

Dr hab. inż. Tomasz Klepka, prof. uczelni
Katedra Technologii i Przetwórstwa
Tworzyw Polimerowych,
Wydział Mechanicznych
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

Lublin 05.03.2025

Recenzja

Rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Bartosza Nowinki pt.: „Kształtowanie struktury i właściwości kompozytów na osnowie poliamidu w procesie mikroporującego wtryskiwania”

Promotor: dr hab. inż. Dariusz Sykutera, prof. PBS
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Promotor pomocniczy: dr inż. Piotr Szewczykowski
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Recenzję opracowano zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Naukowej inżynieria mechaniczna Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich nr 4/12/2024/2025 z dnia 11 grudnia 2024 roku

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska stanowi obszerne opracowanie poświęcone technologii wtryskiwania mikroporującego oraz badaniom właściwości wyprasek porowatych. Rozprawa składa się z 5 rozdziałów, spisu literatury oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Tekst manuskryptu zawarty jest na 161 stronach, a spis literatury liczy 144 pozycje. Struktura pracy jest logicznie uporządkowana i obejmuje kompleksową analizę literatury, sformułowanie hipotezy badawczej, opis badań wstępnych oraz badań głównych, w tym także prezentację otrzymanych wyników i wnioski końcowe.

W części pierwszej Doktorant dokonał przeglądu literatury oraz przedstawił aktualny stan wiedzy na temat wtryskiwania tworzyw termoplastycznych. Szczegółowo omówił materiały termoplastyczne ich przetwórstwo oraz podstawowe parametry procesu wtryskiwania. Przeanalizował również wady i ograniczenia konstrukcyjne wyprasek wtryskowych, co stanowiło istotne uzasadnienie celu prowadzenia modyfikacji tworzywa w procesie wtryskiwania mikroporującego. W podrozdziale dotyczącym odmian procesu wtryskiwania autor zwrócił uwagę na metody pozwalające na obniżenie gęstości pozornej wyprasek, w tym wtryskiwania wspomaganego gazem i wodą, porowania chemicznego i fizycznego oraz współwtryskiwania. W kolejnej części rozprawy Doktorant przedstawił analizę czynników wpływających na strukturę materiałów porowatych i oczekiwane właściwości wyprasek polimerowo-gazowych, w tym dokonał podsumowania i analizy stanu wiedzy z tego zakresu. W drugim rozdziale sformułował hipotezę badawczą, wskazał cele naukowe pracy oraz zakres badawczy rozprawy, koncentrujący się na mikroporowatych strukturach materiałowych. W rozdziale trzecim opisał badania wstępne, które miały na celu weryfikację dostępnych modeli matematycznych rozrostu porów gazowych oraz podstawy doboru parametrów procesowych przy wsparciu symulacji komputerowej. Następnie Doktorant przedstawił metodykę badań, w tym technologię wytwarzania próbek wstępnych oraz ocenę ich struktury i właściwości. Poddane analizie porównawczej wyniki badań wstępnych pozwoliły na wyselekcjonowanie najistotniejszych zmiennych procesowych, które wykorzystano w kolejnym rozdziale przy opisie eksperymentalnych badań głównych. W badaniach tych Doktorant skupił się na ocenie wpływu parametrów procesu wtryskiwania mikroporującego kompozytów PA66GF30 na orientację włókien szklanych, wpływu na wielkość skurczu przetwórczego, zmianę wybranych cech i właściwości mechanicznych oraz rodzaj otrzymanych struktur mikroporowatych. W tej części rozprawy przeprowadzone zostały liczne badania : statyczna próba rozciągania, badania udarności, twardości oraz badania gęstości pozornej. Na uwagę zasługuje dogłębna analiza statystyczna wyników, która potwierdza wysoką rzetelność przeprowadzonych badań. W rozdziale piątym przedstawiono wnioski końcowe oraz kierunki dalszych badań, podkreślając istotne zależności pomiędzy parametrami procesowymi, a właściwościami mechanicznymi. Sformułowane wnioski wskazują na możliwości optymalizacji procesu wtryskiwania mikroporującego oraz perspektywy jego dalszego rozwoju.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

