



**Jacek Nabiałek\*, Dariusz Kwiatkowski**

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

*e-mail: \* nabialek@kpts.pcz.czyst.pl*

Otrzymano (Received) 22.02.2007

## KOMPUTEROWE MODELOWANIE WYBRANYCH ZJAWISK WYSTĘPUJĄCYCH W PROCESIE WTRYSKIWANIA KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH

Przedstawiono wyniki komputerowych symulacji procesu wtryskiwania wybranego kompozytu polimerowego. Autorzy podjęli próbę modelowania wybranych zjawisk występujących podczas procesu wtryskiwania. W pracy wykorzystano pakiet oprogramowania inżynierskiego CAD/CAM/CAE - I-DEAS NX ver. 11 oraz program symulacyjny Moldflow Plastics Insight ver. 6.1. Do symulacji zastosowano próbkę o kształcie prostokątnej płytki. Próbkę wtryskiwano w różnych warunkach, a następnie przeprowadzono symulacje komputerowe dla identycznych warunków wtryskiwania. Materiał, z którego wykonano próbkę, to kompozyt PBT/PET z 15% zawartością włókna szklanego. Wyniki symulacji procesu wtryskiwania przedstawiono w postaci graficznej. W wyniku przeprowadzonych symulacji komputerowych otrzymano obszerny materiał badawczy. Rezultaty badań pozwoliły stwierdzić, iż obecnie możliwe jest modelowanie zjawisk, których do niedawna symulować nie można było.

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

## COMPUTER MODELING OF SELECTED PHENOMENA IN INJECTION MOLDING OF THE POLYMER COMPOSITE

In the paper results of computer simulations of the injection molding process of selected polymer composite were presented. Authors made an attempt at modeling the selected phenomena occurring during injection molding process. At work the package of providing the engineering software CAD/CAM/CAE - I-DEAS NX ver. 11 and simulation software Moldflow Plastics Insight ver. 6.1. A sample was used to the simulation about the shape of the cuboidal plate. Samples were injected in different conditions and then computer simulations for identical conditions were performed. They assumed that material from which the sample was made, was a composite PBT/PET with content 15% of the glass fiber. Results of the simulation of the process of injection molding were presented in the graphical form. As a result of computer simulations carried out a research large body. The results of research make possible to say that nowadays it is possible to model some kinds of phenomena, that recently mustn't have been simulated.

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

### WSTĘP

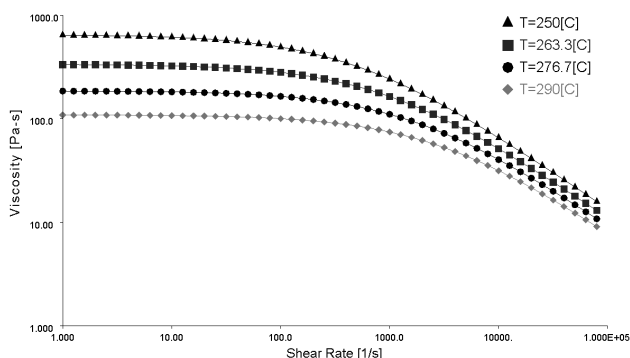
Przetwórstwo tworzyw sztucznych i ich kompozytów metodą wtryskiwania jest procesem szeroko stosowanym w wielu gałęziach współczesnego przemysłu. Udział tworzyw napełnionych (kompozytów) w produktach przeznaczonych do wykorzystania nie tylko w życiu codziennym stale rośnie. Wobec takiego stanu rzeczy w pełni zasadne staje się prowadzenie badań mających na celu dogłębne poznanie zjawisk zachodzących podczas szeroko pojętego przetwórstwa tworzyw polimerowych. Niniejsza praca jest próbą przedstawienia wybranego fragmentu wyników badań polegających na modelowaniu komputerowym przepływu tworzyw w gnieździe formy podczas trwania fazy wypełniania.

Wyniki badań symulacyjnych porównano z rezultatami rejestracji wideo przepływu kompozytu podczas jego wtryskiwania. 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

