

dr hab. inż. Joanna Ryszkowska, prof. PW
Wydział Inżynierii Materiałowej
Politechnika Warszawska
02-507 Warszawa
ul. Wołoska 141

Recenzja

pracy doktorskiej Pana mgr inż. Marka Magniszewskiego
pt. „Analiza wytrzymałości na skręcanie elementów maszyn wytwarzanych przyrostowo z
materiałów polimerowych ”
przygotowanej na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im.
Ignacego Łukaszewicza w Rzeszowie
wykonanej pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Mariusza Oleksego Profesora PRz. i Pana
Doktora inż. Jacka Bernaczek

Podstawą do wykonania recenzji było Pismo Pana Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa
Politechniki Rzeszowskiej prof. dr hab. inż. Jarosława Sępa z dnia 14.12.2018

Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Marka Magniszewskiego dotyczy charakterystyki elementów maszyn wytwarzanych technika przyrostową z różnych grup materiałów polimerowych. Czwarta rewolucja przemysłowa (ang. *Industry 4.0*) wiąże się z integracją inteligentnych maszyn, systemów oraz wprowadzaniem zmian w procesach produkcyjnych, aby zwiększać wydajność procesów wytwarzania i umożliwiać elastyczne wprowadzanie zmian asortymentu.

Wdrażanie czwartej rewolucji przemysłowej wymaga rozwoju wielu technologii, wśród nich są techniki szybkiego prototypowania (ang. *Rapid Prototyping – RP*), które określane są też jako kształtowanie przyrostowe lub metody addytywne (ang. *Additive Manufacturing – AM*). Technologia RP dotychczas stosowana jest najczęściej do tworzenia prototypów, ale coraz częściej stosowana jest do tworzenia narzędzi i gotowych produktów. Zastosowanie metod addytywnych umożliwia znaczne skrócenie procesu przygotowania i wykonywania modelu, prototypu czy finalnego wyrobu oraz jego łatwiejsze modyfikowanie we wczesnych stadiach rozwoju. Dzięki tym technologiom możliwe jest wytwarzanie wyrobów o skomplikowanych kształtach, których wykonanie innymi metodami było kłopotliwe, drogie lub niemożliwe innymi metodami produkcyjnymi. Metody addytywne stosuje się w trakcie projektowania wyrobów, przy studiach ergonomicznych, w trakcie badań

i oceny rozwiązań konstrukcyjnych na bazie modeli fizycznych, podczas oceny procesów wytwarzania i montażu nowych wyrobów, w badaniach marketingowych. Są one wykorzystywane w technice, ale też w medycynie w trakcie projektowania i wytwarzania implantów.

Techniki addytywne mają swoje wady i ograniczenia utrudniające ich wdrażanie. Jednymi z najważniejszych są ograniczona ilość materiałów, które można zastosować w tych procesach oraz wymagania mechaniczne, jakie stawiane są wyrobom wytwarzanym tymi technikami. Ograniczenia te często są wynikiem braku informacji na temat właściwości różnych grup wyrobów wytwarzanych z różnych materiałów, w tym polimerów. Brak jest informacji na temat zależności pomiędzy budową chemiczną i fizyczną polimerów, parametrami procesów wytwarzania wyrobów z tych materiałów a ich właściwościami. Są to zależności typowe dla inżynierii materiałowej. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. „Analiza wytrzymałości na skręcanie elementów maszyn wytwarzanych przyrostowo z materiałów polimerowych ” poświęcona jest opisom tych zależności.

Celem Autora rozprawy było opracowanie metodyki dla procesu projektowania i wytwarzania elementów maszyn poddawanych obciążeniom momentem skręcającym, które mogą być wytwarzane z zastosowaniem technologii przyrostowych.

Autor rozprawy skoncentrował się na badaniach nad procesem projektowania i wytwarzania z różnych materiałów polimerowych elementów maszyn poddawanych obciążeniom momentem skręcającym, gdyż na temat takich prototypów i wyrobów wytwarzanych technikami przyrostowymi jest znikoma ilość doniesień literaturowych. Uzasadnia to w pełni podjęcie tej tematyki w rozprawie doktorskiej. Zakres prowadzonych w rozprawie badań mieści się w najnowszych trendach rozwojowych inżynierii materiałów polimerowych.

Treść opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marka Magniszewskiego podzielono na 7 rozdziałów, w tym wykaz literatury zawierający 174 pozycji łącznie z normami. Ponadto zamieszczono streszczenia po polsku i angielsku oraz wykaz ważniejszych skrótów i akronimów. Praca zawiera także 93 rysunki i 15 tabel.

Po wstępie i zapoznaniu z problematyką rozprawy w rozdziale 2 w trakcie analizy stanu zagadnienia omówiono sześć reprezentatywnych technik przyrostowych oraz przedstawiono ich zastosowania w budowie maszyn. Rozdział ten zamknięto sformułowaniem celu pracy i przedstawieniem zakresu badań.

