

Jacek Nabiałek<sup>1</sup>, Dariusz Kwiatkowski<sup>2</sup>

Politechnika Częstochowska, Instytut Przetwórstwa Polimerów i Zarządzania Produkcją  
al. Armii Krajowej 19c, 42-200 Częstochowa

## BADANIA SYMULACYJNE I WIZUALIZACYJNE PRZEPŁYWU KOMPOZYTU POLIPROPYLENU Z TALKIEM W PROCESIE PRZETWÓRSTWA METODĄ WTRYSKIWANIA

Przedstawiono wybrane wyniki badań przepływu kompozytu polipropylenu z kredą podczas wypełniania gniazda formy wtryskowej. Porównano wyniki symulacji komputerowych procesu wtryskiwania z rezultatami rejestracji wideo przepływu tworzywa podczas trwania fazy wypełniania. Wykorzystano specjalistyczną formę wtryskową umożliwiającą obserwację i rejestrację przepływu tworzywa w procesie przetwórstwa. Forma ta umożliwia bezpośrednie monitorowanie przebiegu zjawisk wewnątrz gniazda formującego w dwóch płaszczyznach. Do rejestracji przepływu wykorzystano cyfrową kamerę wideo. Do badań symulacyjnych zastosowano profesjonalny program komputerowy Moldflow Plastics Insight ver. 4.1. Wyniki badań umożliwiły udokumentowanie specyficznych zjawisk zachodzących w procesie wtryskiwania kompozytów tworzyw sztucznych oraz porównanie ich z wynikami obliczeń numerycznych. Badania przeprowadzono w bardzo szerokim zakresie, jednak z konieczności przedstawiono tylko wybrane wyniki badań. Jako przykład opisano zagadnienie opływania półkolistej przeszkody przez strumień tworzywa.

**Słowa kluczowe:** kompozyty, proces wtryskiwania, symulacje komputerowe

## RESEARCH OF THE SIMULATION AND VISUALIZATION OF THE POLYPROPYLENE COMPOSITE WITH TALC IN INJECTION PROCESS

The project shows the results of researches of the flow of polypropylene composite with talc during the filling the mould. The results of the injection molding computer simulations were compared with the results of video recording, the flow of polymer composite in duration of the filling phase. The form allows direct monitoring of the phenomena inside the forming socket in two planes. Digital video camera has been used to record the flow. The specialist mould witch enables the observation and recording of the flow of polymer composite in processing was used. Moldflow Plastic Insight ver 4.1, professional computer program was used to simulation researches. The results of researches enabled documentation of specific occurrences in injection molding process of polymer composite and comparison of those results with the results of numerical calculations. The tests hale been performer for a very wide range of injection moulding conditions but in the paper only chosen results were shown. Problems of flowing round the semicircular barrier by the polymer stream have been presented as the example.

**Keywords:** composites, moulding injection, computers simulation

### WSTĘP

Przetwórstwo tworzyw sztucznych i ich kompozytów metodą wtryskiwania jest procesem szeroko stosowanym w wielu gałęziach współczesnego przemysłu. Udział tworzyw napełnionych (kompozytów) w produktach przeznaczonych do wykorzystania nie tylko w życiu codziennym stale rośnie. Wobec takiego stanu rzeczy w pełni zasadne staje się prowadzenie badań mających na celu dogłębne poznanie zjawisk zachodzących podczas szeroko pojętego przetwórstwa tworzyw kompozytowych. Niniejsza praca jest próbą przedstawienia wybranego fragmentu wyników badań polegających na rejestracji przepływu tworzyw w gnieździe formy podczas trwania fazy wypełniania. Badania takie są prowadzone przez szereg ośrodków naukowych na świecie [1-6]. Według wiedzy autorów, w skali kraju nie prowadzi się takich badań.

### METODYKA BADAŃ

Do badań wykorzystano specjalistyczną formę wtryskową o unikalnej konstrukcji. Forma ta umożliwiła autorom rejestrację zjawisk zachodzących podczas przepływu tworzywa wewnątrz gniazda formującego. Formę wyposażono w dwa wzierniki (o powierzchni co najmniej równej powierzchni gniazda) wykonane ze szkła krystalicznego o nazwie handlowej Zerodur<sup>®</sup> produkowanego przez niemiecką firmę Schott AG [7]. Materiał ten charakteryzuje się bliskim zeru współczynnikiem rozszerzalności cieplnej, co czyni go niewrażliwym na gwałtowne zmiany wartości temperatury występujące podczas wypełniania gniazda formy. Rejestracji dokonano za pomocą cyfrowej kamery wideo. Dodatkowo niezbędne okazało się zamontowanie specjalnego zestawu doświetlającego wykonanego w oparciu o diody LED. Rejestrację prowadzono w warunkach całkowitego

<sup>1,2</sup> dr inż.

zaciemnienia pomieszczenia laboratoryjnego (badania zazwyczaj prowadzono nocą).

