

**Jacek Nabiałek\*, Dariusz Kwiatkowski, Adam Gnatowski**

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

*\* Corresponding author. E-mail: nabialek@kpts.pcz.czyst.pl*

Otrzymano (Received) 10.03.2008

## MODELOWANIE NUMERYCZNE PROCESU WTRYSKIWANIA KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH - WYBRANY PRZYKŁAD WYPRASKI

Przedstawiono wyniki komputerowych symulacji procesu wtryskiwania wybranego kompozytu polimerowego. Autorzy podjęli próbę modelowania wtryskiwania wypraski nastręczającej trudności technologiczne. Po analizie wyników poprawiono błędy konstrukcyjne i ponownie przeprowadzono symulację komputerową. 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 wypraskę o kształcie prostopadłościenną obudowy urządzenia elektronicznego. Przeprowadzono symulacje komputerowe dla różnych warunków wtryskiwania. Materiał, dla którego przeprowadzono badania, to kompozyt polipropylenu z 20% dodatkiem kredy. Wyniki symulacji procesu wtryskiwania przedstawiono w postaci graficznej. Stwierdzono, iż możliwe jest wykluczenie błędów konstrukcyjnych na etapie projektowania wyprasek na podstawie wyników symulacji komputerowych procesu wtryskiwania.

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

## NUMERICAL MODELING OF INJECTION MOLDING OF THE POLYMER COMPOSITE - SELECTED EXAMPLE OF MOLDED PART

In the paper results of computer simulations of the injection molding process of selected polymer composite were presented. Authors made an attempt at modeling of injection molding of the polymer molded part technologically not correct. After analyzing the results structural errors were improved and the computer simulation was carried out again. 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 were used. A molded part was used to the simulation about the shape of the rectangular prism casing of electronic device. Computer simulations were performed for different conditions of process. The material for which investigations were performed is the polypropylene composite with 20% percentage of chalk. The results of the injection molding simulation were presented in the graphical way. It was found, that it is possible to exclude structural errors in the mold part designing phase on the grounds of injection molding computer simulations results.

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

### WSTĘP

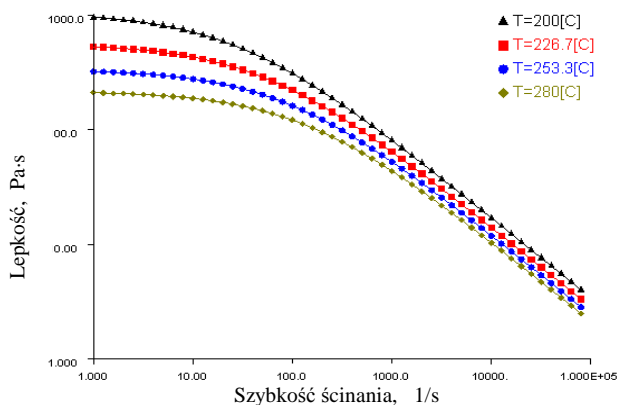
Przetwórstwo polimerów i ich kompozytów metodą wtryskiwania jest szeroko stosowane w wielu gałęziach współczesnego przemysłu. Udział kompozytów (tworzyw napełnionych) w produktach przeznaczonych do wykorzystania nie tylko w życiu codziennym stale rośnie. Wobec takiego stanu rzeczy w pełni zasadne staje się prowadzenie badań mających na celu dogłębne poznanie zjawisk zachodzących podczas szeroko pojętego przetwórstwa tworzyw polimerowych. Często zdarza się, że błąd popełniony przez konstruktora na etapie projektowania wypraski decyduje o niepowodzeniu podczas próby wdrażania wyrobu do produkcji. Niniejsza praca stanowi próbę wykazania przydatności kom-

puterowych symulacji komputerowych procesu wtryskiwania do eliminowania takich błędów.

### METODYKA BADAŃ

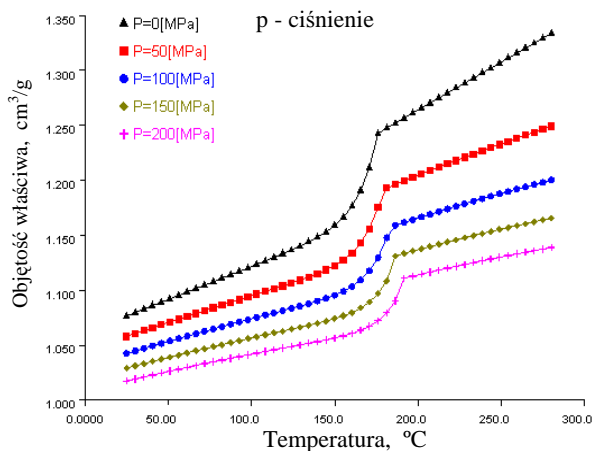
W niniejszej pracy przedstawiono wyniki modelowania procesu wtryskiwania kompozytu polipropylenu z kredą. Zastosowano tworzywo firmy SIMAX o nazwie handlowej ISOFIL H20 TC F Bianco. Zawartość wagowa kredy wynosiła 20%. W ramach badań symulacyjnych wykonano szereg analiz numerycznych mających na celu komputerowe modelowanie procesu wtryskiwania kompozytu; wykorzystano profesjonalny pro-

gram komputerowy Moldflow Plastisc Insight w wersji 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 ISOFIL H20 TC F Bianco

