

Dr hab. inż. Tomasz Klepka, prof. uczelni
Katedra Technologii i Przetwórstwa Tworzyw Polimerowych
Wydział Mechaniczny
Politechnika Lubelska



Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Muszyńskiego pt:” Układ chłodzenia form wtryskowych stosowany w warunkach dynamicznych zmian temperatury (RHCM)

Recenzję opracowano no zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr hab. Olafa Ciszaka, prof. PP, (pismo DIM. 075.60.2021 z dnia 29.04.2021), na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z dnia 29 marca 2021.

1. Wprowadzenie

Podjęty przez Doktoranta temat rozprawy dotyczący nowego sposobu chłodzenia form działających w cyklu dynamicznych zmian temperatury dotyczy poprawy jakości wytwarzania wyprasek wtryskowych z tworzyw polimerowych, z tego powodu należy do grupy problemów ważnych poznawczo i użytkowo. Technologia wtryskiwania tworzyw jest znana i dosyć dobrze opisana w ogólnie dostępnej literaturze. Jednak rozprawa podejmuje temat stosunkowo nowy, a z uwagi na potrzebę przetwórstwa co raz to nowszych kompozycji polimerowych, przy jednocześnie dużym postępie i rozwoju nowoczesnych technik wytwarzania w zakresie budowy form wtryskowych, istnieje potrzeba prowadzenia prac naukowych w tym zakresie. Zmiana warunków w procesie przetwórstwa, poszerza możliwości otrzymywania wyrobów wtryskowych o nowych cechach i właściwościach. Podjęta w pracy tematyka jest poparta wyczerpującym opisem teoretycznym, a zaproponowana metodyka badań ukazała, że Doktorant ma odpowiednią wiedzę do rozwiązywania tego typu problemów, naukowych dotyczących zagadnień związanych z układami do chłodzenia form wtryskowych.

W pracy omówiono podstawy teoretyczne procesu wymiany ciepła w formach wtryskowych oraz mechanizm jego intensyfikacji. Dokonano podziału metod chłodzenia form wtryskowych na konwencjonalne oraz konformalne, a także wykonano konstrukcję prototypowej formy badawczej oraz przeprowadzono badania symulacyjne. Przedstawione przez Doktoranta zagadnienia są aktualne i ważne, dotyczą budowy elementów maszyn, w tym przypadku elementów układu narzędziowego maszyny do przetwórstwa tworzyw, tak więc w pełni wpisują się w dziedzinę inżynierii mechanicznej.

2. Charakterystyka rozprawy

Recenzowana praca doktorska liczy 146 stron, zawiera dużą liczbę rysunków i wykresów opracowanych w celu dokładniejszego wyjaśnienia treści, w ramach poszczególnych rozdziałów. Doktorant dodatkowo zamieścił obszerny wykaz oznaczeń oraz załącznik, stanowiący studium przypadku - analizę opłacalności stosowania nowego układu chłodzenia. Cytowana w pracy literatura w postaci artykułów naukowych i publikacji zawiera 111 pozycji. Autor zawarł w tym: publikację krajowe (ok. 15%) oraz publikacje zagraniczne (ok. 85%). W literaturze zamieścił także dodatkowo spis patentów oraz źródła internetowe z informacją o bieżącym dostępie. Na szczególne podkreślenie zasługuje aktualność cytowanej literatury, co świadczy o dobrym rozeznaniu Doktoranta w zakresie problematyki rozprawy.

Rozprawa składa się z 8 rozdziałów. Po krótkim wprowadzeniu przedstawiony został przegląd stanu wiedzy, w tym podstawy teoretyczne procesu wtryskiwania z rozróżnieniem przebiegu procesu wtryskiwania ze stałą temperaturą formy oraz przy zastosowaniu techniki wtryskiwania przy dynamicznych zmianach temperatury formy. W kolejnym rozdziale dokonano kategoryzacji wraz z opisem typowych wad wyprasek wtryskowych, które mogą powstawać przy niewłaściwie dobranych warunkach chłodzenia formy. Zaprezentowano podstawy teoretyczne procesu wymiany ciepła w układzie narzędziowym oraz dokonano analizy obecnie stosowanych metod chłodzenia form wtryskowych. Przedstawiona analiza pozwoliła Doktorantowi na sformułowanie celu naukowego i problematyki badawczej oraz sposobu ich rozwiązania.