W rozdziale 3 omówiono zastosowane materiały, opis procesów wytwarzania próbek, zastosowane metody badań oraz opis opracowanego stanowiska badawczego. W rozdziale 4 przedstawiono analizę wyników badań, w rozdziale 5 omówiono proces projektowania i wytwarzania elementów maszyn z zastosowaniem technik przyrostowych a w rozdziale 6 przedstawiono wnioski z pracy.

Zaprezentowany w pracy przegląd literatury stanowi podstawę do sformułowania celu i zakresu zaplanowanych badań oraz do przedstawienia własnych rozwiązań. Zdefiniowano problem naukowy i określono podstawowe narzędzia oraz metody badawcze do jego rozwiązania. Tak przedstawiona praca spełnia warunki formalne ustalone dla rozprawy doktorskiej.

Cześć badawczą rozprawy rozpoczyna rozdział 3, w którym przedstawiono opis materiałów zastosowanych do badań. Zabrakło uzasadnienia dlaczego Autor skoncentrował się na opisanych materiałach. Następnie opisano parametry procesu wtryskiwania próbek do badań mechanicznych. W celach porównawczych wykonano też próbki do badań mechanicznych technikami przyrostowymi, które dobrano do rodzaju przetwarzanego materiału. W opisie sposobu wykonania próbek typu wiosełko i beleczka technikami przyrostowymi zabrakło zestawienia np. w formie tabeli z opisem jaką technikę przyrostową zastosowano, do którego rodzaju materiału. W kolejnej części pracy Autor przedstawił opis metodyki badań mechanicznych (wytrzymałościowych w próbie rozciągania i zginania oraz udarności i twardości). Ponadto opisano metodykę badania masowego wskaźnika szybkości płynięcia, temperatury mięknięcia wg. Vicat'a, wytrzymałości na skręcanie, pełzania podczas zginania prostego, starzenia oraz badania morfologii powierzchni przełomów. Należy podkreślić, że Autor rozprawy zaprojektował stanowisko do badań wytrzymałości na skręcanie, które zostało zgłoszone do opatentowania.

Opis metodyki badań jest zwięzły i nie budzi większych zastrzeżeń. W kolejnych pracach warto się zastanowić nad przedstawianiem zdjęć standardowo wykorzystywanej do badań aparatury. Ponadto opis procesu wytwarzania wszystkich próbek warto umieścić w tym samym rozdziale (rozdział 3.4, 3.8 i 3.10 to opis sposobu wykonywania próbek ale do innych rodzajów badań). W opisie wykonania próbek zabrakło tabeli z zestawieniem informacji jakimi technologiami wykonano próbki z konkretnych polimerów.

Rozdział 4 zawiera analizę wyników badań. Przedstawiona analiza wyników nie zawiera błędów w warsztacie badawczym, a uwagi dotyczą tylko sposobu ich przedstawienia.

Uwagi:

- W tytułach podrozdziałów rozdziału 4 powtarza się sformułowanie: *Analiza wyników badań oznaczania właściwości* zamiast prostszego *...Analiza wyników badań właściwości*
- sformułowanie w opisie wyników badań temperatury mięknienia jest nieprecyzyjne: *...Świadczy to dobrze o zoptymalizowanych parametrach przetwórczych, co pozwoliło otrzymać próbki o porównywalnych właściwościach użytkowych....*
- sformułowanie w opisie wyników badań wytrzymałościowych jest nieprecyzyjne: *...Analizując uzyskane wyniki badań można stwierdzić, że zastosowane zoptymalizowane parametry wtrysku oraz druku 3D, wpłynęły pozytywnie na otrzymane rezultaty badań...*
- tabele 4.5 – 4.8 warto uzupełnić o kolumnę wskazującą na procentową różnicę pomiędzy otrzymanymi wartościami opisującymi właściwości próbek uzyskanych metodą wtrysku i druku 3D.
- Autor napisał: *... Na rezultaty badań twardości próbek otrzymanych metoda druku 3D, miały także bardzo istotny wpływ temperatury uplastyczniania oraz szybkości budowy modelu...* Jednakże czytający pracę niema możliwości zweryfikowania tego stwierdzenia, gdyż takie dane nie pojawiają się w pracy.
- Analiza wyników badań przedstawionych w podrozdziale 4.4 jest trudna, dodatkowe zestawienie wyników badań w tabelach ułatwiłoby czytającemu ich analizę.
- W podpisie rysunków 4.4, 4.5, 4.6 jest błąd napisano, że na rysunkach są wyniki dotyczące badań próbek z HIPS wykonanych w technologii FFF, a na górze strony 53 napisano, że próbki z HIPS wykonano w technologii FDM
- Czy wartości pełzania próbek wykonanych w technologii 3D można porównać z danymi dla tej grupy materiałów podanymi w literaturze?
- Autor stwierdza: *...Otrzymane rezultaty badań pełzania podczas zginania prostego w procesie przyspieszonego starzenia potwierdziły omówione wcześniej wyniki badań. Największe maksymalne odkształcenie uzyskano dla próbek otrzymanych w technologii PolyJet, natomiast najmniejsze dla próbek wykonanych za pomocą FFF.* Rodzi się pytanie, czy można porównywać próbki wykonane z różnych materiałów wykonane różnymi technologiami

