



POLITECHNIKA POZNAŃSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ
INSTYTUT TECHNOLOGII MECHANICZNEJ

Prof. dr hab. inż. Stanisław LEGUTKO
prof. h. c.

ul. Piotrowo 3 60-965 Poznań
tel. (0-61) 665-25-77, fax (061) 665-22-00
e-mail: stanislaw.legutko@put.poznan.pl

Poznań, 11.09.2021r.

Recenzja nr 47/dr/SL

rozprawy doktorskiej mgr inż. Elżbiety DOLUK pt. *Frezowanie konstrukcji przekładkowej stop aluminium - kompozyt epoksydowo-węglowy*

Podstawa opracowania recenzji: pismo zastępcy przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej dra hab. inż. Jarosława Bieniasia z dnia 30.06.2021 r. nr RDN/IM/23/2021 oraz stosowna umowa o dzieło.

1. Analiza rozprawy

Recenzowaną rozprawę doktorską z naukoznawczego punktu widzenia można usytuować w tzw. warstwie merytorycznej współczesnej technologii maszyn, w której wyróżnia się technologie objętościowe, ubytkowe, przyrostowe, ulepszające, łączące i miernicze. W analizowanym przypadku - w jej fragmentach określanych, jako ubytkowa obróbka skrawaniem narzędziami o określonej geometrii ostrza materiałów warstwowych. Proponowane usytuowanie wynika z wyróżnienia we współczesnej technologii maszyn trzech warstw, a mianowicie: metodologicznej, metodycznej i merytorycznej. W warstwie metodologicznej aktualnie wykorzystywane procedury tworzenia metod projektowania technologii oraz procedury tworzenia metod wykonawstwa na poziomie warsztatu składają się na aktualny paradygmat tej sfery działalności ludzkiej. Warstwa metodyczna, według przyjętego przeze mnie rozróżnienia, obejmuje aktualne metody projektowania, pomiarów, mechanizacji, automatyzacji i robotyzacji wytwarzania, komputerowe wspomaganie projektowania i realizacji technologii, metody działania maszyn technologicznych itp. Jako warstwę merytoryczną rozumie się zaś, różnego rodzaju technologie w aspekcie ich fizycznej czy fizykalno - chemicznej istoty, przykłady czego już wymieniono na początku. Identyfikacja usytuowania niniejszej pracy na tym tle oraz zarysowanie głównych dróg rozwoju tego obszaru, w którym ona się mieści, pozwoli na osądzenie, czy Autorka trafnie wybrała tematykę badawczą.

W przemysłach pracujących między innymi na rzecz lotnictwa, aeronautyki, wojska, kolejnictwa, czy żeglugi odnotowuje się stałe dążenie do uzyskania lekkiej i sztywnej konstrukcji przy zachowaniu określonych, na ogół dość wysokich, właściwości wytrzymałościowych. Jedną z odpowiedzi na takie wyzwanie są kompozyty. Szczególnym rodzajem kompozytów są kompozyty, co do których w powszechnym obiegu funkcjonuje angielska nazwa *sandwich*. Inaczej też są nazywane jako kompozyty warstwowe, przekładkowe, przekładki, konstrukcje warstwowe, materiał warstwowy. Zastosowanie kompozytów warstwowych na skalę przemysłową było możliwe dzięki wprowadzeniu nowoczesnych technik łączenia materiałów, takich jak spawanie laserowe, czy klejenie oraz dzięki postępom w inżynierii materiałowej umożliwiającym wytwarzanie nowych materiałów. Wymienione materiały stanowią grupę konstrukcyjnych materiałów inżynierskich, co do których odnotowuje się coraz szersze zastosowanie. Z technologicznego punktu widzenia, w proce-

się wytwarzania i późniejszego montażu występują tu zagadnienia, nie tylko dotyczące wytworzenia poszczególnych materiałów składowych, np. w formie arkuszy, płyt itp., nie tylko ich niezawodnego połączenia w całość, ale również zagadnienia obróbki skrawaniem w celu ukształtowania obrzeży, czy wykonania otworów. I wtedy mogą być stawiane określone wymagania, co do jakości wymiarowo-kształtowej i struktury geometrycznej obrobionej powierzchni. Problem w tym, że występują dwie, trzy, a nawet niekiedy kilka warstw o różnej skrawalności. O ile kwestia skrawalności poszczególnych materiałów składowych kompozytu warstwowego oraz doboru geometrii ostrzy narzędzi skrawających i parametrów procesu skrawania jest dość dobrze rozpoznana, o tyle przypadki skrawalności połączonych w jedną całość materiałów o różnej skrawalności wymagają badań. W zestawieniu, np. stop metalu - kompozyt polimerowy można się spodziewać, że wystąpią w trakcie skrawania różnice, co do powrotu sprężystego warstwy wierzchniej, czy też minimalnej grubości warstwy skrawanej. Stąd też mogą się pojawiać różnice, co do chropowatości powierzchni poszczególnych elementów składowych kompozytów warstwowych, a także różnice wymiarowe. Oczywiście dobrze byłoby, aby to potencjalne zróżnicowanie zmniejszyć do możliwego minimum.

