

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mariusza Dębskiego pt. „Badania i analiza walcowych elementów maszyn wytwarzanych hybrydowymi metodami szybkiego prototypowania” opracowana na podstawie uchwały RD IMech nr 03/04/2023 Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza.

1. Przedstawienie informacji o ocenianej rozprawie doktorskiej wg wytycznych zawartych w umowie dotyczącej sporządzenia niniejszej recenzji

1.1. Tytuł rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się w aktualnym postępowaniu o nadanie stopnia doktora

Szybkie prototypowanie (ang. Rapid prototyping) jest grupą bardzo dynamicznie rozwijających się w ostatnich latach technik wytwarzania obiektów rzeczywistych i świadczy o tym przykładowo liczba 64 publikacji przywołanych przez Autora rozprawy w bibliografii oraz opublikowanych od roku 2020. W części publikacji badania dotyczą często próbek o bardzo nieskomplikowanych kształtach, a tymczasem Autor niniejszej rozprawy podjął się opracowania metodyki wytwarzania hybrydowego i badania części, które bez wątpienia w pewnych zastosowaniach mogą pełnić rolę wałów maszynowych. **Z powyższych powodów podjętą w rozprawie doktorskiej tematykę uważam za aktualną oraz ważną ze względów naukowych, poznawczych, a także użytkowych, a jej tytuł uznaję za właściwy.**



1.2. Ocena układu rozprawy doktorskiej w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

Liczba rozdziałów i podrozdziałów nie jest przesadnie duża, a **układ rozprawy uznaję za jak najbardziej poprawny**. Rozdział pierwszy jest wprowadzeniem do tematu rozprawy. Rozdział drugi stanowi analizę literatury dotyczącej badanego zagadnienia oraz co istotne przywołano w nim bardzo aktualne pozycje literatury i szerzej zostanie to przedstawione w punkcie „1.3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej”. Na tej podstawie Autor w rozdziale trzecim formułuje cel pracy, przemyślaną tezę, a także bardzo obszerny zakres pracy wymagający przygotowania i zbadania około dwustu próbek wykonanych z różnych materiałów oraz wytwarzanych różnymi technikami. W rozdziale czwartym Doktorant przedstawia metodykę badawczą i bardzo nowoczesną aparaturę stosowaną do badań. Rozdział piąty zawiera wyniki badań doświadczalnych i analiz dotyczących: struktury geometrycznej powierzchni próbek, różnych prób wytrzymałościowych zastosowanych w pracy i skaningowej kalorymetrii różnicowej. Rozdział szósty stanowi podsumowanie rozprawy i przedstawiono w nim istotne wnioski dotyczące przyrostowego wytwarzania elementów metodą ekstruzji warstwowej oraz opracowaną autorską technologię hybrydową. Na końcu pracy zamieszczono wykaz literatury, a także streszczenia w języku polskim i angielskim.

1.3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

Wykaz literatury liczy 160 starannie wybranych pozycji dotyczących tematu rozprawy, a na szczególną uwagę, po pierwsze, zasługuje to, że aż 138 pozycji zostało opublikowanych w języku angielskim, a jedynie dwadzieścia dwie w języku polskim. Po drugie:

- aż 64 pozycje przywołane przez Autora rozprawy zostały opublikowane w roku 2020 lub później (ostatnie 3 lata),
- aż 103 pozycje przywołane przez Autora rozprawy zostały opublikowane w roku 2018 lub później (ostatnie 5 lat),
- jedynie 10 ze 160 publikacji zostało opublikowanych przed rokiem 2012 (ostatnie 11 lat),

Man

co rzadko się zdarza w rozprawach doktorskich i należy to zdecydowanie odnotować „na plus” dla Doktoranta. Niewątpliwie wynika to w pewnym stopniu z aktualności tematyki podjętej przez Autora rozprawy, ale również i jego dociekliwości w zgłębianiu literatury. Ponadto wszystkie pozycje zamieszczone w wykazie literatury zostały przywołane w tekście rozprawy.