W rozdziale 5 w części 5.1 Autor rozprawy wstępnie podsumował pierwszą część badań eksperymentalnych stwierdzeniem, że technologie przyrostowe mogą służyć do wytwarzania elementów maszyn poddanych obciążeniu momentem obrotowym. Założenie to było podstawą do zaprojektowania i wykonania elementów t. j.: sprzęgła tulejowe, połączenia wielowypustowe wałka wielowypustowego z piastą koła zębatego oraz piastą koła pasowego. Wykonano modele 3D-CAD i prototypy tych połączeń z zastosowaniem technik przyrostowych. Prototypy wymienionych elementów zbadano. W drugiej części tego rozdziału Autor przedstawił metodykę projektowania elementów maszyn wytworzonych przyrostowo, na podstawie przeprowadzonych w ramach pracy badań, w tym z zastosowaniem skonstruowanego stanowiska badawczego, zaprojektowanych, wykonanych i przebadanych próbek elementów maszyn.

Rozdział 6 pracy zawiera wnioski sformułowane na podstawie przeprowadzonych badań.

- W kontekście wyników badań Autora wniosek 1 jest nieprecyzyjnie sformułowany (znaczną część właściwości wytrzymałościowych próbek wytwarzanych przyrostowo była tylko nieznacznie niższa niż próbek wytwarzanych wtryskowo).
- Jakie wyniki były podstawą do sformułowania wniosku 7, w pracy nie przedstawiono informacji o tym, która technologia umożliwia jaki stopień wypełnienia warstwy.
- Podobna uwaga dotyczy wniosku 8 i 9

W rozdziale 4 i 5 Autor rozprawy z powodzeniem zrealizował sformułowany cel pracy w oparciu o przeprowadzone badania i analizę ich wyników. Większość sformułowanych wniosków autor sformułował na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań.

Niestety Autor rozprawy nie ustrzegł się wielu błędów literowych, błędów stylistycznych i błędów w formatowaniu tekstu np.:

- Str. 8 jest Na dzień dzisiejszy w można zauważyć kilkudziesięciu powinno być ... Na dzień dzisiejszy można zauważyć kilkudziesięciu...
- Str. 9 jest ... Biorąc to pod uwagę powyższy podział można określić główne procesy przetwarzania przyrostowego, które w literaturze często jest przedstawiany w siedmiu grupach , powinno być... Biorąc pod uwagę powyższy podział można określić główne procesy przetwarzania przyrostowego, które w literaturze często są przedstawiane w siedmiu grupach....
- Str. 38 Jest Badanie polegało na statycznej próbie skręcania próbek o przekroju kołowym.... powinno być... Badanie polegało na statycznej próbie skręcania próbek o przekroju kołowym.

Podsumowanie:

Aby zrealizować cel rozprawy Autor opracował konstrukcję i zweryfikował budowę stanowisk badawczych, określonymi technikami przyrostowymi wykonał próbki do badań na skręcanie z zastosowaniem wybranych struktur wewnętrznych i wybranych materiałów polimerowych. Scharakteryzował właściwości wytrzymałościowe wybranych materiałów polimerowych oraz opisał przebieg procesu ich pełzania i starzenia. Autor przeprowadził badania wytworzonych próbek w trakcie skręcania ocenił też strukturę przełomów uzyskanych w trakcie skręcania. Analiza wyników przeprowadzonych badań pozwoliła na opracowanie metodyki projektowania i wytwarzania polimerowych elementów maszyn obciążanych skrętnie wybranymi metodami wytwarzania przyrostowego.

Analiza treści rozprawy pozwala stwierdzić, że Autor rozprawy dobrze opanował metody projektowania i wytwarzania wyrobów technikami przyrostowymi opanował metodykę ich badań oraz poznał zależności pomiędzy ich właściwościami a strukturą.

Ocena końcowa:

Uważam, że przedstawiona do oceny praca doktorska dotyczy ważkiego tematu możliwości wytwarzania elementów maszyn wytwarzanych technikami przyrostowymi, poddawanych działaniu momentu obrotowego o korzystnych właściwościach użytkowych.

W wyniku badań wykonanych w ramach recenzowanej pracy uzyskano wiele wartościowych rezultatów. Zawiera ona oryginalne opracowanie zagadnień dotyczących elementów maszyn wytwarzanych przyrostowo poddawanych obciążeniom momentem skręcającym, ma cechy nowości w zakresie projektowania i analizy właściwości takich elementów. Mgr inż. Marek Magniszewski zrealizował szeroki program badawczy, prowadząc eksperymenty z zastosowaniem różnych technik badawczych i analizując ich wyniki.

Mimo uwag wyrażonych w niniejszej recenzji stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Marka Magniszewskiego spełnia wymagania stawiane pracy doktorskiej przez właściwą ustawę i wnioskuję do Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie o dopuszczenie mgr inż. Marka Magniszewskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Joanna Ryszkowska