Zagadnienia przedstawione w rozprawie doktorskiej dotyczące kształtowania struktury i właściwości kompozytów na osnowie poliamidu w procesie wtryskiwania mikroporującego mają istotne znaczenie naukowe oraz praktyczne. Technologia porowania chemicznego i fizycznego pozwala na otrzymywanie struktur hybrydowych, które skutkują obniżeniem masy elementów konstrukcyjnych, przy jednoczesnym zachowaniu kluczowych właściwości użytkowych. Szczególnie istotne są zagadnienia związane z doбором odpowiednich środków porotwórczych oraz parametrów procesowych, takich jak temperatura stopu polimerowego, prędkość wtrysku czy ilość dozowanego gazu, które znacząco wpływają na jakość uzyskanych struktur porowatych.

Porowanie chemiczne umożliwia precyzyjne sterowanie ułożeniem warstw w wyprasce, prowadzące do powstania hybrydowej struktury, składającej się z litego naskórka oraz porowatego rdzenia. W efekcie, uzyskuje się materiały charakteryzujące się redukcją masy, poprawionymi właściwościami izolacyjnymi oraz zdolnością tłumienia drgań mechanicznych. W przypadku porowania fizycznego (mikroporującego wtryskiwania MIM), dzięki zastosowaniu gazów obojętnych takich jak dwutlenek węgla czy azot, możliwe jest uzyskanie struktury o drobniejszych i bardziej równomiernie rozmieszczonych porach, co sprzyja lepszym właściwościom mechanicznym wytwarzanych kompozytów.

W kontekście rosnącego zainteresowania lekkimi materiałami konstrukcyjnymi, szczególnie istotne są badania nad kompozytami poliamidowymi wzmocnionymi włóknami szklanymi. Materiały takie mają duży potencjał aplikacyjny w branży motoryzacyjnej, lotniczej czy elektronicznej, gdzie mogą skutecznie zastępować elementy metalowe, zapewniając jednocześnie zmniejszenie masy wytworu oraz zwiększenie efektywności energetycznej ich wytwarzania. Obecnie w literaturze brak jest kompleksowych badań dotyczących wpływu technologii porowania na właściwości mechaniczne wyprasek poliamidowych o grubości powyżej 4 mm, co sprawia, że podjęta tematyka badawcza posiada wysoki poziom oryginalności oraz nowości naukowej. Przeprowadzone analizy, badające zależności pomiędzy strukturą porowatą a parametrami technologicznymi, mają kluczowe znaczenie dla dalszego rozwoju technologii mikroporującego wtryskiwania. Uzyskane wyniki mogą przyczynić się do bardziej efektywnego projektowania wyrobów o zaawansowanych właściwościach użytkowych, które mogą znaleźć zastosowanie w praktyce przemysłowej, szczególnie

w sektorach motoryzacyjnym, opakowaniowym czy elektronicznym, skutecznie zastępując dotychczasowe elementy metalowe.

3. Ocena końcowa rozprawy

Podczas lektury celu i zakresu rozprawy doktorskiej nasunęły mi się drobne uwagi wymagające wyjaśnienia oraz kilka niefortunnych określeń wymagających poprawy, np. przy redagowaniu przyszłych publikacji:

Str. 36, 4 wiersz ↑ „*uwolniony gaz może bezpośrednio trafić na powierzchnie*” ?

Str. 42, 15 wiersz ↑ „*porwanie pod kątem dozowania gazu, geometrii ślimak* „.....

Str. 46, 21 wiersz ↑ oraz str. 63, 4 wiersz ↑ „*pod kątem*” przy czym określenie to nie jest związane z wielkością znaną z metrologii lub geometrii ?

Str. 48, 9 wiersz ↑ „*poniższa rozprawa uzupełnia lukę w zakresie wiedzy naukowej*...”

Sformowania zawarte w rozprawie wymagające dokładniejszego wyjaśnienia:

Str. 48, 2 wiersz ↑ „*wytworzenie kompozytowych wyprasek drobnoporowatych*” czy nie powinno być ? „*mikroporowatych*”

Str. 52. „*Celem ... było ograniczenie programu badań*”

Sformułowanie celu badań wstępnych jako „*ograniczenie programu badań eksperymentalnych*” sugeruje wprowadzenie zamierzonych uproszczeń, w moim odbiorze nie zostało to w pełni wyjaśnione i uzasadnione w rozprawie.

