Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, Wydziału Nauk Technicznych UWM w Olsztynie, Wydziału Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, Zakładu Mechanizacji Budownictwa, Automatyzacji i Technologii Montażu Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie (obecnie Warszawski Instytut Technologiczny – Sieć Badawcza Łukasiewicza).

Powyższe metody badawcze zostały dobrane właściwie, a ich metodyka została opisana poprawnie. Wyniki przeprowadzonych analiz również zostały we właściwy sposób wyznaczone i zinterpretowane.

Ocena merytoryczna pracy

Oceniając merytoryczną stronę rozprawy należy stwierdzić, że jej tytuł „Wielokierunkowa analiza ostrza narzędzia i powierzchni kształtowanej w technologii głębokiego wiercenia" oddaje istotę zagadnienia, którym w pracy, na przestrzeni wielu lat zajmował się Doktorant. We wstępie rozprawy Autor jasno scharakteryzował istotę pracy. Nawiązał do w dużej mierze ustabilizowanych osiągnięć technologii skrawania, stąd w literaturze znajduje się szereg opracowań dziś zaliczanych do ugruntowanych podstaw tej dziedziny. Opisał kompleksowo technologię głębokiego wiercenia otworów wiertłami lufowymi z uwzględnieniem materiałów stosowanych na narzędzia jak również scharakteryzował podatność materiałów konstrukcyjnych na wiercenie zastosowaną metodą. W rozprawie scharakteryzował zjawiska zużywania ostrzy narzędzi skrawających. Te rozważania były podstawą do podsumowania aktualnego stanu wiedzy z zakresu wyznaczania odporności na zużycie a tym samym trwałości i umożliwiły sformułowanie wniosków i ustaleń do realizacji badań własnych. Część teoretyczna napisana została w sposób zwięzły i poprawnym językiem.

Celem pracy było określenie charakteru zużycia ostrza wiertła lufowego oraz jego wpływu na ukształtowanie warstwy wierzchniej otworów wykonywanych w technologii głębokiego wiercenia. Aby zrealizować ten cel Autor rozprawy wykonał obszerny eksperyment, zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i technologicznych (eksploatacyjnych).

Doktorant w wyniku realizacji badań wykazał, że zużycie monolitycznego ostrza wiertła lufowego jednoostrzowego w technologii głębokiego wiercenia otworów występuje przede wszystkim na wierzchołku ostrza W i jego narożu N1.

Autor wykazał również, że chropowatość powierzchni otworów wykonywanych wiertłem lufowym jednoostrzowym, w technologii głębokiego wiercenia, zmniejsza się wraz ze wzrostem drogi wiercenia oraz postępującym zużyciem ostrza wiertła a charakter zmian parametrów geometrycznych, amplitudowych, funkcjonalnych i fraktalnych opisujących stan geometrii i struktury warstwy wierzchniej koreluje ze zmianami geometrycznymi wskaźników zużycia ostrza wiertła,

Wartym podkreślenia osiągnięciem Autora jest wykazanie podobieństwa właściwości podłoży wykonanych z węglika H10 oraz powierzchni węglika K15, co wobec znacznie szerszych możliwości weryfikowania właściwości podłoża H10 poszerza zakres oceny podatności na zużycie ostrza z węglika K15. Autor przyznaje, że ściśle sparametryzowany eksperyment umożliwia tylko w części na zastosowanie uzyskanych wyników do innego zakresu badawczego i związane jest z potrzebą dalszych badań, tym bardziej, że zakres średnic wierteł lufowych mieści się w szerszym zakresie (najczęściej 4-15 mm)

Innymi ważniejszymi rezultatami prac badawczych uzyskanymi przez doktoranta podczas realizacji badań są:

- potwierdzenie, mechanizmu zużycia poprzez wielokierunkową analizę ostrza narzędzia i powierzchni kształtowanej,
- wskazanie głównych czynników, umożliwiających ocenę stopnia zużycia, poprzez zastosowanie głównie kryteriów geometrycznych, technologicznych i fizykalnych,
- określenie właściwości otrzymanych powierzchni poprzez porównanie średnich zredukowanych wysokości profilu chropowatości, średni udział nośności profilu chropowatości powierzchni ostrza wiertła K15 i podłoża H10,
- stwierdzenie dobrej korelacji wymiaru fraktalnego dla powierzchni wierconych otworów na całej długości wiercenia Lw.
- zweryfikowanie przebiegu zużycia przyjętych w badaniach obszarów ostrza, na całej długości realizowanego procesu wiercenia od 2000 do 8000 mm, wykazując ich odmienny charakter (intensywność),
- stwierdzenie, znaczącego wpływu środka smarującego na wielkość zużycia zarówno w przypadku badań symulujących proces, jak i w warunkach rzeczywistych – quasi eksploatacyjnych,

- poszerzenie wiedzy o mechanizmach zużywania się ostrzy lufowych jednoostrzowych w tym wyznaczenie obszarów o większej podatności na zużywanie.