1.4. Wskazanie oraz ocena celu pracy Kandydata

„Celem pracy było opracowanie metodyki wywarzania elementów maszyn pracujących w zakresie obciążeń skręcających, o zadanej wytrzymałości z zastosowaniem technologii hybrydowych (przyrostowej i odlewniczej)”. **Przywołany cel oceniam bardzo wysoko, gdyż opracowany proces wytwarzania eliminuje przykładowo konieczność dodatkowego projektowania form silikonowych.**

1.5. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

Do sprawdzenia wpływu różnych technik wytwarzania elementów, w tym opracowanej własnej technologii hybrydowej oraz zastosowania różnych materiałów stosowanych na badane elementy kandydat do stopnia doktora słusznie wybrał metody badawcze zorientowane na:

- określenie dokładności wymiarowo-kształtowej wykonanych elementów poddanych dalszym badaniom,
- wykonanie statycznych prób wytrzymałości na rozciąganie, zginanie i szczególnie istotne w niniejszej pracy skręcanie,
- analizę przelomów próbek powstałych po statycznej próbie skręcania,
- przeprowadzenie badań termicznych metodą skaningowej kalorymetrii różnicowej.

Przedstawiona procedura badawcza nie budzi zastrzeżeń recenzenta i w jego ocenie jest jak najbardziej poprawna. Natomiast jeżeli chodzi o wykorzystane urządzenia badawcze to można stwierdzić, że zastosowano bardzo nowoczesną aparaturę w tym:

- bezdotykowy system optyczny ATOS II Triple Scan,

- profilometr 3D Talyscan 150,
 - maszynę wytrzymałościową INSTRON 5967,
 - kalorymetr przepływowy DSC 214 Polyma,
- oraz nowoczesne urządzenia do wytwarzania obiektów badań w tym urządzenie drukujące Prusa i3 Mk3, a w szczególności komorę do odlewania próżniowego Schüchl UHG-400 Easy. Dobór użytej aparatury również uważam za właściwy.

1.6. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Doktorant bardzo dobrze omawia uzyskane wyniki badań, przykładowo dotyczące: dokładności wymiarowo-kształtowej prowadzonej przy wykorzystaniu bezdotykowego systemu optycznego ATO II Triple Scan oraz wytrzymałości próbek uzyskanych podczas badań i poprawnie wiąże uzyskiwane wyniki w obu przywołanych przypadkach z zastosowaną metodą wytwarzania, a także opisuje ich słabe punkty. Omówienie wyników w innych przypadkach również nie budzi uwag recenzenta i jest na wysokim poziomie.

1.7. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

W tak dynamicznie rozwijających się technikach wytwarzania, jak będące przedmiotem niniejszej rozprawy, w przypadku których każdy rok przynosi istotny postęp sprzętowy i poznawczy, uzyskane przez Autora wyniki należy uznać za bardzo ważne ze względów praktycznych i aplikacyjnych. Jak już wskazano w punkcie 1.1 w wielu przypadkach autorzy publikacji badają elementy wytwarzane metodami szybkiego prototypowania, ale często są to elementy o bardzo nieskomplikowanych kształtach i bliżej nieokreślonych zastosowaniach, podczas gdy Autor rozprawy przeprowadził badania elementów, które mogą być stosowane jako wały maszynowe. Rzecz jasna w obliczeniach wałów stosuje się dwa podstawowe kryteria. Po pierwsze analizuje się wytrzymałość wału i wyniki takich badań doświadczalnych Autor przedstawił w swojej rozprawie, a po drugie weryfikuje się sztywność skrętną. W zależności od zastosowania raz wymaga się wysokiej sztywności skrętnej jak ma to miejsce w przypadku większości stosowanych wałów maszynowych, ale występują również przypadki kiedy od wałów wymaga się niższej sztywności skrętnej np. w celu łagodzenia drgań skrętnych elementów,

