

Prof. dr hab. inż. Mariusz Oleksy
Katedra Kompozytów Polimerowych
Wydział Chemiczny
Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza
35-959 Rzeszów, Al. Powstańców Warszawy 6
molek@prz.edu.pl

Rzeszów, dnia 02.08.2022r.



OCENA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Przemysława POSZWY

pt.

Ocena zależności skurczu i deformacji wyprasek od ich konstrukcji oraz parametrów procesu wtryskiwania

wykonanej pod kierunkiem dr hab. inż. Marka Szostaka Prof. PP i promotora pomocniczego dr hab. inż. Mateusza Barczewskiego Prof. PP na Wydziale Inżynierii Mechanicznej w Instytucie Technologii Materiałów Politechniki Poznańskiej recenzja wykonana na podstawie pisma Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP o numerze DIM.075.279.2022 z dnia 7.06.2022r.

Ocenę opracowano na podstawie przekazanej mi pracy doktorskiej pt. „Ocena zależności skurczu i deformacji wyprasek od ich konstrukcji oraz parametrów procesu wtryskiwania” obejmującej opracowanie Doktoranta zawarte na 142 stronach.

Informacje ogólne dotyczące pracy doktorskiej i dorobku naukowego

Przedłożona mi do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Poszwy zatytułowana „Ocena zależności skurczu i deformacji wyprasek od ich konstrukcji oraz parametrów procesu wtryskiwania” została zrealizowana jak wspomniałem powyżej, na Wydziale Inżynierii Mechanicznej w Instytucie Technologii Materiałów Politechniki Poznańskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Marka Szostaka Prof. PP a promotorem pomocniczym był Pan dr hab. inż. Mateusz Barczewski Prof. PP.

Doktorant wg. bazy Web of Science jest współautorem 21 publikacji cytowanych 43 razy i indeksie Hirsza = 4. (To naprawdę bardzo dobre wskaźniki biorąc pod uwagę trudny okres pandemii). Swoje artykuły opublikował między innymi w *Advances In Engineering Materials, Structures And Systems: Innovations, Mechanics And Applications, Insights And Innovations*

In Structural Engineering, Mechanics And Computation, Polymer Testing, Polymers, Materials, Numerical Heat Transfer Part A-Applications, Chemical Engineering And Processing-Process Intensification, Cirp Journal of Manufacturing Science And Technology, Polimery, Journal of Perinatal Medicine, Eksploatacja i Niezawodność. Niestety w swojej rozprawie autor nie zawarł informacji dotyczącej swoich osiągnięć naukowych, dlatego podaje tylko informacje w oparciu o bazę Web of Science.

1. Wprowadzenie

Wtryskiwanie jest dominującą metodą przetwórstwa tworzyw polimerowych, ze względu na stopień złożoności konstrukcji otrzymywanych wyprasek oraz zakres wykorzystywanych tworzyw. Cechą charakterystyczną wtryskiwania jest jego cykliczność. W cyklu wtryskiwania wyróżnia się następujące fazy: zamykania formy, wtrysku, docisku, uplastyczniania, otwierania formy oraz przerwy. Do wtryskiwania są stosowane przede wszystkim tworzywa termoplastyczne, ale wykorzystuje się również tworzywa utwardzalne, elastomery oraz ich kompozyty. W procesie wtryskiwania otrzymuje się produkty o skomplikowanych kształtach, zróżnicowanej grubości ścianek oraz dużej rozpiętości masy. Podczas konstruowania wypraski istotne znaczenie ma wiele czynników, wśród których między innymi należy wymienić: grubość ścianek, pochylenie powierzchni, promień zaokrąglenia krawędzi, kształt i wymiary przekrojów poprzecznych, otworów, podcięć, żeber wzmacniających, które powinny być dobierane według odpowiednich zaleceń, zapewniających prawidłowe wypełnianie gniazda formy tworzywem, właściwe warunki ochładzania wypraski i pożądaną dokładność geometryczną.