Uzyskane rezultaty i analiza wyników przeprowadzonych badań doświadczalnych dają podstawę do pozytywnej weryfikacji przyjętych w pracy hipotez. Podsumowując Autor sformułował wnioski o charakterze ogólnym, uwzględniające zależności oraz interakcje pomiędzy badanymi wielkościami. Łącznie we wnioskach końcowych z pracy Doktorant przedstawił 6 wniosków poznawczych, weryfikujących jednocześnie przyjęte hipotezy badawcze równocześnie zaproponował 3 obszary dalszych badań, w których wykorzystuje się dotychczasowe rezultaty do podnoszenia efektywności procesu wiercenia głębokich otworów. Jednym z zasygnalizowanych obszarów jest ważne ze względów środowiskowych stosowanie do smarowania i chłodzenia środków biodegradowalnych.

Uzyskane wyniki badań zostały starannie opisane, przeanalizowane i podsumowane. Podkreślić należy fakt, że praca zawiera obszerny materiał badawczy a uzyskane wyniki przedstawione przez Autora mogą stanowić szeroką bazę danych charakteryzujących proces zużywania się ostrzy wierteł lufowych i jednocześnie skorelowanie tych procesów z nadawaniem właściwości użytkowych warstwie wierzchniej otworów. Otrzymane wyniki mają więc zarówno wartość poznawczą i utylitarną do zastosowania we wszystkich gałęziach gospodarki stosujących obróbkę skrawaniem, w których wykonywanie głębokich otworów jest ważnym etapem tego procesu. Praca napisana jest na odpowiednim poziomie naukowym i dobrze dokumentuje wieloletni proces pogłębiania wiedzy i doświadczenia Autora w zakresie wiercenia głębokich otworów. Świadczy to o właściwym przygotowaniu doktoranta do prowadzenia samodzielnych badań naukowych.

Ocena omówienia wyników badań i możliwości praktycznego ich zastosowania

Wyniki badań Doktorant przedstawił i omówił we właściwy sposób. Analiza wyników jest dogłębna i odpowiednio poparta wynikami badań przedstawionych w odnośnikach literaturowych pracy.

W ramach rozprawy doktorskiej mgr inż. Kazimierz Rychlik poszerzył w znaczący sposób wiedzę na temat technologii wykonywania głębokich otworów wiertłami lufowymi. Wyznaczone na podstawie eksperymentu charakterystyki oraz wskaźniki, mogą być przydatne do praktycznych działań związanych z projektowaniem i oceną procesu wykonywania otworów w tym szczególnie otworów głębokich. Wyniki te stanowią bazę danych, a także sposobów postępowania, które ułatwią wykorzystanie analizowanych materiałów w praktyce przemysłowej. Są one również bardzo istotne z punktu widzenia dalszego doskonalenia procesów technologicznych skrawania, które to technologie cały czas, pomimo rozwoju innych

technologii wykonywania długich otworów w tym w technologii 3D, pozostają w wielu przypadkach niezastąpione.

Ocena oryginalności rozwiązania problemu naukowego

Problem naukowy postawiony w pracy przez Doktoranta – polegający na określeniu charakteru zużycia monolitycznego ostrza wiertła lufowego jednoostrzowego oraz jego wpływu na strukturę i ukształtowanie warstwy wierzchniej otworów wykonywanych w technologii głębokiego wiercenia, wymagał oryginalnego podejścia do jego rozwiązania. Konieczne było uwzględnienie możliwości obrabiarek do wiercenia głębokich otworów i równoczesnego analizowania zakresu zmian cech geometrycznych narzędzia (wiertła) a także równoczesnych zmian na powierzchni wykonywanych otworów. Zaproponowana metodyka badań a także uzyskane rezultaty umożliwiają wykorzystanie ich do celowego kształtowania cech geometrycznych wykonywanych otworów, bo przecież wiercenie (wiertło) jest środkiem (oczywiście niezbędnym) do wytworzenia otworów o postulowanych właściwościach użytkowych (długość, stan powierzchni, itp**.).** Na podstawie tych badań można przyjąć, że Autor w dużej mierze wyznaczył zakres warunków niezbędnych do konstytuowania takiego stanu powierzchni otworów, który spełnia postulowane warunki „transportowania" mediów chłodząco smarujących.