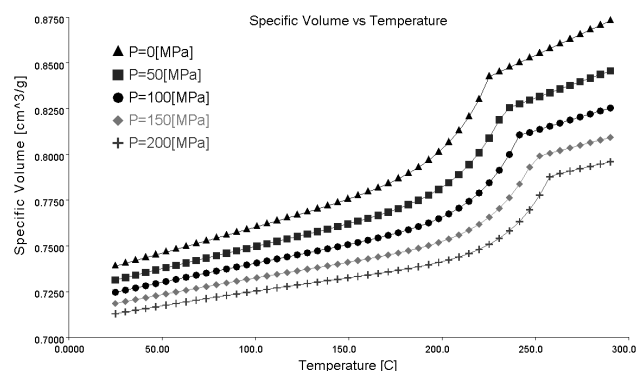
W niniejszej pracy przedstawiono wyniki uzyskane podczas badań kompozytu PBT/PET z włóknem szklanym. Zastosowano tworzywo firmy TICONA EUROPE

o nazwie handlowej CELANEX 2302. Zawartość wagowa włókna szklanego wynosiła 15%. Kompozyt o takiej zawartości napełniacza 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 precyzyjnej i nowoczesnej maszyny umożliwiło rozwiązanie wszystkich problemów, o których wspomniano powyżej. W ramach badań symulacyjnych wykonano szereg analiz numerycznych mających na celu komputerowe modelowanie procesu wtryskiwania kompozytu. W tym celu wykorzystano profesjonalny program komputerowy Moldflow Plastisc Insight w wersjach 4.1 oraz 6.1. Do poprawnego przeprowadzenia analiz konieczne stało się wprowadzenie danych materiałowych. Wykorzystano w tym celu bazę danych, będącą integralną częścią programu symulacyjnego. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wybrane właściwości (krzywe płynięcia i wykres pvT) zastosowanego do badań kompozytu.



Rys. 1. Krzywe płynięcia kompozytu Celanex 2302

Fig. 1. Viscosity plots for composite Celanex 2302

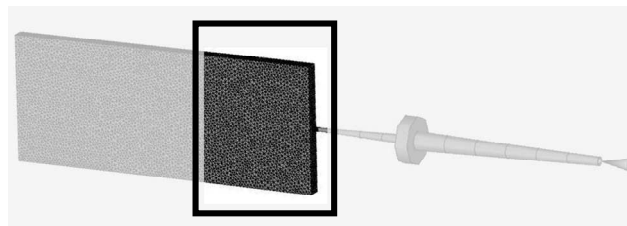


Rys. 2. Wykres pvT dla kompozytu Celanex 2302

Fig. 2. Plot of pvT for composite Celanex 2302

Na rysunku 3 pokazano model MES wypraski. Przeprowadzenie symulacji wybranych zjawisk wymagało zastosowania modelu spełniającego szczególne

wymagania (ilość elementów skończonych przypadających na grubość ścianki wypraski nie mogła być mniejsza niż sześć). Dodatkowo wymuszono uwzględnienie efektów bezwładności i grawitacji w obliczeniach numerycznych.



Rys. 3. Model MES wypraski z zaznaczonym obszarem prezentowanym w wynikach badań

Fig. 3. FEM model of sample with noted region which was presented in results of investigations

Do badań wykorzystano prostopadłościenną próbkę o wymiarach: 100 mm (długość), 40 mm (szerokość) oraz 4 mm (grubość).