Otrzymanie wypraski o wysokich walorach użytkowych wymaga prawidłowego doboru parametrów procesu, rodzaju tworzywa, narzędzia o odpowiedniej konstrukcji i maszyny przetwórczej o określonych możliwościach technologicznych. Prawidłowo zaprojektowana wypraska jest źródłem informacji, na podstawie których dobiera się rodzaj tworzywa, konstruuje formę wtryskową i określa parametry technologiczne wtryskiwania.

Ostateczne ustalenie warunków technologicznych procesu stanowi kompromis między Oczekiwaną, jak największą wydajnością wtryskiwania, a akceptowalnym poziomem jakości wykonania wypraski i jej cech użytkowych. Z uwagi na bardzo wysokie koszty wytwarzania form wtryskowych niezbędne jest zmniejszenie do minimum ryzyka wystąpienia błędów na każdym z etapów przygotowywania procesu produkcyjnego. Analizując ten problem na podstawie literatury i własnego doświadczenia zawodowego mgr inż. Przemysław Poszwa w swojej pracy podjął się trudnego i ciągle aktualnego zadania związanego z minimalizacją

deformacji wypraski. W swojej pracy między innymi opracował modele analityczne umożliwiające wstępne przewidywanie problemów związanych z ich deformacjami oraz przeanalizował wpływ poszczególnych parametrów procesu wtrysku na wielkość skurczu i deformacji wypraski.

2. Struktura pracy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Poszwy pt. „*Ocena zależności skurczu i deformacji wyprasek od ich konstrukcji oraz parametrów procesu wtryskiwania*” ma charakter doświadczalny i dotyczy analizy zależności między parametrami procesu wtrysku i konstrukcją wyprasek a ich zmianami w geometrii związanymi z skurczem tworzywa i deformacjami kształtu. W ramach pracy autor opracował modele analityczne umożliwiające sprawne przewidywanie problemów związanych z tymi niekorzystnymi zjawiskami w wyrobach wtryskowych z materiałów polimerowych, na etapie konstrukcji wypraski i doboru parametrów procesu.

Dysertacja została opracowana na Politechnice Poznańskiej na Wydziale Inżynierii Mechanicznej w Instytucie Technologii Materiałów Politechniki Poznańskiej pod opieką promotora dr hab. inż. Marka Szostaka Prof. PP i promotora pomocniczego dr hab. inż. Mateusza Barczewski Prof. PP. Obejmuje ona 142 strony w skład których wchodzi: 11 rozdziałów, podsumowanie i literatura oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Bibliografia obejmuje 233 pozycje ze źródeł krajowych i zagranicznych, w tym opracowania książkowe i publikacje naukowe. Można stwierdzić, że proporcje pomiędzy opracowaniami o charakterze naukowym a pozostałymi pozycjami zawartymi w literaturze są prawidłowe. Należy tu wyszczególnić wiele opracowań literaturowych o charakterze fundamentalnym dla analizy wpływu parametrów procesu wtrysku i geometrii otrzymywanych wyrobów.

Praca rozpoczyna się od syntetycznego wstępu, zawierającego ogólne informacje dotyczące charakterystyki procesu wtryskiwania materiałów polimerowych oraz właściwości reologicznych i fizykochemicznych polimerów termoplastycznych. Kolejno Doktorant w dość obszernym rozdziale zatytułowanym „*Skurcz i deformacje wyprasek – wprowadzenie*” opisał wiele aspektów dotyczących niekorzystnego zjawiska jakim jest skurcz wyprasek i deformacje wyprasek oraz przedstawił metody ich badań. Kolejny rozdział poświęcony jest modelowaniu zagadnienia skurczu i deformacji. Rozdział czwarty poświęcony jest ocenie stanu literatury dotyczącej problematyki deformacji wyprasek, po którym Doktorant sprecyzował cele i hipotezę pracy doktorskiej