z którymi współpracuje wał. Przykładem mogą być wały stanowisk do badania kół zębatych pracujących w układzie mocy zamkniętej. Z tego powodu wyniki dotyczące wpływu różnych materiałów, różnych sposobów wytwarzania obiektów badań, na możliwe do przeniesienia wartości momentów skręcających oraz kąty, przy których następuje zniszczenie elementu należy uznać za bardzo ważne. Dodatkowo istotne jest to, że Autor wykazał, iż wały wykonane niektórymi technikami lub z niektórych materiałów ulegają zniszczeniu przy bardzo małych kątach skręcenia i wykazują charakter „tzw. kruchego pęknięcia”, co w przypadku niektórych układów przeniesienia napędu może być niebezpieczne, a inne wykazują bardzo duże kąty skręcenia zanim dojdzie do całkowitego zniszczenia elementu. Wystąpienie wyższych wartości kątów skręcenia wału, zanim dojdzie do jego zniszczenia, jest bardzo ważne, gdyż informacja ta może być użyta do budowania nieskomplikowanych systemów diagnostycznych takich wałów. Przykładowo stosując na końcach wału układ generujący i rejestrujący sygnał zawierający jeden impuls na jeden obrót tego elementu oraz porównując zmianę przesunięcia fazowego pomiędzy impulsami tych sygnałów rejestrowanych na końcach wału z dopuszczalnym przesunięciem fazowym wynikającym z dopuszczalnego przyjętego kąta skręcenia wału (dla danego materiału i sposobu wytwarzania tego elementu) można wygenerować sygnał alarmowy, informujący o osiągnięciu dopuszczalnego kąta skręcenia i wiążącego się z tym niebezpieczeństwa zniszczenia wału. Na praktyczne zastosowanie wskazują również wyniki badań elementów wykonanych z tych samych materiałów, ale różnymi technikami układania warstw, co znacząco wpływa na dokładność wymiarową i wartość przenoszonego momentu obrotowego oraz skłonność do tzw. „kruchego pęknięcia”, a także uzyskiwany przelom. **Praktyczny wymiar uzyskanych wyników badań oceniam bardzo wysoko.**

1.8. Informacja o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie:

- Zdaniem recenzenta można było w wykazie oznaczeń podać wyjaśnienie skrótu DLP, ale ze względu na to, że Autor zapisał: „Wykaz ważniejszych oznaczeń” nie jest to bezwzględnie wymagane, a jedynie stanowi wskazówkę w przypadku późniejszych publikacji. Zwłaszcza, że Autor pierwszy raz przywołując ten skrót na stronie jedenastej wyjaśnił jego znaczenie.

- Autor rozprawy w tabeli 4.7 zastosował kropkę jako znak dziesiętny zamiast przecinka, który jest stosowany w języku polskim.
- Autor rozprawy na stronie nr 71 pisząc: „Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że profile chropowatości powierzchni próbek wykonanych z polilaktydu w ułożeniu pionowym względem platformy roboczej urządzenia są identyczne jak w przypadku tych samych próbek wykonanych z kopolimeru ABS.” zastosował skrót myślowy i chodziło mu o to, że wyniki przedstawione na rysunku 5.45 wykazują wysokie podobieństwo do wyników przedstawionych na rysunku 5.33 ale nie są identyczne, gdyż przykładowo na rysunku 5.33 na odcinku 3 mm obserwuje się 6 lokalnych maksimum o wartości mniejszej lub równej 10 μm , a na rysunku 5.45 jest takich lokalnych maksimum 7. Poza tym, porównując wyniki lepiej było przywołać również numery rysunków przedstawiających opisywane wyniki. Zdaniem recenzenta sprawa ta będzie jasna dla Doktoranta, gdyż w wielu innych miejscach starannie pilnował On precyzji opisu.
- Zdaniem recenzenta współczynnik zmienności jest to wyrażony w procentach stosunek odchylenia standardowego do wartości średniej a zatem:
 - o w tabelach 5.7-5.21 celowym byłoby zapisanie jednostki tego współczynnika jako %, ponieważ w przeciwnym przypadku można (jak rozumiem błędnie) wnioskować, że wyrażony jest on w MPa lub Nm,
 - o zdaniem recenzenta wartości współczynnika zmienności przykładowo podane w tabeli 5.7 i obliczone na podstawie wartości średniej oraz odchylenia standardowego podanych w tej tabeli, a także zapisywane w odpowiednim wierszu od lewej strony powinny wynosić: 1,6; 1,9; 7,1; 5,6; a nie jak odpowiednio podano w tej tabeli 1,5; 1,8; 4,2; 4,9. Podobne różnice dotyczą również innych tabel, gdzie występuje współczynnik zmienności. Bardzo prosiłbym, aby Autor rozprawy zwięźle wypowiedział się na temat przyczyny różnicy wartości podanych w pracy i wyliczonych przez recenzenta.
- Na rysunku 5.49 zapisano jednostkę jako „Mpa” zamiast „MPa”. Należy to uznać za przypadkowy błąd literowy, gdyż Autor w bardzo wielu miejscach rozprawy poprawnie zapisywał tę jednostkę.