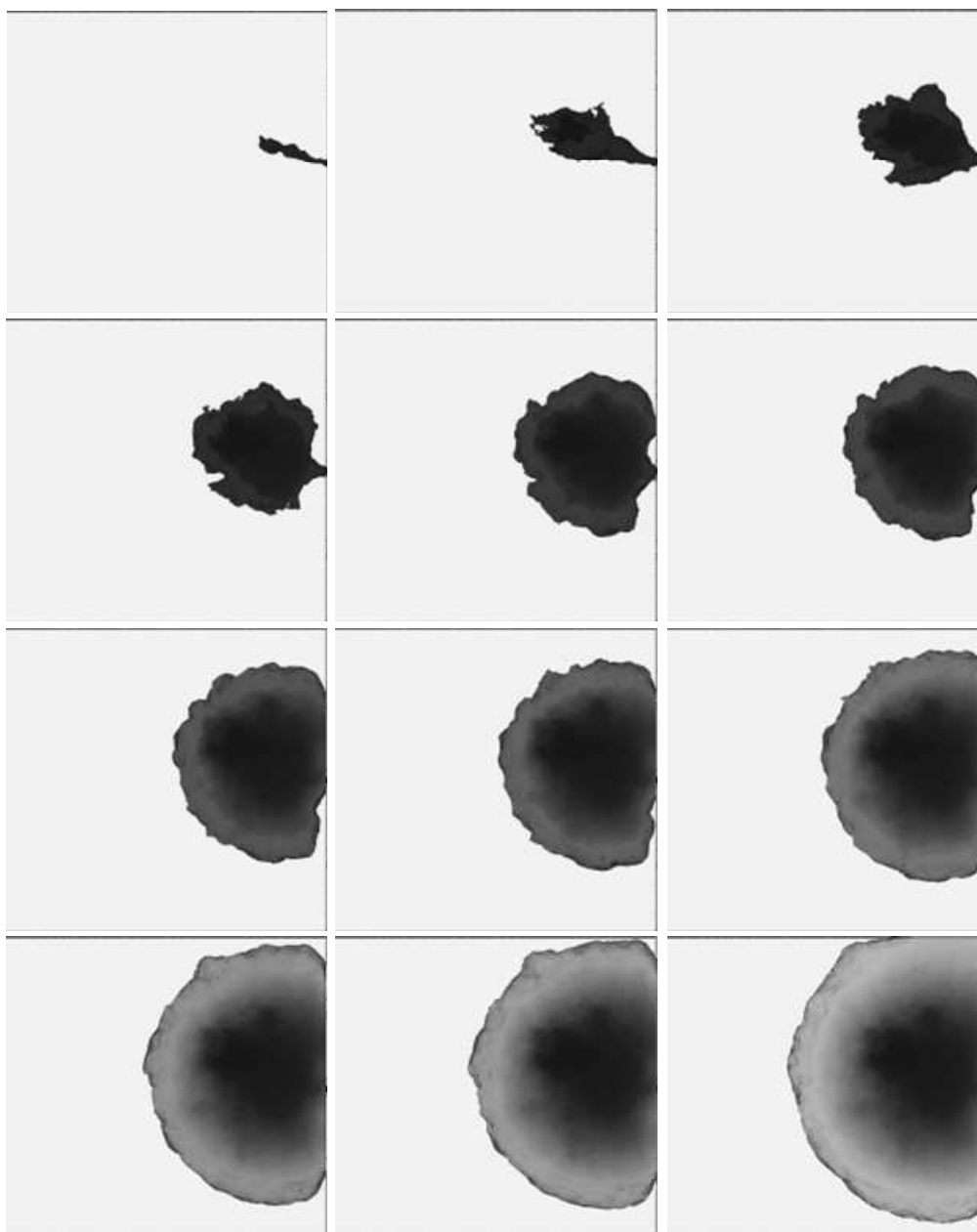
Do badań wizualizacyjnych wykorzystano specjalistyczną formę wtryskową o unikalnej konstrukcji. Forma ta umożliwiła autorom rejestrację zjawisk zachodzących podczas przepływu tworzywa wewnątrz gniazda formującego. Formę wyposażono w dwa wzierniki (o powierzchni co najmniej równej powierzchni gniazda), wykonane ze szkła krystalicznego o nazwie handlowej Zerodur®, 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 zaciemnienia pomieszczenia laboratoryjnego (badania zazwyczaj prowadzono nocą).

## WYNIKI BADAŃ

Prezentowane poniżej wyniki badań zawężono do obszaru zaznaczonego na rysunku 3 (najbardziej interesujący obszar z punktu widzenia zachodzących zjawisk). Rezultaty badań symulacyjnych przedstawiono na rysunku 4, a wyniki badań wizualizacyjnych na rysunku 5. Jest to zestawienie zdjęć poklatkowych uzyskanych z cyfrowej kamery wideo rejestrującej proces wtryskiwania.

Przedstawione wyniki dotyczą procesu prowadzonego w następujących warunkach:

- objętościowe natężenie przepływu  $30 \text{ cm}^3/\text{s}$ ,
- maksymalne ciśnienie wtryskiwania 800 bar,
- czas wtrysku 2,5 s,
- czas chłodzenia 30 s,



Rys. 4. Wyniki badań symulacyjnych (dla wybranego regionu)

Fig. 4. Results of simulation investigations (for selected region)

