

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Tadeusza Chwalczuka**

pt. „Warstwa wierzchnia stopu Inconel 718 po toczeniu ze wspomaganie laserowym”

Podstawą opracowania recenzji jest zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej z dnia 15.04.2019 r., zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej z dnia 12.04.2019 r.

1. Ogólny opis recenzowanej pracy

Opracowana przez Doktoranta praca ma charakter doświadczalny i dotyczy procesu obróbki hybrydowej, polegającej na połączeniu procesu skrawania z wspomaganie podgrzewania laserowego warstwy skrawanej stopu Inconel 718. W szczególności dotyczy kształtowania struktury geometrycznej powierzchni (SGP) tego stopu, który ma szerokie zastosowanie w przemyśle lotniczym. Obróbka tego materiału, ciągle jest trudnym zadaniem technologicznym, m.in. ze względu na dobór odpowiednich narzędzi skrawających i parametrów obróbki. Stop na osnowie niklu Inconel 718, zalicza się bowiem do grupy materiałów trudnoskrawalnych, ze względu na:

- dużą wytrzymałość mechaniczną i twardość, które wpływają na mechaniczne zużywanie się narzędzi skrawających,
- dużą ciągliwość, która powoduje tworzenie narostów na wierzchołkach narzędzi skrawających,
- małą przewodność cieplną, która jest przyczyną wzrostu temperatury w strefie obróbki, co przyczynia się do zużycia krawędzi skrawających,
- składniki stopowe występujące w strukturze materiału, które są materiałem ściernym przyspieszającym zużycie ściernego ostrza,
- utwardzanie się podczas obróbki.

Cechą charakterystyczną procesu obróbki tych stopów, jest występowanie dużych nacisków jednostkowych w obszarze krawędzi skrawających oraz wysokich temperatur. Powoduje to szybkie zużycie ściernego narzędzi, często również katastroficzne. Opór właściwy

skrawania tych stopów jest 2-3 razy większy, niż podczas skrawania stali konstrukcyjnych. Stąd też do toczenia stopów niklu stosuje się w szczególności narzędzia z regularnego azotku boru, ceramiki oraz węgliki pokrywane warstwą azotku tytanu. Stosuje się także ceramikę tlenkową i wzmocnioną wiskerami. W celu efektywnego chłodzenia strefy obróbkowej, stosuje się chłodzenie wysokociśnieniowe (7-20 MPa), w którym strumień cieczy jest precyzyjnie kierowany pod spływający wiór. Wskutek wytworzenia klina hydrodynamicznego w strefie obróbki, zmniejsza się tarcie i temperaturę. Coraz częściej w obróbce tego typu stopów stosuje się też wspomaganie procesu skrawania energią promienia lasera, co umożliwia znaczne zwiększenie trwałości ostrza.

Stopy takie jak Inconel 718 mają tendencję do tworzenia narostów i wykruszeń na powierzchni obrabianej, które znacząco wpływają na jakość SGP. Badania prowadzone przez wiele ośrodków dotyczą takich rozwiązań, jak doprowadzenie cieczy chłodząco-smarujących pod wysokim ciśnieniem, indukcyjne podgrzewanie elementu przed obróbką, czy też laserowe wspomaganie skrawania, które umożliwia zwiększenie wydajności obróbki tych stopów. Zastosowanie dodatkowego źródła energii w postaci wiązki laserowej w trakcie skrawania przynosi znaczące efekty technologiczne i ekonomiczne, co zostało przedstawione w wielu badaniach. Ciągłe jednak jest brak szerszych badań w zakresie laserowego wspomaganie toczenia w zakresie wyższych niż konwencjonalne prędkości skrawania. Obróbka przy takich prędkościach staje się nie tylko trudna, ze względu na konieczność zachowania warunków cieplnych wspomaganie laserowego zapewniających efekt zmiękczenia, ale też z uwagi na możliwość zastosowania różnych materiałów narzędziowych pracujących w podwyższonych temperaturach bez obecności cieczy chłodząco-smarującej.

