

**Prof. dr hab. inż. Bogdan Kruszyński**

**Politechnika Łódzka**

## **Recenzja**

**pracy doktorskiej mgr inż. Piotra Tyczyńskiego**

**pt. Modyfikacja parametrów geometrycznych wiertel do kątownego wiercenia w elementach o powierzchniach płaskich i cylindrycznych wykonanych z materiałów kompozytowych stosowanych w lotnictwie.**

*Recenzja wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, prof. dr hab. inż. Jarosława Sępa.*

### **1. Ocena wyboru tematu pracy**

Praca doktorska Pana mgra inż. **Piotra Tyczyńskiego** dotyczy niezwykle ważnego zagadnienia zapewnienia jakości otworów podczas wiercenia materiałów kompozytowych. Materiały tego typu są powszechnie stosowane w lotnictwie a jakość przedmiotu obrabianego jest kluczowym zagadnieniem, między innymi z punktu widzenia bezpieczeństwa.

Obróbka otworów w kompozytach lotniczych jest jedną z kluczowych operacji ze względu na sposób łączenia elementów. Dlatego obróbka ta nie może powodować delaminacji ani uszkodzenia włókien wzmacniających. Jednym ze sposobów zapewnienia właściwej jakości wierconych otworów jest dobór odpowiedniej geometrii wiertel.

Problem ten jest trudny do uniwersalnego rozwiązania z uwagi na dużą różnorodność obrabianych kompozytów, ich struktury, sposobu ułożenia warstw i ich właściwości, ukierunkowania włókien wzmacniających, itp. Ponadto częste są przypadki wiercenia w kierunku nieprostym do powierzchni czołowej i wiercenia w powierzchniach o zarysie krzywoliniowym co dodatkowo utrudnia optymalizację, czy chociażby racjonalny dobór geometrii wiertel i warunków wiercenia.

Osobnym zagadnieniem, istotnym z punktu widzenia ekonomiki obróbki, jest zapewnienie takich warunków obróbki aby możliwie wydłużyć okres trwałości narzędzia.

Wszystkimi tymi zagadnieniami zajął się doktorant w swojej dysertacji co dało w efekcie szeroki materiał badawczy, który może być przydatny zarówno w dalszych badaniach naukowych jak i w doborze geometrii i warunków obróbki w praktyce przemysłowej.

Dlatego uważam, że wybór tematyki pracy doktorskiej jest w pełni uzasadniony i odpowiada aktualnym potrzebom przemysłu lotniczego.

## 2. Ocena merytoryczna pracy

Praca licząca 181 stron składa się zaledwie z trzech rozdziałów poprzedzonych spisem oznaczeń i akronimów wykorzystanych w pracy oraz ze spisu literatury zawierającego wykaz 64 publikacji wykorzystanych w pracy oraz streszczeń w języku polskim i angielskim.

W spisie oznaczeń i akronimów zauważyłem pewne usterki, a mianowicie

- dwukrotne powtórzenie definicji CFRP z niewłaściwą pisownią „feiber” zamiast „fiber”,
- symbol liczby Poissona oznaczony dużą literą,
- użycie niewłaściwego pojęcia „siła naporu”. Właściwe jest pojęcie siła osiowa.
- z rysunków w dalszej części pracy wynika, że wypadkowa sił skrawania na jednym ostrzu jest sumą geometryczną siły osiowej oznaczonej  $F_z$  (aby zachować jednolitość systemu oznaczeń powinno być  $F_a$ ) i siły promieniowej  $F_r$ . Dlaczego pominięto siłę skrawania  $F_c$  prostopadłą do dwóch poprzednio wymienionych?
- w angielskiej nazwie metody MQL nie ma pojęcia „chłodzenia”. Przyjętym tłumaczeniem jest podawanie cieczy obróbkowej z minimalnym wydatkiem,
- nie wszystkie akronimy użyte w pracy znajdują się w spisie – np. MMS str. 31.
- spis ten mógłby być uszeregowany alfabetycznie.