Celem pracy jest opracowanie oraz badania symulacyjne wraz z badaniami doświadczalnymi nowego, efektywnego systemu chłodzenia form wtryskowych, stosowanego w warunkach dynamicznych zmian temperatury (skrót angielski: RHCM). Realizację celu Doktorant przedstawił w kolejnych rozdziałach, dokonując analizy wpływu szybkiego chłodzenia formy na strukturę wyprasek wykonanych z izostaticznego polipropylenu z dodatkiem modyfikatora, działającego jako nukleant fazy krystalicznej α . Przyjęta przez Doktoranta metodyka badań obejmowała badania procesu krystalizacji z wykorzystaniem skaningowej kalorymetrii różnicowej (DSC) wraz z analizą otrzymanych wyników badań. W kolejnym rozdziale przedstawiono założenia konstrukcyjne nowego układu chłodzenia, głównie w zakresie doboru materiału na konstrukcje wkładek badawczych gniazda formującego, doboru kształtu kanału w przekroju porzecznym oraz analizę i dobór cieczy chłodzącej. W rozdziale pt. Badania symulacji procesu chłodzenia form, w ramach przyjętych założeń, celu i zakresu pracy Doktorant przedstawił serię badań symulacyjnych, opisanych dokładnie wraz z charakterystyką modelu i opisem czynników wejściowych. Do tego zadania wykorzystał analizę numeryczną CFD oraz program Ansys Fluent 14.5.

Weryfikację doświadczalną Doktorant opisał w kolejnych rozdziałach, przedstawiając opis, budowę oraz działanie stanowiska badawczego w postaci kompletnego układu chłodzenia, opartego na wymiennych prototypowych elementach w postaci wkładek do formy wtryskowej z dwoma równoległymi kanałami chłodzącymi.

Pracę kończy rozdział, w który Doktorant zawarł podsumowanie oraz wnioski końcowe, a także propozycje kierunków przyszłych badań. Rozprawę zamyka studium przypadku dla dwóch wybranych tworzyw wraz z uproszczoną analizą ekonomiczną

3. Ocena rozprawy

Układ recenzowanej rozprawy doktorskiej jest typowy dla pracy o charakterze badawczym, zawiera bowiem: analizę literatury, cel i zakres badań, opracowanie własnej metodyki badań, a następnie realizację założonego celu badań wraz z dokładną naukową analizą wyników. Przyjęty tytuł rozprawy jest właściwy i odzwierciedla zakres i problematykę podjętego problemu badawczego. W ramach rozprawy Autor zaproponował nowy system chłodzenia form wtryskowych, oparty na oryginalnych kanałach o zwiększonej czynnej powierzchni wymiany ciepła. Kanały te, zapewniają szybkie i równomierne chłodzenie formy wtryskowej w warunkach dynamicznych zmian temperatury. Przeprowadzona analiza istniejących metod chłodzenia form jest właściwa. Dokonano wyboru najbardziej korzystnego materiału na wkłady chłodzące, opracowano model i przeprowadzono badania symulacyjne nowego układu chłodzenia form. Na szczególną uwagę zasługuje fakt że Doktorant wykonał stanowisko badawcze do tego rodzaju badań. W ramach wniosków końcowych Doktorant stwierdził, że proponowany system chłodzenia może znaleźć zastosowanie przede wszystkim w formach przeznaczonych do produkcji wyprasek o większych grubościach ścianki, (powyżej 3 mm). Tego typu wypraski należą do wytworów konstrukcyjnych, od który wymaga się dużej dokładności wymiarowej oraz braku wad przetwórczych.

Doktorant słusznie zauważył, że faza chłodzenia w cyklu procesu wtryskiwania jest istotna i ma duże znaczenie na uformowanie gotowego wyrobu, tym bardziej im bardziej ma on złożoną budowę geometryczną. Specjalny kontrolowany sposób chłodzenia, ma także duże znaczenie, z uwagi na ostateczne cechy i właściwości wytrzymałościowe oraz skurcz w wyrobach grubościennych. Zbyt wolne zmiany temperatury będą powodować zmniejszenie wartości naprężeń własnych oraz mniejszy skurcz, a zbyt szybkie chłodzenie, może z kolei powodować powstawanie w wyprasce niekorzystnych naprężeń, które w efekcie mogą prowadzić do wypaczenia lub pęknięcia wypraski. Wszystko to, w produkcji seryjnej i masowej ma bardzo duże znaczenie praktyczne. Praca Doktoranta oraz wyniki badań potwierdziły tezę, że zastosowanie kanałów chłodzących o zwiększonej aktywnej powierzchni wymiany ciepła oraz dynamiczny sposób sterowania zmianami temperatury wpływa na poprawę intensywności chłodzenia, w stosunku do metod konwencjonalnych i może to prowadzić do skrócenia czasu przebywania wypraski w gnieździe formującym.