Uważam że podjęcie tematu realizowanej pracy doktoranta jest jak najbardziej uzasadnione i może mieć znaczące efekty naukowe i użytkowe, zarówno w metodach oceny wpływu procesu laserowego wspomaganie na kształtowanie topografii powierzchni obrabianej jak również wydajności samego procesu obróbki.

2. Zakres i ocena poszczególnych części realizowanej pracy

Praca została zrealizowana w Zakładzie Obróbki Skrawaniem Instytutu Technologii Mechanicznej Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej, pod opieką naukową dr hab. inż. Damiana Przystackiego, który od wielu lat zajmuje się naukowo tematyką obróbki ze wspomaganie laserowym. Praca o objętości 103 stron, podzielona jest na 8 rozdziałów uzupełnionych streszczeniem w języku polskim i angielskim, wykazem ozna-

czeń, oraz bibliografią. Sześć rozdziałów (od 3 do 8) zawarte na 46 stronach dotyczą pracy własnej Doktoranta i jego badań. Praca jest napisana bardzo starannie i metodologicznie bardzo czytelnie, poza nielicznymi fragmentami (na przykład badania rozpoznawcze).

W rozdziale pierwszym, stanowiącym wprowadzenie do tematu pracy, Doktorant przedstawił krótką charakterystykę tematu pracy i podstawowe pytania, w odniesieniu do celu i zakresu pracy, które mają być uzasadnieniem podjęcia badań będących przedmiotem pracy. W szczególności przedstawił w sposób zwięzły a jednocześnie jasny, problemy występujące przy obróbce skrawaniem nadstopów niklu, w tym w głównie stopu Inconel 718. Uważam ten rozdział jako wzorowy dla przedstawienia tematu.

Rozdział drugi zawiera analizę literatury dotyczącą tematu pracy, poczynając od charakterystyki i właściwości stopu Inconel 718, oceny skrawalności tego stopu w procesie konwencjonalnym jak też ze wspomaganie laserowym. W szczególności przeanalizowano dotychczasowe badania procesu skrawania oraz wyniki obróbki dotyczące warstwy wierzchniej przedmiotów, w zakresie jej struktury geometrycznej jak też występowania zjawiska tzw. „białej warstwy”. Problem tej warstwy jest dotychczas w praktyce przemysłowej najbardziej trudnym technologicznie do wyeliminowania. Na uwagę zasługuje również opis i usystematyzowanie odmian kinematycznych procesów toczenia ze wspomaganie laserowym. Bardzo wartościową częścią tego rozdziału jest analiza modelowania procesu konwencjonalnego skrawania i ze wspomaganie laserowym.

Natomiast uważam, że brakuje szerszej analizy kształtowania topografii powierzchni i zmiany właściwości warstwy wierzchniej w zależności od wydajność obróbki. Przecież celem każdego procesu skrawania jest dążenia do jak największej wydajności przy zapewnieniu uzyskania wymaganych wskaźników jakości kształtowanej powierzchni.

Rozdział zakończono podsumowaniem i wnioskami stanu wiedzy, które są związane z tematem pracy, a następnie na tej podstawie sformułowano cel własnych badań.

Jest to najbardziej obszerny rozdział pracy dotyczący dotychczasowego stanu badań w zakresie procesów toczenia konwencjonalnego i ze wspomaganie laserowym stopu Inconel 718. Uważam, ten rozdział pracy za bardzo istotny w celu sprecyzowania tezy naukowej i zakresu pracy. Został on również napisany bardzo jasno i merytorycznie.

W rozdziale trzecim przedstawiono własne wstępne badania rozpoznawcze, które dotyczyły różnych odmian kinematycznych procesu toczenia, z dwoma różnymi odwzorowa-

niami ostrza w materiale obrabianym. Uważam, że badania te powinny być przedstawione w rozdziale piątym, jako część badań uzasadniających wybór takiej a nie innej metody obróbki toczeniem.