- Autor rozprawy na stronie nr 79 popełnił przypadkowy błąd literowy, gdyż zapisał „naprężeń” zamiast „naprężeń”. Również w bardzo wielu miejscach rozprawy poprawnie zapisywał to słowo lub jego odmianę.

Wszystkie zapisane w tym podpunkcie nieprawidłowości nie zmniejszają wartości naukowej, poznawczej i utylitarnej recenzowanej rozprawy doktorskiej.

1.9. Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Zdaniem recenzenta opiniowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, gdyż Autor opracował metodykę wytwarzania elementów maszyn pracujących na skręcanie, a w wyniku badań około dwustu próbek wykazał wpływ zastosowanej metody wytwarzania i zastosowanego materiału na parametry wytrzymałościowe oraz odkształcenia, a także strukturę przelomu po zniszczeniu elementu. Wiele cennych argumentów zawarto również w punktach 1.1 i 1.2 oraz 1.4 - 1.7 niniejszej recenzji, ale ponowne przywoływanie ich w kontekście uzasadnienia punktu 1.9 nie jest już celowe.

1.10. Ocena czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie albo w dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej

Bez wątplenia Autor pracy wykazuje się bardzo dużą wiedzą teoretyczną w zakresie dyscypliny inżynieria mechaniczna i było to widoczne w rozdziałach 2, 4, 5 i 6, oraz w szczególności podczas opracowania metodyki wytwarzania elementów maszyn, a także wnioskowania na podstawie otrzymywanych wyników badań.

2. Uwagi polemiczne i zapytania

Jak wynika z treści recenzji opiniowaną pracę oceniam bardzo wysoko. W naturalny sposób lektura każdej rozprawy skłania do pewnych uwag polemicznych i pytań:

- 2.1. Bardzo proszę, aby Autor rozprawy zwięźle wypowiedział się w trakcie publicznej obrony rozprawy doktorskiej czy dokładność umieszczania znaczników na powierzchni badanego obiektu wpływa na dokładność wyników uzyskiwanych

przy zastosowaniu bezdotykowego systemu optycznego ATOS II Triple Scan, a jeżeli tak to jakie procedury zastosowano, aby uzyskać wymaganą dokładność umieszczania znaczników na powierzchni badanego obiektu.

2.2. Autor rozprawy dokładanie opisał przełomy powstałe w wyniku zniszczenia badanych obiektów. Bardzo prosiłbym, aby wypowiedział się w trakcie publicznej obrony rozprawy doktorskiej czy zauważył po zakończeniu prób wytrzymałościowych jakies niepokojące efekty występujące w obszarze zastosowanych połączeń wielowypustowych oraz jeżeli tak to w przypadku jakich materiałów i technik wytwarzania one wystąpiły.

Niniejsze pytania nie są próbą podważenia wysokiej wartości naukowej i poznawczej uzyskanych wyników badań, a jedynie wynikają z ciekawości badawczej recenzenta.

3. Wnioski końcowe

Stwierdzam, że recenzowana praca doktorska mieszcząca się w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim i dlatego wnioskuję do Wysokiej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza o przyjęcie recenzowanej pracy oraz o dopuszczenie Mariusza DĘBSKIEGO do jej publicznej obrony.

Niniejsza rozprawa oprócz uzyskanych osiągnięć naukowych i poznawczych ma bardzo praktyczne wyniki, a mianowicie rozpoznanie: wpływu techniki wytwarzania elementów maszynowych, a także materiału na uzyskiwane parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe. Bardziej szczegółowo przedstawiono to w podrozdziale 1.7 niniejszej recenzji. Ponadto na uwagę zasługują również argumenty podane w punktach 1.3 i 1.5 dotyczące odpowiednio: przywołanej bibliografii i dobranych metod badawczych oraz nowoczesnej aparatury badawczej.

Z powyższych powodów w przypadku pozytywnego przebiegu obrony rozprawy doktorskiej oraz udzielenia przez Kandydata do stopnia doktora poprawnych odpowiedzi na pytania zadane w trakcie dyskusji zwracam się do Wysokiej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza z prośbą dotyczącą rozważenia możliwości wyróżnienia rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Mariusza DĘBSKIEGO.