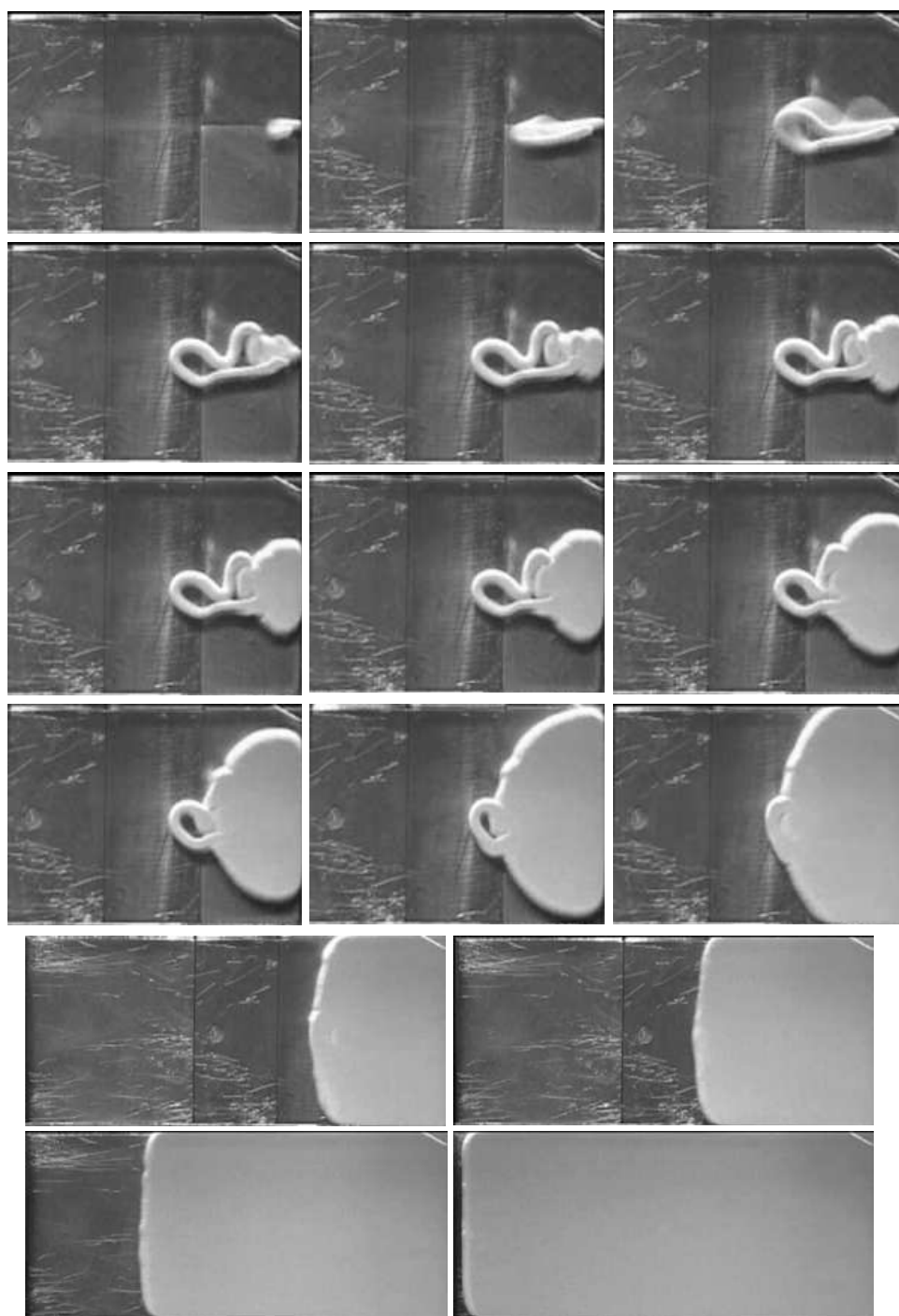
- temperatura wtryskiwania 240°C,
- temperatura formy ok. 25°C.

Wyniki badań przedstawione na rysunku 4 ilustrują jedynie przewidywane zachowanie się kompozytu (jego przepływ) w początkowej fazie wypełniania gniazda formującego. Wyniki te można porównać z rzeczywistym przepływem strumieniowym (rys. 5). Autorzy nie podjęli próby skorelowania np. w czasie rezultatów badań symulacyjnych i wizualizacyjnych. Jest to stosunkowo trudne do wykonania z wielu powodów (np. wyniki rejestracji są zdeterminowane parametrami technicznymi wykorzystanej kamery, obserwacja jest możliwa jedynie od momentu pojawiania się tworzywa w gnieździe itp.). Pierwsze próby modelowania prze-

pływu strumieniowego wykonano na ok. trzy tygodnie od daty przygotowania niniejszego artykułu. Powyżej opisane badania będą w przyszłości kontynuowane, a wyniki uściślone i dokładniej opisywane.

## WNIOSKI

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



Rys. 5. Wyniki badań wizualizacyjnych (zdjęcia poklatkowe)

Fig. 5. Results of visualization investigations (snapshots)

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. Do niedawna nie wszystkie zjawiska charakterystyczne dla przepływów tworzyw polimerowych można było modelować numerycznie. Stały dynamiczny rozwój w zakresie oprogramowania symula-

cyjnego spowodował, iż obecnie możliwe jest modelowanie praktycznie wszystkich zjawisk zachodzących podczas wypełniania gniazda formy wtryskowej. Prezentowany w pracy przepływ strumieniowy jest przykładem takiego zjawiska.

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.

**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 napełniaczem płytkowym jako znacznikiem, Polimery 2004, 49, 6, 442-448.
- [5] Nabiłek 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>