W rozdziale czwartym przedstawiono uzasadnienie wyboru tematu pracy, celu i tezy naukowej. Głównym celem naukowym pracy jest poznanie zależności parametrów kształtowania warstwy wierzchniej stopu Inconel 718, w zależności od parametrów wiązki laserowej, zastosowanej do wspomaganie procesu toczenia.

Dyskusyjna jest pierwsza przyjęta teza pracy „efektywność laserowego wspomaganie skrawania stopu Inconel 718 uwarunkowana jest od występowania mechanizmu cieplnego zmiękczenia warstwy skrawanej lub wprowadzenia zmian w mikrostrukturze warstwy wierzchniej w wyniku oddziaływania energii cieplnej wiązki lasera na powierzchnię obrabianego elementu”. Po pierwsze jest to twierdzenie oczywiste, które nie wymaga badań potwierdzających to zjawisko. Po drugie pojęcie efektywności jest zbyt ogólne, ponieważ zwykle odnosi się do wydajności lub kosztów obróbki, a nie do parametrów jakości obrabianej powierzchni, które są wymaganymi ograniczeniami realizacji procesu.

Również druga przyjęta teza pracy jest sformułowana zbyt ogólnie. Uważam, że należałoby konkretnie sprecyzować tą tezę następująco: „można dobrać takie parametry oddziaływania wiązki lasera i parametry technologiczne obróbki, które umożliwią zwiększenie wydajności obróbki i jednocześnie zapewnią uzyskanie wymaganej jakości obrabianej powierzchni, w stosunku do procesu konwencjonalnego”. Tym bardziej, że w pracy Doktorant przeprowadził takie badania. Przecież jest to główny cel zastosowania wspomaganie laserowego obróbki skrawaniem. Obróbka skrawaniem wspomaganie strumieniem lasera pozwala bowiem na zwiększenie wydajności procesu technologicznego, zwiększenie trwałości ostrza skrawającego, a także na poprawę jakości powierzchni obrabianej.

W rozdziale piątym przedstawiono charakterystykę obiektu badań, metodykę i plan badań, opis stanowisk badawczych i pomiarowych. Stanowiska te są opisane w sposób szczegółowy, zupełnie wystarczający do wyjaśnienia ich funkcjonalności w zastosowaniu do przewidzianych badań. Natomiast nie jest uzasadnione w jakim celu stosowany jest pomiar składowych przyspieszeń drgań. Nie wynika to z celu i zakresu pracy.

W przyjętym modelu badań wydzielono wielkości wejściowe stałe, wielkości wejściowe zmienne oraz wielkości wyjściowe. Uważam, że do wielkości wyjściowych zmiennych oprócz parametrów wiązki lasera (mocy, miejsca i czasu działania) powinny być zaliczone

również parametry kinematyczne procesu skrawania w szerszym zakresie. Parametry te mają bardzo istotny wpływ na proces skrawania i w konsekwencji kształtowanie sił skrawania i strukturę geometryczną topografii powierzchni przedmiotu. W ten sposób możliwe byłoby zbadanie poziomu istotności wpływu głównych parametrów wejściowych na wielkości wyjściowe takie jak parametry stereometryczne powierzchni, wskaźniki oceny skrawności oraz zużycie narzędzia. Brakuje mi również wyraźnego sprecyzowania rodzaju planu badań, a także opisu analizy statystycznej wyników badań, na podstawie których można w rezultacie przedstawić modele matematyczne obiektu badań. Przedstawiony w pracy plan badań opisuje wyłącznie kolejne etapy badań. W pracy naukowej jaką jest niewątpliwie praca doktorska tego typu informacja dotycząca metodyki badań powinna być jasno sprecyzowana przez Doktoranta.

Szósty rozdział dotyczy opisu warunków badań, w poszczególnych etapach pracy, zarówno badań rozpoznawczych (wstępnych) jak też badań zasadniczych. Jak już wspomniałem opis warunków badań rozpoznawczych, przedstawionych w rozdziale 3, powinien znaleźć się w rozdziale 7. Warunki badań opisano wystarczająco dokładnie.