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki uzyskane podczas badań kompozytu polipropylenu z talkiem. Zastosowano polipropylen produkcji Polimarky o nazwie handlowej RESLEN PPH 30T o masowym współczynniku płynięcia 18 g/10 min. Zawartość wagowa talku wynosiła 30%. Kompozyt o tak wysokiej zawartości wypełniacza spowodował wystąpienie szeregu problemów technologicznych (np. trudności z usuwaniem wypraski z formy, klinowanie się zestalonego tworzywa w przewężce wyciekanie tworzywa z układu uplastyczniającego itp.). Zastosowana do badań maszyna przetwórcza to wtryskarka niemieckiej firmy Krauss-Maffei o symbolu KM 65/160. Wtryskarkę wyposażono w wysokiej klasy układ sterowania (wersja MC4). Wykorzystanie bardzo precyzyjnej i nowoczesnej maszyny umożliwiło rozwiązanie wszystkich problemów, o których wspomniano powyżej. W ramach badań symulacyjnych wykonano liczne analizy numeryczne mające na celu komputerowe modelowanie procesu wtryskiwania wybranego kompozytu. W tym celu wykorzystano profesjonalny program komputerowy Moldflow Plastic Insight ver. 4.1. Do poprawnego przeprowadzenia analiz konieczne stało się wykonanie szeregu badań właściwości kompozytu. Badano głównie właściwości reologiczne kompozytu, ale również właściwości mechaniczne oraz cieplne. Wyznaczono krzywe płynięcia kompozytu oraz charakterystykę  $p-vT$ . Pomiary  $p-vT$  przeprowadzono z wykorzystaniem urządzenia  $p-vT$  100 produkcji firmy SWO Polymertechnik GmbH. Stałe termodynamiczne równania stanu Taita wyznaczono za pomocą programu komputerowego wchodzącego w pakiet oprogramowania urządzenia  $p-vT$  100.

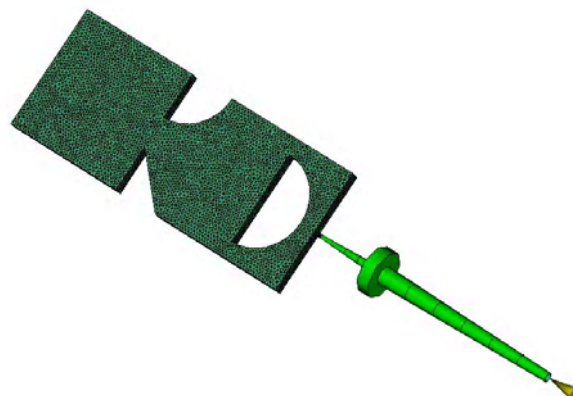
## WYNIKI BADAŃ

Na rysunku 1 przedstawiono model MES wypraski wykorzystanej do badań. Była to prostopadłościenna kształtka z trzema przeszkodami typu: półokrąg, ćwierć koła i trójkąt. Dodatkowo zamodelowano układ wlewowy formy. Po wprowadzeniu danych materiałowych oraz warunków przetwórstwa przeprowadzono stosowne obliczenia numeryczne.

Równolegle prowadzono rejestrację przepływu tworzywa w formie wtryskowej. Zestawienie rezultatów badań eksperymentalnych i symulacyjnych przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Zestawienie to zawiera porównanie zdjęć poklatkowych uzyskanych z cyfrowej kamery wideo z odpowiednimi wynikami symulacji komputerowej procesu wtryskiwania. Przedstawione zestawienie dotyczy procesu prowadzonego w następujących warunkach:

- objętościowe natężenie przepływu  $10 \text{ cm}^3/\text{s}$ ,
- maksymalne ciśnienie wtryskiwania 700 bar,

- czas wtrysku 2,5 s,
- czas chłodzenia 30 s,
- temperatura wtryskiwania  $250^\circ\text{C}$ ,
- temperatura formy ok.  $20^\circ\text{C}$ .



