dr inż. Wojciech Rejmer
Katedra Technologii Materiałów i Maszyn
Wydział Nauk Technicznych
Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie

Olsztyn 11.07.2023

Opinia nt. pracy doktorskiej mgr inż. Bartosza Pszczółkowskiego pt. „Właściwości użytkowe polilaktydu kształtowane technologią przyrostową FDM"

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Bartosza Pszczółkowskiego dotyczy badań właściwości mechanicznych oraz strukturalnych elementów produkowanych z polilaktydu metodą druku 3D.

Polilaktyd jest jednym z najpowszechniej stosowanych polimerów w technologii druku 3D metodą FDM. Metoda FDM natomiast jest jedną z najczęściej stosowanych metod przyrostowych. Charakteryzują ją niewielkie wymiary stosowanych urządzeń, niewielki stopień komplikacji technologicznej i możliwość wytwarzania wyrobów o znacznym zróżnicowaniu kształtów. Metoda FDM jest stosowana przede wszystkim do wytwarzania niewielkiej ilości prototypowych wyrobów. W związku z powyższym metoda ta ma zastosowanie w warsztatach i biurach projektowych. Ze względu na konstrukcję metoda FDM pozwala na zmianę następujących parametrów wytwórczych:

- temperatura wtrysku
- temperatura stołu
- rozstaw ścieżek w elemencie.

W przypadku masowych metod przetwórstwa tworzyw sztucznych wpływ temperatury na właściwości wyrobu końcowego jest zbadany i dobrze opisany. Ze względu na techniczny lub półprzemysłowy charakter wytwarzania elementów metodą FDM w literaturze przedmiotu brakuje danych na temat wpływu temperatury na właściwości elementów. Producenci filamentów w kartach charakterystyki informują często jedynie o zakresie temperatury przetwórstwa, który jest często kopiowany z danych granulatu. Jest to szczególnie obecne w przypadku polilaktydu. Jako najpopularniejszy polimer biodegradowalny nie jest on stosowany do elementów, które będą się charakteryzowały długim czasem użytkowania. Ze względu na rosnącą popularność i zastosowanie druku 3D FDM oraz polilaktydu uważam, że problematyka podejmowana przez mgr inż. Bartosza Pszczółkowskiego ma duże znaczenie poznawcze i aplikacyjne. Szczególną uwagę należy zwrócić na zbadanie wpływu temperatury na właściwości powierzchniowe w skali mikro i nano, jak również wpływu wybranego parametru

na morfologię badanego materiału. Przedstawiona praca nie wyczerpuje w pełni możliwych prac badawczych lecz stanowi cenny dodatek do stanu wiedzy o wyrobach wytwarzanych w technologii druku 3D. W przypadku wyrobów polimerowych przetwarzanych masowo, właściwości powierzchniowe są determinowane właściwościami formy wtryskowej. W przypadku techniki FDM brak formy powoduje konieczność innego szerszego rozpoznania problemu.

Badania przeprowadzone przez doktoranta miały na celu ocenę następującej hipotezy badawczej:

„Sterowanie temperaturą w procesie druku 3D FDM może determinować właściwości PLA w: nano-, mikro-, i makroskali"

Opiniowana rozprawa doktorska została napisana z wykorzystaniem klasycznego układu. Na publikację składa się 6 rozdziałów zapisanych na 137 stronach. W związku z hipotezą został sformułowany następujący cel badawczy:

„sprawdzenie możliwości skalowego sterowania właściwościami polilaktydu poprzez temperaturę druku makrowyrobów"

Cel pracy jest zgodny z jej tematem. Rozdział pierwszy zawiera informacje o technologii druku 3D z szczególnym uwzględnieniem technologii FDM. Zawarte zostały również informacje o polilaktydzie i innych materiałach stosowanych w metodach przyrostowych. W rozdziale drugim został scharakteryzowany cel pracy i hipoteza badawcza. Rozdział trzeci zawiera opis stosowanych metod badawczych, natomiast w rozdziale czwartym opisane zostały wyniki badań. Rozdział piąty zawiera podsumowanie wyników i wnioski. Ostatnim rozdziałem jest bibliografia zawierająca 207 pozycji literaturowych.

Rozdział pierwszy jest oparty o doniesienia literaturowe i jest dobrym wprowadzeniem do problematyki przetwórstwa tworzyw sztucznych oraz druku 3D. Służy również jako uzasadnienie doboru materiału badawczego. Autor wykazał się szeroką znajomością technik problematyki druku 3D, która pozwala podejrzewać szerokie rozpoznanie praktyczne.