Autor słusznie zauważa, we wnioskach końcowych, że do pełnego rozpoznania tej problematyki należy wykonać formę z nowymi innowacyjnymi kanałami wraz z dostarczeniem określonej cieczy chłodzącej do systemu, a w ramach procesu wtryskiwania, dokonać oceny wpływu w/w konstrukcji na właściwości wytrzymałościowych wyprasek.

Pozytywnie oceniam podjętą próbę wyznaczenia korelacji pomiędzy wielkościami charakterystycznymi w procesie wtryskiwania a warunkami chłodzenia. Otrzymane wnioski pozwalają na pogłębienie wiedzy w tym zakresie. Odnosząc się do aspektów

użytecznych, otrzymane wyniki mogą wpłynąć na podniesienie efektywności prowadzenia procesu przetwórstwa wyprasek grubościennych. Mocną stroną rozprawy są poprawnie opracowane i wykonane analizy numeryczne, stanowisko badawcze oraz zaplanowanie metodyki badań.

W rozprawie występuje kilka nieścisłości, które wymagają wyjaśnień:

- Na jakiej podstawie dobrano kształt kanału chłodzącego? Na podstawie własnych badań symulacyjnych (w pracy brak jest opisu tych prac i wyników symulacji). Jeśli na podstawie literatury (rys. 5.1) to brak jest wyjaśnienia, dlaczego właśnie takie kształty i wymiary ma mieć ten kanał ?

- Proces chłodzenia musi być odpowiednio dopasowany do rodzaju przetwarzanego tworzywa, warunków procesu oraz odnosić się do grubości wypraski. W tym miejscu nasuwa się pytanie jakiej było kryterium wyboru materiału polimerowego do badań? Czy analizowano inne materiały polimerowe? Dlaczego prace oparte były tylko na polipropylenie (PP) oraz poliamidzie (PA6) ?

- Uważam, że podrozdział *pt. Analiza technologiczności i kosztów wykonania kanałów chłodzących*, str.70, znajduje się w nieodpowiednim miejscu w rozprawie. Analiza ta opisana jest bardzo ogólnie, brakuje w niej konkretnych wartości wejściowych, na podstawie których można przeprowadzić ocenę ekonomiczną. Z drugiej jednak strony zagadnienia te nie należą do zakresu i celu badań, opisanego między innymi na str. 48-49. Rozdział ten z rozszerzonym zakresem czynników charakterystycznych lepiej pasowałby do opisu studium przypadku, które jest zawarte w załączniku na końcu pracy.

Autor nie ustrzegł się także od drobnych błędów logicznych i formalnych. Mogą one wynikać z nazw potocznie stosowanych w przemyśle lub zbyt dosłownego tłumaczenia tekstu z języka angielskiego. W mojej ocenie nie wpływa to na ogólny odbiór tekstu rozprawy ale przy opracowaniu przyszłych artykułów lub opisów technicznych zalecałbym unikania tego typu niejednoznacznych określeń.

Dla przykładu:

na str. 11 jest : ” *po całkowitym wypełnieniu wnęk*”, powinno być „*po całkowitym wypełnieniu gniazda formującego*”,

na str. 12 jest „ *stała temperatura pracy formy*”, powinno być „ *stała temperatura nagrzania formy*”,

na str. 14. jest: „*forma wtryskowa stanowi najważniejszy element składowy całego cyklu wtryskiwania*” powinno być „*forma wtryskowa stanowi najważniejszy element składowy układu narzędziowego*”.

na str. 48. jest.... ”*pod kątem szybkości*” powinno być „ *z uwagi na szybkość*”

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Podsumowując, pragnę wyrazić opinię, że przedstawiona do mojej oceny rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Przedstawione uwagi krytyczne mają w głównej mierze charakter dyskusji naukowej i nie wpływają na ogólną pozytywną ocenę rozprawy. Uważam, że Doktorant rozwiązał złożony problem naukowy, wykazał się samodzielnością w pracy oraz odpowiednią wiedzą teoretyczną i praktyczną w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska *pt.: "Układ chłodzenia form wtryskowych stosowany w warunkach dynamicznych zmian temperatury (RHCM)* spełnia wymagania stawiane przez ustawę z 14 marca 2003 r. „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U. 2003 Nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami) i ustawę z dnia 3 lipca 2018 r. „Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”. Zatem wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Pawła Muszyńskiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Lublin 29.06.2021

Tomasz Klon