Str. 61, 4 wiersz ↓ *Wszystkie testowane modele przewidują występowanie dużych porów na powierzchni wypraski, co jest niezgodne z aktualną wiedzą naukową na temat efektu porowania tego typu struktur za pomocą azotu w technologii MIM.....* w przypadku wtryskiwania w gnieździe formującym powstaje naskórek – warstwa lita – proszę o dokładniejsze wyjaśnienie.

Str. 61, 9 wiersz ↓ *obecnie znane modele rozrostu porów gazowych umożliwiają dokładnego przewidywania wielkości porów gazowych w elementach grubościennych....* chyba chodziło tu o to, że *...nie umożliwiają...?*

Str. 72, 2 wiersz ↓ Badanie udarności ... *wypraski wtryskowe w kształcie wiosłek poddano obróbce ubytkowej w celu uzyskania prostopadłościennych próbek...* proszę o wyjaśnienie w jakim zakresie oraz w jakim miejscu prowadzono tą obróbkę?

Str. 74, Badania twardości – proszę o informację czy próbki do badań twardości metodą Shore'a był poddawane obróbce ubytkowej oraz w jakim miejscu dokonywano indentacji wgłębnikiem w postaci igły.

Str. 75. Badania gęstości pozornej- proszę o wyjaśnienia jak przygotowywane były próbki do badań ?

Str. 104, 5 wiersz ↓ Jak można to wyjaśnić, że ... *porównując wyniki uzyskane dla materiału litego z twardością materiałów porowatych stwierdzono, że twardość uzyskana dla większości serii nie różniła się istotnie od wartości tej właściwości, uzyskanej dla litego kompozytu*”

Ogólne uwagi i pytania dotyczące rozprawy:

- Proszę o wyjaśnienie dlaczego do badań wybrano materiał kompozyt PA66GF30 z zawartość włókna szklanego w ilości 30% ?
- Jak przedstawiono *wyniki analizy związków pomiędzy wartościami parametrów procesowych, uzyskaną strukturą porowatą a właściwościami mechanicznymi odniesionymi do gęstości pozornej ?*w rozprawie brak jest opisów lub np. wykresów z różnym mianem na poszczególnych osiach ?
- W spisie literatury należałoby zamienić pozycje : [24], [32], [58], [81], [94], [100], [105], [138] na aktualne opublikowane w okresie ostatnich 15 lat.

Powyższe uwagi, sugestie i pytania nie umniejszają wartości merytorycznej prezentowanych rezultatów oraz mojej bardzo pozytywnej oceny.

Rozprawa doktorska stanowi istotny wkład naukowy w rozwój technologii wtryskiwania mikroporującego. Autor wykazał się wysokim poziomem wiedzy specjalistycznej oraz zastosowaniem adekwatnych metod badawczych. Praca wyróżnia się rzetelną analizą wyników i precyzyjnymi wnioskami, szczególnie w kontekście opracowania materiałów o obniżonej masie, przy zachowaniu wymaganych właściwości użytkowych, co ma istotne znaczenie nie tylko w obszarze wiedzy naukowej ale także z uwagi na aspekty uytylitarne.

Mając powyższe na uwadze **rekomenduję wyróżnienie rozprawie doktorskiej** Pana Bartosza Nowinki.

Reasumując, uważam, że założony przez Doktoranta cel badań został zrealizowany, a otrzymane wyniki poszerzają dotychczasowy stan wiedzy w dziedzinie nauk z zakresu inżynierii mechanicznej.

W podsumowaniu stwierdzam, że recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska **Pana mgr inż. Bartosza Nowinki pt.: „Kształtowanie struktury i właściwości kompozytów na osnowie poliamidu w procesie mikroporującego wtryskiwania”** stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, dlatego też spełnia kryteria określone w art. 190 ust.2 i art. 183 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz.U. z 2024 r. poz. 157).

Na tej podstawie wnioskuję do Wysokiej Rady Dyscypliny Naukowej inżynieria mechaniczna Politechniki Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich o przyjęcie pracy i dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Tomasz Kln