W rozdziale trzecim została przeprowadzona charakterystyka materiału w oparciu o dane producenta oraz przeprowadzone przez autora badania spektroskopii w podczerwieni. Zostały również opisane parametry wydruku 3D jak również geometria próbek stosowanych w badaniach. Metody badawcze można podzielić na 3 podstawowe grupy: badania mechaniczne, badania struktury powierzchni i badania właściwości fizyko – chemicznych. Do pierwszej grupy zaliczamy: badania zrywające, badanie udarności, badanie twardości metodą Brinella, oraz nieniszczące metody określenia modułu Younga (ultradźwiękowa i wzbudzenia impulsowego), wyznaczanie gęstości materiału. Do metod badania struktury zaliczamy badania

stykowe i badania mikroskopii sił atomowych. Dla tych wyników badań autor przeprowadził również dodatkowe analizy fraktalne metodą funkcji struktury, z których zwłaszcza analiza wyników badań mikroskopii sił atomowych wykazuje interesujące zależności. Badania fizyko chemiczne są najliczniej reprezentowane w pracy i zawierają: badania spektrofotometrii podczerwieni, badania kalorymetryczne, badania degradacyjne w dwóch różnych odczynnikach (roztwór kwasu solnego i symulowany płyn ustrojowy), badania dyfrakcji rentgenowskiej. Ostatnia metoda badawcza posłużyła do uzupełnienia badań morfologicznych pochodzących z analizy kalorymetrycznej o wielkość krystalitów. Do oddzielnej grupy należałoby zaliczyć badania współczynników płynięcia filamentu w celu określenia jego właściwości przetwórczych.

Wyniki badań zostały poddane analizie statystycznej w programie Statistica z wykorzystaniem testu Tukeya. Badania wykazały, że w różnych temperaturach badane wielkości różniły się istotnie statystycznie. Różnice właściwościach mechanicznych nie wskazują na zależność funkcyjną. Pod tym względem sterowanie właściwościami mechanicznymi materiałów będzie utrudnione.

Badania struktury powierzchni przedstawione w pracy, również stanowią ciekawy dodatek do obecnego stanu wiedzy. Autor użył analizy fraktalnej zarówno do analizy w struktury w mikro i nano skali. W skali mikro zauważono, spadek wartości wymiaru fraktalnego po przekroczeniu temperatury druku 200ºC. W wyniku czego można wnioskować o spadku stopnia rozwinięcia powierzchni w skali mikro. W przypadku nanoskali w tej temperaturze obserwujemy punkt przegięcia dla zredukowanego modułu Younga.

Kolejnym etapem badań przeprowadzonych przez autora była analiza fizyko – chemiczna. Analiza XRD pozwoliła na określenie zawartości krystalitów i ich rozmiarów kalkulowanych za pomocą dwóch metod, co jest znaczącą zaletą pracy. Poza temperaturą 180ºC rozmiar krystalitów wzrasta wraz z przyrostem temperatury. Podobna zależność można zaobserwować dla zawartości fazy krystalicznej wyznaczanej z dyspersji promieni rentgenowskich. W przypadku analizy kalorymetrycznej DSC badania temperatur przejścia fazowego nie różnią się znacznie między sobą. Obliczenia zawartości fazy krystalicznej z wartości entalpii topnienia entalpii wykazały wzrost zawartości fazy krystalicznej wraz z wzrostem temperatury. Autor przeprowadził również analizę składu chemicznego przy pomocy spektrofotometrii w podczerwieni, która wykazała zmiany w intensywności pasm absorpcyjnych. Świadczą one o zmianach w upakowaniu cząsteczek. Wyniki te potwierdza pomiar gęstości. Badania wykazały, że wraz z wzrostem temperatury maleje gęstość materiału.

W ostatnim rozdziale autor przedstawił wnioski ze swoich badań rozróżniając wpływ temperatury wydruku w różnych temperaturach wydruku. Łącząc informacje z poprzednich badań autor zasugerował korzystne pod względem aplikacyjnym temperatury wydruku.

Podsumowując przedstawiona praca wnosi nowe informacje to obecnego stanu wiedzy o druku 3D. Hipoteza badawcza została potwierdzona i określono, które właściwości polilaktydu są determinowane przez temperaturę druku. W pracy pojawiają się błędy edytorskie i stylistyczne, jednak ich obecność nie wpływa na jakość badawczą pracy. W celu jej napisania autor musiał wykazać się znajomością wielu technik badawczych i umiejętnością interpretacji ich wyników. Wykazał również umiejętność multidyscyplinarnego podejścia do zagadnień inżynierii mechanicznej, łącząc wyniki z badań mechanicznych z badaniami materiałowymi i chemicznymi. Wobec powyższych argumentów opiniuję pozytywnie złożoną prace mgr inż. Bartosza Pszczółkowskiego.