Podana w spisie literatura jest dobrana prawidłowo. Cytowania w pracy powinny być przedstawione w sposób uporządkowany a nie w kolejności przypadkowej co znacznie utrudnia wyszukiwanie odpowiednich pozycji literaturowych.

We **Wprowadzeniu** Doktorant skrótkowo opisał zagadnienia i problemy występujące podczas obróbki materiałów kompozytowych uzasadniając wybór tematyki pracy.

**Rozdział 1** zatytułowany został „Analiza stanu zagadnienia”. Poza tą analizą zawiera również tezę i cele pracy. W **pierwszej części rozdziału** Autor scharakteryzował materiały kompozytowe ze szczególnym uwzględnieniem materiałów stosowanych w lotnictwie opisując ich strukturę i właściwości. Ta część pracy jest przedstawiona prawidłowo i wyczerpująco.

**Druga część rozdziału** jest poświęcona obróbce ubytkowej materiałów kompozytowych. Autor omawia tutaj problemy występujące podczas obróbki tworzyw kompozytowych, urządzenia technologiczne, narzędzia, metody wiercenia oraz modyfikacje geometrii narzędzia. Niepotrzebny, moim zdaniem, jest rozdział 1.2.3 „Maszyny i urządzenia do wiercenia materiałów kompozytowych”, nie wnoszący merytorycznie istotnych dla pracy informacji. Ważny natomiast jest rozdział 1.2.4 dotyczący narzędzi i ich geometrii. Jednak lektura tego podrozdziału jest utrudniona z uwagi na brak rysunków ilustrujących jego treść.

Wnioski podsumowujące tę część pracy są prawidłowe, dotyczą również wskazówek nie związanych ściśle z tematem pracy. Brak w podsumowaniu konkretnych informacji wskazujących na uzasadnienie wyboru np. sposobu modyfikowania geometrii wiertła. Autor niewątpliwie posiada taką wiedzę ponieważ na stronie 55 wspomina „Przegląd literatury światowej pozwolił na stworzenie określonej bazy teoretyczno praktycznej.....”

Przyjęte w rozdziale 1.4 teza i cele pracy nakreślają bardzo szeroki zakres badań doświadczalnych. Jest to niewątpliwa, istotna zaleta pracy. Autor wykonał bardzo dużą liczbę prób co jest obecnie rzadko spotykane w pracach doktorskich, w których kładziony jest nacisk na rozważania teoretyczne a badania są ograniczane do tzw. „eksperymentu numerycznego”.

Inne uwagi o mniejszym znaczeniu merytorycznym, to:

- wyliczając zjawiska negatywne występujące podczas obróbki kompozytów Autor zamieszcza również (str. 26) wymagania odnośnie do wyników obróbki, jak np.: uzyskanie odpowiedniej chropowatości, uzyskanie poprawnej geometrii otworu, itd.
- generowanie ciepła w strefie skrawania Doktorant ogranicza tylko do strefy tarcia wióra o powierzchnię natarcia narzędzia chociaż jest to tylko jedno ze źródeł ciepła w procesie skrawania i nie oddziałuje ono bezpośrednio na materiał obrabiany. Poza tym, Autor sygnalizuje usuwanie materiału obrabianego w postaci pyłu więc nie jest to podstawowe źródło ciepła,
- poprawna nazwa naprężeń pozostających po obróbce w materiale obrabianym to „naprężenia własne”,
- we wzorze na str. 38 nie podano znaczenia symbolu  $G_{IC}$ . Nie jest też jasne, której warstwy laminatu dotyczą stałe materiałowe,
- co oznacza pojęcie (str. 39) „pod kątem  $0^\circ$  do kierunku włókien”? Rysunek wyjaśniłby wątpliwości.
- opis rys. 20 nie jest prawidłowy. W tekście stwierdzono, że siła osiowa rośnie wraz ze wzrostem posuwu, natomiast na rysunku jest dokładnie odwrotnie,
- nie jest jasne co oznacza pojęcie „koncentryczny charakter sił skrawania” (str. 42)?

- Autor myli pojęcia „właściwości skrawne” (dot. narzędzia) ze skrawalnością (dot. materiału obrabianego)

**Rozdział 2** to „Badania własne”. Rozdział bardzo obszerny liczący ponad 100 stron. Wynika to przede wszystkim z bardzo szerokiego programu badań.