Rozdział siódmy zawiera wyniki badań własnych, począwszy od badań wpływu laserowego nagrzewania warstwy wierzchniej, to jest badań cieplnego zmiękczenia warstwy skrawanej, badań mikrostruktury warstwy przetopionej, wpływu powłoki absorpcyjnej na efekty nagrzewania laserowego, skończywszy na badaniach warstwy wierzchniej po toczeniu ze wspomaganie laserowym, a mianowicie badań struktury geometrycznej powierzchni przy różnych strategiach wspomaganie laserowego toczenia, badań mikrostruktury warstwy wierzchniej przy różnych trybach wspomaganie laserowego, wpływu głębokości skrawania na właściwości warstwy wierzchniej po toczeniu ze wspomaganie ciągłym, możliwości zastosowania laserowego wspomaganie w obróbce z dużymi prędkościami skrawania, skończywszy na badaniach powstawania warstwy białej w obróbce wspomaganie laserowo. Są to bardzo wartościowe wyniki badań zarówno pod względem poznawczym jak również utylitarnym. Moim zdaniem brakuje jednak badań zużycia narzędzi i ich porównania dla obu rodzajów obróbki, to jest obróbki konwencjonalnej i obróbki ze wspomaganie laserowym. Proces zużycia narzędzi jest przecież parametrem decydującym o kształtowaniu struktury geometrycznej kształtowanej powierzchni. Brakuje również badań wpływu nagrzewania laserowego warstwy skrawanej i związanej z tym rozszerzalności cieplnej na dokładność wymiarowo-kształtową obrabianych przedmiotów.

W ósmym rozdziale przedstawiono podsumowanie i wnioski wynikające z badań. Podano 7 wniosków końcowych jako wnioski poznawcze, 2 wnioski o charakterze utylitar-
nym, 3 wnioski dotyczą dalszych badań.

We wniosku nr 1 Doktorant stwierdza, „że parametry chropowatości powierzchni ule-
gają poprawie w wyniku zastosowania wspomaganie laserowego procesu toczenia o blisko
50%”. Uważam to stwierdzenie za zbyt ogólne i dyskusyjne, ponieważ kształtowanie chro-
powatości powierzchni zależy od wielu innych czynników, a przede wszystkim od odpowied-
niej mikrogeometrii narzędzia i parametrów technologicznych.

Wniosek nr 6 zawiera stwierdzenie, „że skrawanie zarówno w warunkach obróbki kon-
wencjonalnej oraz wspomaganiej laserowo, ostrzami które utraciły swoje właściwości skrawne
w wyniku zużycia wiąże się z możliwością powstania znaczących wad w warstwie wierzch-
niej, a także powstaniem tzw. białej warstwy”. Jest to wniosek oczywisty i nie wymaga żad-
nego innego uzasadnienia.

Pozostałe wnioski są odniesieniem do otrzymanych wyników badań i są w miarę dość
dokładnie przedstawione. Natomiast wniosek 1 dotyczący dalszych badań nie jest zupełnie
związany z niniejszą pracą, ponieważ dotyczy rozwiązań technicznych obrabiarek do obróbki
ze wspomaganie laserowym.

Rozprawa zakończona jest spisem bibliograficznym zawierającym 163 pozycji.

3. Ocena ogólna pracy

Jak już wspomniałem praca ma charakter doświadczalny. Doktorant podjął się badania
trudnego procesu obróbki skrawaniem ze wspomaganie strefy skrawania podgrzewaniem
strumieniem laserowym. Głównym aspektem badań było określenie wpływu wybranych pa-
rametrów strumienia laserowego na parametry warstwy wierzchniej powierzchni przedmio-
tów wykonywanych ze stopu Inconel 718.