Rys. 1. Model wypraski i układu wlewowego z nałożoną siatką elementów skończonych

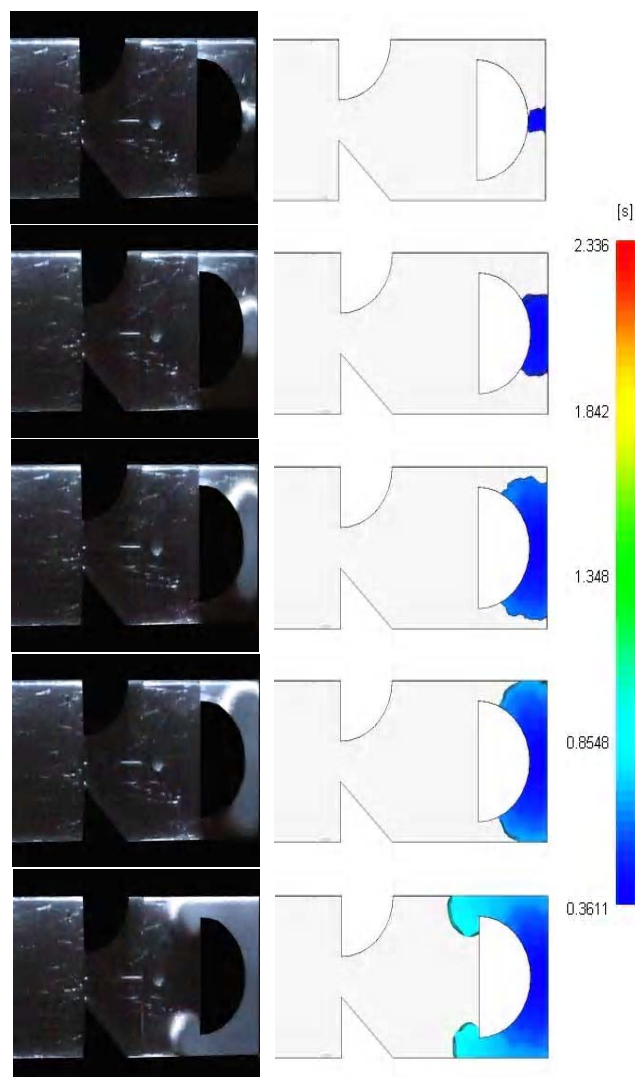


Fig. 1. Model moulded piece and injection unit with FEM mesh

Rys. 2. Zestawienie wyników badań eksperymentalnych i symulacyjnych dla kompozytu polipropylenu z talkiem

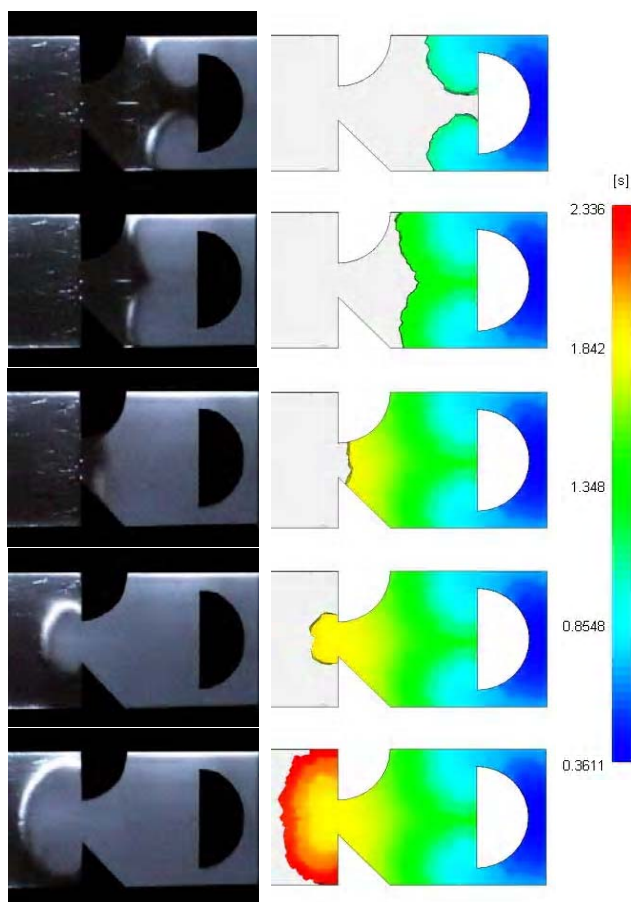


Fig. 2. Experimental and simulation tests results for polypropylene composite with talc

Rys. 3. Zestawienie wyników badań eksperymentalnych i symulacyjnych dla kompozytu polipropylenu z talkiem (ciąg dalszy)

Fig. 3. Experimental and simulation tests results for polypropylene composite with talc (continuance)