Głównym celem pracy było poznanie zależności między parametrami nastawnymi procesu wtryskiwania oraz konstrukcją wyprasek, a ich skurczem. W ramach tego zakresu doktorant opracował wiele modeli matematycznych umożliwiających diagnostykę powstawania deformacji wypraski na etapie ich konstruowania. Doktorant także przedstawił cel aplikacyjny związany z opracowaniem metodyki szybkiej oceny przewidywanego skurczu i deformacji wyprasek wtryskowych w zależności od ich konstrukcji i parametrów procesu wtryskiwania.

Natomiast hipoteza badawcza pracy obejmowała dwa sformułowania:

- możliwe jest wytwarzanie wyprasek wtryskowych o zdefiniowanej jakości poprzez opracowanie i praktyczne zastosowanie modeli analitycznych opisujących zależności pomiędzy parametrami procesu i konstrukcją wyprasek z tworzyw sztucznych a ich skurczem oraz deformacjami,
- opracowane modele analityczne pozwolą na poprawną ocenę wyników symulacji na wstępnym etapie prac projektowych.

Elementy charakterystyki stanu wiedzy dotyczącej analizy zależności między czynnikami wpływającymi na skurcz i deformacje zostały przytoczone w obszernej części na stronach od 44-57 i obejmują kolejno charakterystykę:

- aspektów pośrednich,
- czynników procesowych,
- czynników materiałowych
- czynników konstrukcyjnych,

a na koniec tego rozdziału zestawiono różne czynniki wpływające na skurcz polimerów.

Następnie od strony 58-62 Autor rozprawy przedstawił kolejny rozdział poświęcony opracowaniu mapy zależności między poszczególnymi czynnikami zawierający symulacje wstępne, ocenę istotności poszczególnych czynników oraz uproszczoną mapę zależności. Kolejno scharakteryzował stosowane oprogramowanie w badaniach symulacyjnych a następnie na stronach 63-67 przedstawił opis eksperymentu. Symulacje wykonał z wykorzystaniem siatki 3D do określenia wielkości skurczu oraz deformacji. Do tych badań wykorzystał program Autodesk Moldflow® przy następujących założeniach:

- do badań Doktorant zastosował PP o nazwie handlowej Moplen® HP500N firmy Basell Orlen Polyolefines®, który jest homopolimerem przeznaczonym do wtrysku i odznacza się dobrą płynnością połączoną z wysoką sztywnością,

- zadeklarował stałą teoretyczną średnicę przewężki równą 5 mm, aby można było prowadzić fazę docisku przez cały czas zamarzania wypraski,
- analizy przeprowadził od końca przewężki z pominięciem układu wlewowego, aby ciśnienie docisku było ciśnieniem panującym w gnieździe w trakcie fazy docisku,
- założył czas wtrysku równy 0,6 s niezależny od wielkości wypraski
- założył przełączenie fazy wtrysku w fazę docisku przy 99% wypełnieniu gniazda,
- pominął wpływ układu chłodzenia formy wtryskowej, zakładając idealny odbiór ciepła przez gniazdo o stałej temperaturze 35°C,
- założył stałą temperaturę wtrysku stopu tworzywa na wejściu do gniazda równą 235 °C,
- również założył stały czas chłodzenia następujący po czasie docisku równy 30s,
- w przeprowadzonych analizach wyłączył agregacje siatki 3D do analizy deformacji wypraski a symulacje przeprowadził z wykorzystaniem teorii małych odkształceń i zastosował model termo-lepko-sprężysty do analizy deformacji,
- w przeprowadzonych analizach pominął oddziaływanie grawitacji oraz możliwość wystąpienia zjawiska powstawania strugi.

W tym rozdziale przedstawił także charakterystykę fizykochemiczną, mechaniczną i reologiczną użytego materiału polimerowego oraz zestawienie przeprowadzonych symulacji.