Niezbyt adekwatny jest tutaj tytuł rozdziału 2.3 „Badania teoretyczne” nie zawierający tego typu badań a jedynie zasygnalizowanie problemów obróbkowych i ich przyczyn.

Autor zaproponował wiele sposobów modyfikacji wiertel przedstawionych na rys. 39-49. Brakuje tutaj bardziej szczegółowego opisu tych modyfikacji a rysunki nie zawsze umożliwiają ich analizę. Bardzo pomogłyby tutaj powiększenia części roboczej wiertel i chociażby krótki opis wprowadzonych modyfikacji. Ponadto Autor powinien sprecyzować dlaczego akurat takie modyfikacje zaproponował.

W rozdziale 2.3 Autor opisuje badania eksperymentalne co jest najbardziej wartościową częścią pracy. Badania te podzielił na badania pilotażowe i systematyczne. Bardzo ciekawe były przeprowadzone badania z wykorzystaniem materiałów elastooptycznych pozwalające na ocenę wielkości naprężeń w trakcie i po obróbce otworów i wyciągnięcie ciekawych wniosków.

Opisane w rozdziale 2.4 badania systematyczne zawierają bardzo duży materiał badawczy i ich opis powinien być bardziej usystematyzowany. Największym problemem dla czytającego jest zamieszczenie wyników w postaci zdjęć i wykresów na ponad 50 stronach (strony 95-147) bez jednego słowa komentarza. Śledzenie późniejszej analizy wyników wymaga ciągłego cofania się w tekście i wynajdywania poszczególnych rysunków czy wykresów, ponieważ Autor nie powołuje się w analizie na odpowiednie rysunki.

Pozostałe uwagi i pytania do tego rozdziału:

- nieprawidłowe pojęcie „żywność” zamiast „trwałość”,
- czy wiertła pokazane na rys 58 i 59 zastosowane do prób trwałościowych to są wiertła badane wcześniej czy też zastosowano jeszcze inne modyfikacje?
- niewłaściwe pojęcia „do badań testów”, „wykres przedstawiający pomiar momentu”, itp.,
- dlaczego przyjęto jako wartość kryterialną 100% wartości początkowej siły osiowej i dlaczego część prób kończono przed osiągnięciem wartości kryterialnej?
- co oznacza „promieniowa dystrybucja sił”, czy „kierunek dystrybucji”?

W **rozdziale 3** Doktorant przedstawił wnioski z przeprowadzonych badań. W większości są to wnioski prawidłowe. Nie ustrzegł się tu jednak nieprecyzyjnych pojęć typu „odpowiedni dobór parametrów”, „odpowiednia modyfikacja”, „relatywnie mała wartość”, itp. Wniosek pierwszy jest natomiast powtórzeniem tezy.

### 3 Wniosek końcowy

Uważam, że przedstawiona mi do recenzji praca doktorska mgr inż. Piotra Tyczyńskiego pt. „Modyfikacja parametrów geometrycznych wiertel do kątownego wiercenia w elementach o powierzchniach płaskich i cylindrycznych wykonanych z materiałów kompozytowych stosowanych w lotnictwie” jest wartościowa i wnosi nową wiedzę do dyscypliny naukowej Budowa i Eksploatacja Maszyn w odniesieniu do tak trudnego procesu technologicznego jakim jest wiercenie otworów w zaawansowanych materiałach kompozytowych. Doktorant wykazał się wiedzą, umiejętnością analizy literatury światowej dotyczącej tematu rozprawy. Potrafił zaplanować i zrealizować program badawczy, który doprowadził do udowodnienia postawionej tezy. Umiejętnie posługiwał się różnorodną aparaturą badawczą. Wymienione w recenzji usterki mają w większości charakter porządkowy i nie obniżają pozytywnej oceny pracy.

**Dlatego uważam, analizowana praca w pełni odpowiada wymaganiom stawianym pracom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

*Borowicz Tomasz*

Łódź 15 maja 2015 roku