Z drugiej strony, aktualnie obserwowane tendencje rozwoju obróbki skrawaniem narzędziami o określonej geometrii ostrza wskazują, że przesuwa się obszar zastosowania sposobów i rodzajów skrawania w kierunku dużej dokładności wymiarowo-kształtowej wyrobów i wysokiej jakości technologicznej warstwy wierzchniej.

Opisanie więc i poznanie istoty zjawisk determinujących skrawanie konstrukcji warstwowych typu stop metalu - kompozyt polimerowy może dawać znakomitą perspektywę do świadomego sterowania nimi, a także stwarzać potencjał praktycznego wykorzystania tej wiedzy na poziomie warsztatu.

Recenzowana dysertacja, w której Autorka identyfikuje zjawiska z zakresu skrawania kompozytów warstwowych mieści się, przeto w zasadniczym nurcie współczesnych kierunków badań obróbki skrawaniem narzędziami o zdefiniowanej geometrii ostrza. Ponadto, tematyka niniejszej pracy wpisuje się w ogólny nurt wysiłków badawczych mających na celu racjonalizację procesów wytwarzania.

Liczący się w polskiej akademickiej społeczności ośrodek lubelski wnosi twórczy wkład, m. in. w rozwój tych warstw technologii maszyn, które określam, jako metodyczną i merytoryczną. Inicjatywy profesora Józefa Kuczmaszewskiego, znakomitego i powszechnie szanowanego uczonego, są z powodzeniem rozwijane przez Jego uczniów i doskonale znane w środowisku zainteresowanych specjalistów, również na arenie międzynarodowej. Promotorką niniejszej dysertacji jest Pani dr hab. inż. Anna Rudawska, profesor uczelni - wychowanka profesora Józefa Kuczmaszewskiego. Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Elżbiety Doluk, powstała więc na gruncie wcześniejszego rozpoznania merytorycznego i metodycznego rozważanego obszaru inżynierii mechanicznej i stanowi wartościowe ogniwo, logicznie usytuowane w całym ciągu wykonywanych w tym ośrodku prac naukowych.

Wymienione okoliczności poczytuję przeto, jako potwierdzenie **trafności i sensowności wyboru tematyki badawczej**. Uzasadnieniem wspomnianej trafności wyboru jest nie tylko sam fakt usytuowania pracy na szerszym tle ogólnonaukowych badań, ale również i to, że podejmowana w rozprawie doktorskiej tematyka szczegółowa rokuje duże nadzieje poznawcze, a także, co też ma szczególne znaczenie w kontekście rozpatrywanej tematyki, nadzieję na uzyskanie walorów użytkowych.

Strukturę rozprawy stanowi *Wprowadzenie*, sześć ponumerowanych rozdziałów, spis literatury, streszczenie po polsku i po angielsku, spis rysunków i tabel oraz wykaz najważniejszych oznaczeń **Tytuł dysertacji** nie budzi zastrzeżeń.

Cel pracy sformułowany w rozdziale drugim na stronie 59 jest podany jasno. Jest to mianowicie, ocena efektów frezowania II i III warstwowych konstrukcji przekładkowych typu stop alumi-

nium - kompozyt epoksydowo-węglowy oraz stop aluminium - kompozyt epoksydowo-węglowy - stop aluminium. Prócz tego Doktorantka postawiła sobie jeszcze tzw. **cel dodatkowy**, czyli określenie strategii obróbki konstrukcji przekładkowej w zależności od wybranych właściwości materiałów tworzących konstrukcję. Założone cele pracy wynikają z prawidłowego zidentyfikowania niszy badawczej, co przedstawione zostało w podrozdziale 1.5. Dwie postawione w rozdziale drugim **hipotezy badawcze** pracy nie mają charakteru trywialnego i są dobrze ugruntowane w przedstawionym wcześniej materiale. Ten fragment pracy odczytuję, jako fundament intelektualnej konstrukcji budowanej przez Autorkę.