Z przedstawionej analizy literatury, wynika stosunkowo nie duży udział pozycji kompleksowo opisujących zagadnienia wiercenia głębokich otworów z jednoczesną propozycją oryginalnej metodyki oceny zużycia powierzchni wiertła jak i stanu powierzchni podłoża (H10) a przede wszystkim uzyskanych otworów, dlatego podjętą w rozprawie problematykę należy uznać za aktualną i o istotnym znaczeniu poznawczym i utylitarnym.

Uwagi krytyczne i redakcyjne

- W ocenianej rozprawie doktorskiej brak jest pełnego uzasadnienia wyboru obiektów badań (średnica wiertła, materiał podłoża),
- Pewnym niedociągnięciem jest brak próby zweryfikowania procesu głębokiego wiercenia na wybranym jednostkowym przykładzie, w rzeczywistych warunkach głębokiego otworu, z możliwością zweryfikowania stanu uzyskanej powierzchni na wejściu i wyjściu z otworu,
- W pracy brak jest wykazu symboli i oznaczeń, co przy użytych w opisie wielu skrótów, utrudnia jej analizowanie,

- Rys. 1.1.9 bez dodatkowych odniesień jest nieinformatywny, podobnie rys. 1.1.15,
- Rys. 3.6.7 błąd w oznaczeniach cech geometrycznych wierzchołka ostrza, prawdopodobnie brakuje przy 4 oznaczenia średnicy /D
- Publikacja Dobrzyński L.A.: Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Warszawa WNT 2006 pojawia się w bibliografii na pozycji 61 i 82
- W pracy pojawiają się nieliczne błędy literowe, stylistyczne i redakcyjne.

Wymienione powyżej uwagi krytyczne i redakcyjne, nie zmieniają faktu, że oceniana **praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim realizowanym w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn (obecnie Inżynieria Mechaniczna).** Proces konstytuowania i opracowywania warunków i efektów procesu głębokiego wiercenia został opisany kompleksowo stąd pozytywnie oceniam osiągnięcia niniejszej pracy doktorskiej, zrealizowanej na wysokim poziomie poznawczo-utylitarnym.

Pytania dotyczące rozprawy

- Proszę o wyjaśnienie, co było podstawą decyzji o wyborze zakresu badań cech geometrycznych wiertła lufowego (głównie średnicy) a także materiału podłoża?
- Proszę o wskazanie najważniejszych obszarów zastosowania technologii głębokiego wiercenia i jak ma się do tego możliwość wykonywania głębokich otworów technikami 3D (np. kanały konformalne do chłodzenia narzędzi przetwórczych)?
- Na ile wyznaczone w pracy zależności oraz wskaźniki charakteryzujące zużycie ostrza lufowego z zrealizowanego eksperymentu mogą być przydatne do analizy zużycia w innych narzędzi ?
- Które z uzyskanych przez Pana wyników badań uważa Pan za najistotniejsze z punktu widzenia naukowego i praktycznego? Proszę wskazać tylko po jednym osiągnieciu.

Ocena czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Rozprawa doktorska Kazimierza Rychlika jest interesującą pracą naukową dotyczącą technologii wiercenia głębokich otworów wiertłami lufowymi, opartą na wieloletnim doświadczeniu praktycznym i teoretycznym Autora. Uzyskane w trakcie realizacji pracy i zamieszczone w rozprawie wyniki badań są ciekawym i oryginalnym osiągnięciem Doktoranta, które uzyskał między innymi dzięki zastosowaniu zaawansowanych technik badawczych i pracochłonnego eksperymentu w warunkach laboratoryjnych i eksploatacyjnych.

Uważam, że cel rozprawy został zrealizowany, a uzyskane wyniki stanowią cenny zbiór informacji o procesach zużywania się ostrzy wierteł lufowych a także samego procesu wykonywania głębokich otworów. Doktorant wykazał się dużą wiedzą oraz wieloletnim doświadczeniem praktycznym i badawczym. Wyniki badań związanych z rozprawą doktorską przedstawił w szeregu publikacjach i raportach z badań załączonych w bibliografii.

Podsumowanie oceny rozprawy doktorskiej

Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej moje opinie stwierdzam, iż praca mgr inż. Kazimierza Rychlika pt. „Wielokierunkowa analiza ostrza narzędzia i powierzchni kształtowanej w technologii głębokiego wiercenia" w pełni odpowiada wymogom i spełnia wszystkie warunki stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą Ustawę, dlatego wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Warmińsko Mazurskiego.

Prof. dr hab. inż. Marek Bieliński