Ze względu na bardzo dużą liczbę symulacji jaką wykonał Doktorant, rozdział dziewiąty zawarty na stronach 69-73 poświęcony jest opracowaniu skryptów do automatyzacji pracy oraz analizy wyników badań. Zawiera on zarówno skrypty do przygotowania symulacji i odczytu wyników, jak i skrypty do przetwarzania i wizualizacji danych.

Kolejno od strony 74 do 107 w rozdziale dziesiątym Doktorant przedstawił obszerną analizę otrzymanych wyników symulacji, które w sposób uporządkowany podsumowywał najważniejszymi wnioskami.

Rozdział jedenasty (112-126) zatytułowany *Walidacja eksperymentalna opracowanych modeli analitycznych* zawiera nie tylko analizę danych symulacji ale przede wszystkim weryfikację danych obliczeniowych z rzeczywistymi. Dla oceny dokładności wykorzystywanego oprogramowania symulacyjnego Doktorant wykonał badania eksperymentalne i otrzymał z zastosowaniem wtryskarki i wcześniej zaprojektowanej wkładkę formy wtryskowej wypraskę (stelaż przyłbicy) o wybranej geometrii i przeprowadził symulacje dla adekwatnych parametrów procesu wtrysku. W rozdziale tym przeprowadził także ocenę

jakości wyników eksperymentalnych i porównanie ich z wynikami symulacji, które podsumował ciekawymi spostrzeżeniami.

Podsumowanie zawarte na stronach 127 i 128, do których dochodzi Autor jest interesujące i poprawnie sformułowane z naukowego punktu widzenia. Wydaje się również, iż wyniki pracy będą miały implikacje praktyczne i będą uzupełnieniem bazy danych wykorzystanych przez przemysł przetwórczy.

Spis literatury zawarty jest na stronach 130-142 i zawiera 233 pozycje ułożone zgodnie z kolejnością cytowania.

Podsumowując struktura pracy Doktoranta jest uporządkowana, formalny układ pracy jest prawidłowy a wykorzystanie odnośników literaturowych zgodne z tematyką pracy. Praca jest napisana poprawną polszczyzną, choć nie udało się uniknąć błędów o charakterze stylistycznym i redakcyjnym, które z pozycji recenzenta pozwolę dla przykładu wymienić:

- uwaga ogólna do formatowania rysunków – znacznie lepiej byłoby zastosować przy opracowaniu rysunków jednakową czcionkę i jej rozmiar, taką, która umożliwi lepszą ich analizę np. str. 23 rys. 19 (czcionki za duże) rys. 20 za mała czcionka w oznaczeniach (indeksy prawie nieczytelne), str. 65 proszę porównać wielkości czcionek na rys. 35 i 36 (podpisy osi wielkie a oznaczenia na osiach nieczytelne, w legendzie rys. 36 brak °) oraz coś nie tak jest ze skalą na osi Y (rys. 36),
- str. 75 (brak numeracji) rys. 41 powinien być przedstawiony na jednej stronie a nie podzielony, str. 84 rys. 51, str. 96 rys. 66, str. 100 rys. 70, str. 108 rys. 78, str. 122-124 rys. 86 podobnie,
- np. rysunki nr: 41-44, 50-60, 63-74, 78-81, 85-86 brak oznaczeń od a do d przy rysunkach (nie wiadomo czy b jest z prawej czy u dołu).

Należy tutaj podkreślić, że zauważone uchybienia nie umniejszają wartości merytorycznej rozprawy.

3. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Wyniki badań oraz ich analiza przedstawione w pracy dotyczące oceny zależności skurczu i deformacji wyprasek od ich konstrukcji oraz parametrów procesu wtryskiwania odnoszą się do ważnych i aktualnych zagadnień nie tylko z punktu widzenia naukowego ale przede wszystkim aplikacyjnego przemysłu przetwórstwa materiałów polimerowych. Prace badawcze zostały zrealizowane z wykorzystaniem specjalistycznych maszyn i urządzeń znajdujących się

na Wydziale Inżynierii Mechanicznej w Instytucie Technologii Materiałów Politechniki Poznańskiej, które pozwoliły Doktorantowi na wnikliwe zrealizowanie badań w zakresie tematu rozprawy.