Zakres pracy przedstawiony jest we *Wprowadzeniu* w sposób zwięzły, aczkolwiek wyczerpująco. Na podstawie sformułowanych celów pracy i hipotez oraz przedstawionego zakresu pracy można zrekonstruować **badawczy problem naukowy** recenzowanej rozprawy, jako relację między parametrami frezowania, geometrią ostrzy skrawających, obecnością powłoki na ostrzach i strategią obróbki, a wartością tzw. uskoku, parametrami chropowatości powierzchni obrobionej i jej topografii oraz składowymi siły skrawania.

Wstęp do pracy zatytułowany jako *Wprowadzenie* napisany jest w sposób zwięzły, ale przekonująco i co do jego treści nie zgłaszam zastrzeżeń.

Analiza piśmiennictwa charakteryzująca aktualny stan wiedzy z zakresu podjętej tematyki została zaprezentowana w rozdziale pierwszym. Doktorantka przedstawiła budowę, właściwości i podział paneli typu sandwich. Scharakteryzowała najczęściej stosowane materiały w tego typu konstrukcjach. Omówiła sposoby ich łączenia oraz opisała ich obróbkę skrawaniem. Jako walor tego rozdziału postrzegam również ostatni podrozdział, w którym przedstawione zostały wnioski z analizy literatury oddające w pełni state of the art rozpatrywanego obszaru wiedzy. Dobór analizowanych zagadnień jest prawidłowy i moim zdaniem, pozwala na rekonstrukcję dotychczasowego stanu wiedzy w rozpatrywanym zakresie oraz stanowi solidną podstawę do określenia obszaru badań własnych Autorki. Jest to także właściwa baza wiedzy do postawienia przez Nią hipotez badawczych. Wachlarz prac analizowanych przez Autorkę jest bardzo obszerny. Potrafi Ona umiejętnie zsyntetyzować przedstawiane informacje.

Tą część rozprawy pracy oceniam jako poprawną. Mam jedynie kilka spostrzeżeń, sugestii i pytań:

- 1) str. 7 - akronim CVD został błędnie objaśniony jako powłoka diamentowa;
- 2) str. 8 - akronim ZNC został objaśniony jako powłoka azotku cyrkonu;
- 3) w *Wykazie najważniejszych oznaczeń* dobrze byłoby dodać polskie nazwy do akronimów pochodzących od słów angielskich, np. w odniesieniu do PMC i odwrotnie, np. w odniesieniu do UHM, gdzie podana jest tylko nazwa w języku polskim, akronim zaś został utworzony na bazie słów języka angielskiego;
- 4) str. 9, wiersz 1d - „optymalne...” ze względu na co?

Zasadniczą część rozprawy z punktu widzenia etapów badania naukowego, stanowią rozdziały, w których Autorka referuje **metodykę, wyniki i analizę wyników badań własnych**. Są to rozdziały 3, 4 i 5. W rozdziale trzecim dotyczącym metodyki badań własnych scharakteryzowano materiały zastosowane w badaniach eksperymentalnych, sposób ich łączenia, kształt i rozmiary próbek. Scharakteryzowano i uzasadniono dobór narzędzi i parametrów obróbki. Omówiono metodykę pomiarów wielkości wynikowych. Przedstawiono sposób statystycznego opracowania wyników badań. Rozdział czwarty zawiera wyniki badań wstępnych, które posłużyły do określenia geometrii frezów i zestawu parametrów obróbki do badań zasadniczych. Rozdział piąty poświęcony jest przedstawieniu wyników zasadniczych badań własnych. Rozdział ten podzielony jest na trzy części - pierwsza dotyczy wyników badań tzw. uskoku, w drugiej zaś - pokazano rezultaty pomiarów chropowatości i topografii obrobionych powierzchni. W trzeciej Autorka relacjonuje wyniki pomia-

rów składowych siły skrawania. Prezentacji wyników każdorazowo towarzyszy wnikliwa analiza, obszerny komentarz oraz podsumowanie.