Proces prowadzono tak, aby nie doprowadzić do całkowitego wypełnienia gniazda formującego oraz pominąć fazę docisku. Powodami takiego postępowania były względy bezpieczeństwa oraz niedopuszczenie do uszkodzenia wzierników. Mimo tak znacznego ograniczenia możliwe było zarejestrowanie przebiegu wypełniania gniazda w interesującym zakresie. Zarejestrowano szereg zjawisk opisywanych dotychczas tylko teoretycznie. Udokumentowano sposób opływania różnorodnych przeszkód przez ciekłe tworzywo, propagację pęcherzy gazu i innych wtrąceń, zarejestrowano przepływ strumieniowy, spływanie i zderzanie się strug tworzywa itp. Prezentowane w niniejszej pracy wyniki badań pozwalają stwierdzić, iż strugi uplastycznionego kompozytu wykazują właściwości charakterystyczne dla materiału lepko-sprężystego (zgodnie z oczekiwaniami autorów). Opływanie przeszkody (np. półkolistej) odbywa się w sposób mogący wprawić obserwatora w zdumienie. Otóż tworzywo, napotykając na swej drodze przeszkodę (przy dużej prędkości przepływu), nie formuje strugi w kierunku postępującym, lecz zmienia ten kierunek, dokładnie opływając ścianki przeszkody. Po-

twierdza to rozważania teoretyczne i wyniki analiz numerycznych dotyczących przepływów materiałów (cieczy) lepko-sprężystych.

## WNIOSKI

Po przeprowadzeniu badań oraz analizy ich wyników sformułowano następujące wnioski:

- poszukiwanie nowych metod badawczych ma na celu zgłębienie wiedzy w zakresie dotąd niewyjaśnionych do końca bądź dyskusyjnych zjawisk zachodzących podczas trwania wybranych procesów wytwórczych. Badania tego typu mają na celu poznanie tych zjawisk, ich analizę i wykorzystanie w celu optymalizacji i minimalizacji kosztów procesów wytwarzania;
- porównanie wyników rejestracji przepływu kompozytu w procesie wtryskiwania z rezultatami badań symulacyjnych pozwala stwierdzić, iż specjalistyczne programy komputerowe umożliwiają przewidywanie wystąpienia zjawisk specyficznych dla danego procesu przetwórstwa. Współczesne programy symulacyjne zapewniają zadowalająco wierne odwzorowanie rzeczywistości (przy założeniu poprawności wprowadzonych warunków początkowych i brzegowych oraz wiarygodności danych materiałowych przetwarzanego kompozytu). Oznacza to, że już w fazie projektowania wytworu można przewidywać i optymalizować proces jego wytwarzania;
- kompozyt wybrany do badań poza ciekawymi właściwościami reologicznymi charakteryzuje się również odpowiednią barwą w stanie ciekłym (ze względu na warunki prowadzenia rejestracji wideo), co w znacznym stopniu poprawiło jakość uzyskanych wyników w stosunku do czystego polipropylenu. Należy zaznaczyć, iż napełnienie polipropylenu talkiem spowodowało utratę przezroczystości kompozytu, a to z kolei uniemożliwiło obserwację zjawisk zachodzących wewnątrz płynącego tworzywa;
- budowa specjalistycznych stanowisk badawczych umożliwiła dogłębne zbadanie niepotwierdzonych dotychczas przewidywań teoretycznych dotyczących zjawisk zachodzących podczas trwania złożonych procesów wytwórczych.

*Praca wykonana w ramach projektów badawczych: nr 4T08E03124 oraz 4T08E03223 finansowanych przez KBN.*

## LITERATURA

- [1] Yokoi H., Takematsu S., Visualization of Burning Phenomena during Cavity Filling Process, PPS Guimaraes 2002.
- [2] Yang S.Y., Nian S.C., Sun I.C., Flow Visualization of Filling Process during Micro-Injection Molding, International Polymer Processing, Hanser Verlag, XVII 2002.

- [3] Hasegawa S., Yokoi H., Murata Y., Dynamic Visualization of Cavity Filling Process in Ultra-high Speed and Thin Wall Injection Molding, PPS, Ateny 2003.
- [4] Banasiak A., Sterzyński T., Ocena przepływu w formie wtryskowej polimeru z napelniaczem płytkowym jako znacznikiem, Polimery 49, 6, 442-448.
- [5] Nabiałek J., Prototyp formy do monitorowania i rejestracji przepływu tworzywa w procesie wtryskiwania, (w:) Materiały polimerowe i ich przetwórstwo, praca zbiorowa, Częstochowa 2004, 325-331.
- [6] Banasiak A., Błędzki A., Sterzyński T., Flow lines visualization by injection molding of a model system PE + talc, PPS, Ateny 2003, 93.
- [7] <http://www.schott.com/lithotec>

Recenzent  
Tomasz Sterzyński