Na podstawie analizy literatury oraz wykonanych wstępnych badań symulacji Doktorant zrealizował szczegółową analizę wpływu czynników procesowych, konstrukcyjnych oraz materiałowych na wielkość skurczu i deformacji wyprasek. Należy tutaj zaznaczyć, że dla pełnego scharakteryzowania tych parametrów Doktorant wybrał niewdzięczny do badań homopolimer PP - Moplen® HP500N. Następnie na podstawie badań wstępnych opracował mapę zależności pomiędzy poszczególnymi czynnikami, które następnie zostały przeanalizowane z wykorzystaniem symulacji numerycznych. Do kluczowych aspektów zaliczyć tutaj należy: geometrię wypraski (grubość ścianki, kształt, tzw. uźebrowanie) oraz profil docisku. Po wytypowaniu tzw. zestawu geometrii podstawowych stanowiących elementy składowe wyprasek Doktorant do dalszych prac badawczych wskazał geometrię wypraski oraz profil docisku jako najistotniejsze czynniki wpływające na skurcz i deformację.

Kolejna część badawcza rozprawy doktorskiej poświęcona była analizie danych symulacyjnych i ich wizualizacji. Efektem tych prac było sformułowanie szeregu modeli analitycznych wspierających zarówno konstruktorów form wtryskowych, jak i analityków zajmującymi się procesami wtryskiwania. Obok tych modeli przedstawiono w pracy wiele zależności pokazujących wpływ różnych czynników na wielkość skurczu i deformacji wyprasek wtryskowych.

Autor pracy przeprowadził także weryfikację narzędzia symulacyjnego a także przeprowadził ocenę wrażliwości wyników symulacji na zmiany szeregu parametrów oraz w konsekwencji deformację wypraski. Uzyskane wyniki badań umożliwiły Doktorantowi stwierdzenie, że symulacje numeryczne są w stanie potwierdzić deformacje wyprasek z różnicą rzędu 10-20%, co jest wartości w pełni akceptowalną.

Niewymienione wcześniej istotne konkluzje, które przedstawione zostały w podsumowaniu to w przypadku elementów:

- typu „belka” (płaska powierzchnia) Doktorant opracował zależność między skurczem wypraski a ciśnieniem docisku, czasem docisku, grubością wypraski, temperatura tworzywa oraz temperatura formy wtryskowej,
- typu „krawędź” obok profilu docisku Doktorant zbadał wpływ grubości ścianki wypraski oraz promienia zaokrąglenia. Efektem tych prac było wyprowadzenie równania analitycznego pochylenia wypraski stanowiącego kombinację liniową względem ciśnienia docisku oraz promienia zaokrąglenia,

- typu „uźebrowania krawędzi” Autor dysertacji przygotował mapy konturowe wielkości pochylenia ścianki w funkcji wysokości żebra oraz szerokości ścianki, na podstawie których stwierdził, że zależność między wysokością żebra i szerokością ścianki wypraski ma charakter liniowy dla zadanej wartości pochylenia ścianki. Efektem tych prac był wyprowadzony model analityczny pozwalający dobrać optymalną wielkość żebra oraz jego rozstaw w zależności od oczekiwanego pochylenia ścianki,
- typu „łuk” Pan mgr inż. Przemysław Poszwa opracował model analityczny pozwalający na określenie sposobu deformacji wypraski zawierającej w swojej konstrukcji łuk znając wielkość zmiany jego promienia oraz kąta łuku z uwzględnieniem wpływu profilu docisku.