Moje sugestie, spostrzeżenia i zapytania do tej części pracy są następujące:

- 1) w nagłówku rozdziału trzeciego błędnie podano nazwę rozdziału drugiego;
- 2) tabela 3.6 - byłoby bardziej komunikatywnie, gdyby kolumna druga miała w nagłówku v_c , a trzecia f_z ;
- 3) tabela 4.1 - mogłoby być podane, co to jest RMSSE, Df efektu itp.;
- 4) tabele 5.2, 5.4 i 5.5 - brak wyjaśnienia użytych symboli;
- 5) rys. 5.2 i 5.3 - jak należy rozumieć określenie „profil powierzchni”?
- 6) rys. 5.2 i 5.3 - jak można wytłumaczyć tak duże różnice?
- 7) str. 100, wiersz 7d - zamiast „odcinka” powinno być „stanowiska”;
- 8) str. 135, wiersz 15g - brak słowa „powierzchni”;
- 9) str. 141 - nazwę podrozdziału 5.3.3 lepiej byłoby sformułować następująco: „Podsumowanie pomiarów składowych siły skrawania”.

Na podstawie dotąd przeprowadzonej analizy można podjąć próbę rekonstrukcji **osiągnięcia naukowego rozprawy**. Jako elementy tego osiągnięcia widocznie odróżniające je od aktualnego stanu wiedzy w rozpatrywanej problematyce oraz świadczące o oryginalności rozprawy uważam:

- wykazanie, że po frezowaniu obwodowym konstrukcji warstwowej odnotowuje się powstawanie niepożądanego uskoku na granicy łączonych materiałów;
- ustalenie, że parametry skrawania v_c i f_z , element geometrii ostrza A_1 , strategia skrawania oraz obecność powłoki TiAlN na ostrzach lub jej brak mają wpływ na wartość pojawiającego się uskoku;
- wyznaczenie wartości wyżej wymienionych czynników zapewniających uzyskanie minimalnych wartości uskoku w realizowanym zakresie badań;
- identyfikację wpływu strategii frezowania i zastosowania powłoki na ostrzach na chropowatość i strukturę powierzchni obrobionej;
- sformułowanie tzw. wskaźnika jakości powierzchni konstrukcji warstwowych odzwierciedlającego wartość uskoku, a pozwalającego na określenie obszaru powtarzalności procesu mieszczącego się w granicach tolerancji;
- zaproponowanie tzw. wskaźnika jednorodności powierzchni konstrukcji warstwowej określającego poziom jednorodności chropowatości powierzchni obrobionej;
- dokonanie oceny wpływu strategii frezowania i obecności powłoki narzędziowej na składowe siły skrawania podczas frezowania konstrukcji II warstwowej typu stop aluminium - kompozyt epoksydowo-węglowy.

Na podkreślenie zasługuje to, że Doktorantka zastosowała w swojej pracy adekwatne do potrzeb narzędzia formalne dotyczące prezentacji wyników badań, a także nowoczesną aparaturę badawczą. Program badań doświadczalnych jest bardzo bogaty obfitujący wielką liczbą uzyskanych danych. Autorka zastosowała aparat metodyczny właściwy do założonych celów.

Rozdział szósty zatytułowany jest *Podsumowanie i wnioski końcowe* i zawiera zestawienie wniosków. Na pierwszy rzut oka wydaje się, że liczba wniosków jest zbyt duża. Autorka, bowiem sformułowała ich aż 18. Wnikliwa lektura jednakże potwierdza słuszność takiego podejścia. Niektóre wnioski mają charakter użytkowy i mogą być przydatne nie tylko w praktyce przemysłowej, lecz mogą również służyć badaczom procesu skrawania. Moim zdaniem, rozdział ten mógłby być bardziej komunikatywny, gdyby był opracowany zgodnie z dość powszechnie respektowaną tradycją akademicką, to znaczy wnioski końcowe można by podzielić odpowiednio na: wnioski dotyczące postawionych hipotez, wnioski poznawcze, użytkowe i charakterystykę kierunków dalszych badań. W rozdziale tym sformułowano również zalecenia, co do dalszych badań.

W odniesieniu do całości tekstu nasuwają mi się jeszcze następujące uwagi:

- 1) zdarza się niewłaściwe używanie niektórych określeń, np.: "wyższy" zamiast "większy", np. na stronach 8, 84, 88; „niski" zamiast „mały" - na wielu stronach pracy; „obniżenie", gdy lepiej byłoby „zmniejszenie", np. na stronie 12; „wykorzystanie", choć lepiej byłoby „zastosowanie" - na wielu stronach pracy; w większości zaznaczyłem to, jako moje sugestie w dostarczonym mi egzemplarzu pracy.