Przeprowadzone badania charakteryzują się wielowątkowością. W ramach badań wy-
konano bardzo dużą liczbę pomiarów, co wymagało zatem dużego nakładu pracy i czasu.
Uważam jednak, że wiele z tych badań było zbyteczne w stosunku do założonego celu pracy.
Można było na przykład na wstępie ograniczyć się do konkretnej metody toczenia i poszerzyć
zakres badań wpływu innych ważnych parametrów nastawczych procesu toczenia i zużycia
narzędzia na kształtowanie topografii powierzchni przedmiotu. Jak na wstępie wspomniałem
sam proces obróbki ze wspomaganie nagrzewania laserowego jest wystarczająco złożony

i wymaga szerokiej analizy jego przebiegu jak też wpływu parametrów wiązki lasera oraz parametrów technologicznych na kształtowanie topografii powierzchni przedmiotu i siły skrawania.

Doktorant wykazał się znajomością analizy wyników pomiarów, lecz również mam wiele zastrzeżeń co do wyciągania zbyt wiele ogólnych wniosków, jak na przykład „zaobserwowano poprawę”, „wykazano korzyści” itp. Tego typu określeń nie używa się w pracy naukowej.

Realizowany temat jest nowym zagadnieniem technologicznym, a osiągnięte wyniki mogą mieć charakter użytkowy. Do najważniejszych osiągnięć praktycznych Doktoranta należy zaliczyć określenie zakresu zalecanych parametrów strumienia lasera z uwagi na strukturę geometryczną powierzchni oraz siły skrawania. Spośród osiągnięć naukowych wyróżnić należy określenie zależności pomiędzy wybranymi parametrami procesu skrawania ze wspomaganie nagrzewania laserowego, a kształtowaniem parametrów struktury geometrycznej powierzchni. W wyniku wykonanych badań Doktorant wykazał słuszność przyjętych założeń i moim zdaniem zrealizował cel pracy. Całość rozprawy oceniam bardzo pozytywnie. Na uwagę zasługuje włączenie wyników badań do realizowanych projektów badawczych ze środków UE. Uważam, że prace naukowe młodych pracowników naukowo-badawczych powinny być w miarę możliwości włączane do szerszych projektów badawczych, co ma miejsce w tym przypadku.

Uwagi ogólne do pracy

Praca jest napisana bardzo starannie pod względem edycyjnym. W tak dużej objętościowo pracy trudno ustrzec się niedociągnięć gramatycznych i usterek technicznych jednak jest ich stosunkowo niewiele. Nie wpływają one istotnie na jakość opracowania, stąd w większości nie zostały wskazane w recenzji, a zaznaczone w tekście pracy jako uwagi recenzenta i przekazane Doktorantowi w nadziei, że ustrzeże się ich w dalszej pracy naukowej. Wymieni tu tylko najważniejsze:

1. W pracy brakuje wyraźnie sprecyzowania celu zakresu i tezy naukowej pracy, która powinna się odnieść do przyjętych założeń. Jest to przecież praca naukowa a nie technologiczna.
2. Jednym z większych uchybień jest brak analizy wydajności obróbki ze wspomaganie nagrzewania laserowego na parametry jakości obrabianej powierzchni, a w szczególności dokładności wymiarowej. Dla technologa zajmującego się tylko sporadycznie taką obróbką najważniejszym parametrem jest wydajność przy zapewnieniu wymaganej chropowatości i dokładności wymiarowo-kształtowej obrabianych przedmiotów.

Powyzsze uwagi maja charakter dyskusyjny i nie obnizaja wartosci merytorycznej rozprawy. Uważam, że ustosunkowanie się do nich Doktoranta wzbogaci podane treści.

4. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgra inż. Tadeusza Chwalczuka zawiera samodzielne opracowanie zagadnienia naukowego. Autor wykazał należyłą wiedzę oraz umiejętności prowadzenia badań naukowych i przedstawiania wyników.

Na podstawie przedstawionej oceny stwierdzam, że opiniowana praca mgra inż. Tadeusza Chwalczuka spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w art. 13 ust.1 ustawy z dnia 14 marca 2013 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i może stanowić podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora w dziedzinie Nauki Techniczne w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn.

Wnioskuje o dopuszczenie mgra inż. Tadeusza Chwalczuka do publicznej obrony przedstawionej rozprawy doktorskiej.