Zaznaczyć tutaj należy jak to podkreślił Doktorant w podsumowaniu pracy, że przeprowadzone analizy oraz badania dotyczące elementów typu „uźebrowana krawędź”, „łuk” i „uźebrowany łuk” nie zostały dotychczas opisane w literaturze.

Na szczególną uwagę zasługuje staranność wykonywanych przez Doktoranta prac badawczych, która wymagała od niej opanowania nowoczesnych metod badawczych (programów symulacyjnych i technologii wtrysku). Zostały one prawidłowo dostosowane do zagadnień i problemów, jakie musiał rozwiązywać w ramach pracy doktorskiej. Wiadomym jest, że zapewne wykorzystanie specjalistycznej aparatury i interpretacja wyników pomiarów nie mogą być przypisane w całości Doktorantowi, ponieważ zawsze wymaga to współpracy ze specjalistami, a przede wszystkim z Promotorem i Promotorem pomocniczym, czego wyniki przedstawiono we współautorskich pracach będących uzupełnieniem recenzowanego osiągnięcia.

Analizując wyniki przeprowadzonych przez Doktoranta badań można jednak sformułować kilka uwag o charakterze dyskusyjnym:

- Doktorant na podstawie swoich badań w podsumowaniu stwierdził, że wraz ze zwiększeniem ciśnienia docisku zwiększają się liniowo deformacje (co związane jest między innymi z zamrożonym ciśnieniem szczątkowym) i liniowo maleje skurcz wypraski. Kolejno pisze ... ustalono również, że wraz z wydłużeniem czasu docisku maleją liniowo deformacje i maleje liniowo skurcz....czy aby na pewno? Zwiększając czas docisku mimo wszystko „zamrażamy” naprężenia wewnętrzne w wyprasce co może mieć wpływa na tzw. deformacje czy „paczenie się” wypraski, natomiast czas docisku, temperatura i efektywność chłodzenia formy dobierany jest tak, aby następowało zestalenie się stopu tworzywa,

- czas chłodzenia i temperatura chłodzenia formy mogły mieć wpływ na stopień krystaliczności użytego polimeru, a co za tym idzie wpływ na skurcz i deformację wypraski. Doktorant założył temperaturę formy 35°C i czas chłodzenia 30 s, który jak to uznał - zapewnił całkowite zestalenie się wypraski, nasuwa się pytanie jak Doktorant obliczył czas „zamarznięcia wypraski” i czy określił np. na podstawie badań DSC (rys. 35 str. 65) stopień krystaliczności i czy nie mógł on mieć wpływu na zmianę deformacji wypraski, czy uwzględnił to w modelu termo-lepko-sprężystym (str. 120).

Uwagi te mają charakter dyskusyjny i nie wpływają na wartość merytoryczną rozprawy.

4. Podsumowanie

Podsumowując praca doktorska Pana mgr inż. Przemysława Poszwy stanowi opis zwanego osiągnięcia naukowego, a zatem spełnia wymogi formalne zawarte w obowiązujących przepisach ustawowych. W pracy opisane zostały nowatorskie i warte kontynuacji kierunki badań. Z kolei przedstawiona do oceny dysertacja jest opracowana starannie z nielicznymi tylko potknięciami edytorskimi.

Kończąc stwierdzam, że opiniowana praca doktorska mgr inż. Przemysława Poszwy pt: *„Ocena zależności skurczu i deformacji wyprasek od ich konstrukcji oraz parametrów procesu wtryskiwania”* dowodzi wysokich kompetencji Autora w zakresie symulacji procesu wtrysku i przetwórstwa materiałów polimerowych. Bez wątpliwości stwierdzam, że przedłożona mi do oceny rozprawa w pełni spełnia warunki określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity w Dz. U. 2017 poz. 1789) oraz Rozporządzeniu ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 lipca 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, (Dz.U.2022.574 art. 186 ust. 1 pkt 5.), zatem wnioskuję do Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