Bardzo obszerna bibliografia zamieszczona w końcowej części pracy zawiera 169 pozycji, w tym stosowne normy. Są tam oprócz klasycznych dzieł, m.in. najnowsze pozycje z literatury światowej.

2. Ocena rozprawy

Przedstawiona analiza rozprawy zawiera wystarczające, moim zdaniem przesłanki do sformułowania oceny. Treść rozprawy jest zgodna, z tematem zaakceptowanym przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Lubelskiej w Lublinie. Podjęty temat jest ważny zarówno z poznawczych, jak i praktycznych względów i opracowany został obszernie i wyczerpująco. Sformułowane w niniejszej recenzji uwagi nie umniejszają wartości materiału dowodowego pracy, w większości albowiem odnoszą się do sposobu prezentacji uzyskanych wyników lub są kanwą do dyskusji z Autorką. Nie mogą, więc stanowić podstawy do kwestionowania wartości pracy.

Pod względem metodycznym rozprawa jest poprawna. Literatura specjalistyczna została dobrana trafnie. Układ rozprawy i podział treści między poszczególne rozdziały jest logiczny. Zbiór pojęciowy, jakim posługuje się Autorka, jest poprawny. Strona ilustracyjna pracy jest dobrej jakości, redakcja rozprawy nie wykazuje niedociągnięć.

Godna podziwu jest pracowitość Doktorantki. Mgr inż. Elżbieta Doluk wykonała wartościową pracę badawczą i wykazała się dogłębną znajomością warsztatu naukowego. W rozprawie zawarła solidną podbudowę teoretyczną, poprawnie zaplanowała i wykonała badania eksperymentalne, w sposób czytelny przedstawiła ich wyniki, wykonała analizę otrzymanych rezultatów opatrując je stosownymi komentarzami. Bardzo precyzyjnie i klarownie ujęte jest uzasadnienie podjęcia badań własnych. Metodyka badań doświadczalnych została przedstawiona równie bardzo klarownie, ze stosownym uzasadnieniem liczebności próby, co chciałbym szczególnie podkreślić. Wyniki badań własnych zaprezentowane są także jasno. Na podkreślenie zasługuje poprawne statystyczne opracowanie uzyskanych wyników badań eksperymentalnych. Zastosowane procedury statystycznego opracowania wyników badań oceniam jako wzorcowe dla tego typu prac eksperymentalnych. Doktorantka udowodniła zatem, że potrafi w bardzo skuteczny sposób dokonywać analizy subtelnych zjawisk towarzyszących skrawaniu.

Warunkiem dysertabilności rozprawy doktorskiej jest jej związek z problemem metodologicznym, metodycznym lub poznawczym bezpośrednio lub pośrednio wpływającym na stan wiedzy. W przypadku recenzowanej rozprawy warunek ten jest spełniony pod względem drugiego i trzeciego z wymienionych aspektów, co wykazałem w analizie rozprawy. Rozprawa jest w wystarczającym stopniu poprawna metodologicznie, gdyż zawiera elementy, które w metodologii nauk określa się, jako etapy badania naukowego.

Na podstawie analizy rozprawy oraz można stwierdzić, że jest Ona przygotowana do prowadzenia samodzielnej pracy naukowej. Doktorantka wydatnie poszerzyła swoją wiedzę z zakresu warsztatu badawczego w obróbce skrawaniem oraz znajomości procesu frezowania kompozytów warstwowych, w szczególności składających się ze stopów aluminium i kompozytów epoksydowo-węglowych. Na podstawie własnego doświadczenia, w roli promotora i recenzenta prac doktorskich, oceniam analizowaną dysertację, jako prawidłowo opracowaną rozprawę doktorską.

Podsumowując moją ocenę stwierdzam, że rozprawa:

- spełnia wymóg oryginalnego rozwiązania przez Autorkę zagadnienia naukowego,
- spełnia wymóg wykazania Jej ogólnej wiedzy teoretycznej w uprawianej dyscyplinie
- oraz wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Autorkę pracy naukowej.

3. Wniosek końcowy

W świetle dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Elżbiety Doluk pt. *Frezowanie konstrukcji przekładkowej stop aluminium - kompozyt epoksydowo-węglowy* spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące w tym względzie aktualne przepisy ((Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789); rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 poz. 261); ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668)) oraz tradycję akademicką i może stanowić podstawę do nadania jej Autorce stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie *Inżynieria mechaniczna*. Może być, przeto dopuszczona do publicznej obrony.