Fig. 1. Viscosity plots for composite ISOFIL H20 TC F Bianco

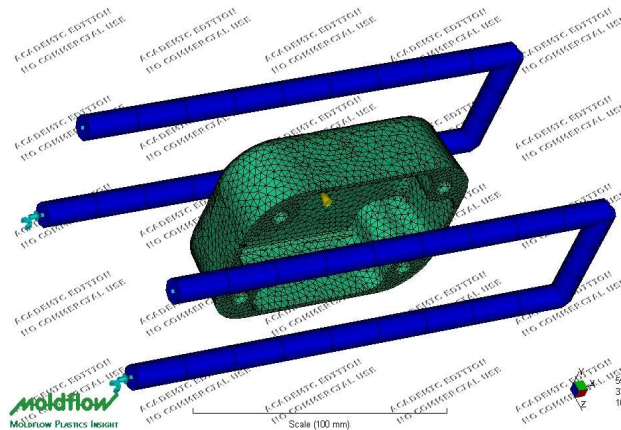


Rys. 2. Wykres pvT dla kompozytu ISOFIL H20 TC F Bianco

Fig. 2. pvT plot for composite ISOFIL H20 TC F Bianco

Na rysunku 3 przedstawiono model MES wypraski. Przeprowadzenie symulacji 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.

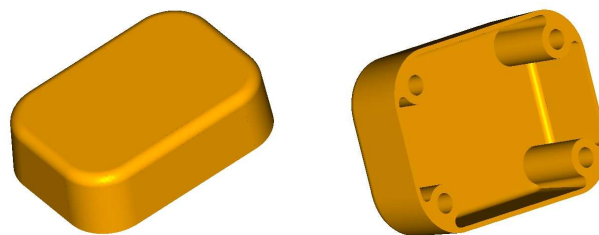
Do badań wykorzystano prostopadłościenną kształtkę o wymiarach: 100 mm (długość), 50 mm (szerokość), 30 mm (wysokość). Grubość ścianki wynosiła 2 mm.



Rys. 3. Model MES wypraski

Fig. 3. FEM model of molded part

Na rysunku 4 przedstawiono przestrzenny model wypraski, a na rysunku 5 szczegóły konstrukcyjne decydujące o jej jakości. Początkowo do badań symulacyjnych wykorzystano model z rysunku 5a. Po wykonaniu obliczeń i analizie otrzymanych wyników wprowadzono zmiany konstrukcyjne (zmiana sposobu połączenia tulei mocujących z korpusem - rysunek 5b). Później wykonano symulacje wtryskiwania i przeanalizowano wyniki. Na tej podstawie podjęto decyzję o dalszych zmianach w konstrukcji wypraski (wprowadzenie żeber łączących tuleje z korpusem - rysunek 5c). Analizy numeryczne dla tego modelu wykazały jeszcze jeden mankament, który należało wyeliminować: głębokość otworów tulei. Po odpowiednim zwiększeniu głębokości tych otworów wykonano ostateczne symulacje komputerowe, które dały zadowalające wyniki.



Rys. 4. Model przestrzenny wypraski

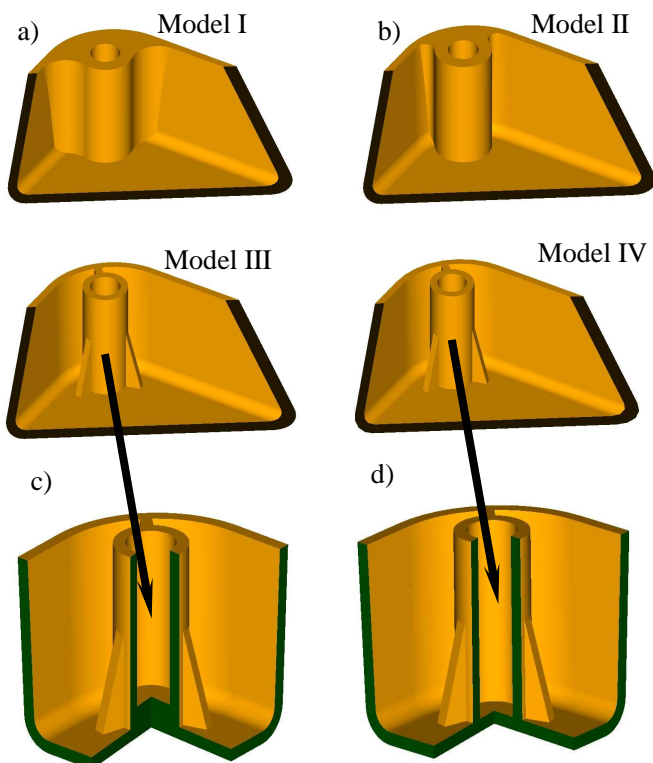
Fig. 4. 3D model of molded part

## WYNIKI BADAŃ

Rezultaty badań symulacyjnych przedstawiono na rysunkach 6-8. Wszystkie wyniki pogrupowano, aby możliwe było porównanie poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych (warianty opisane powyżej). Rozkład wartości temperatury wypraski w momencie usuwania jej z formy przedstawiono na rysunku 6. Dalsze wyniki (rys. rys. 7 i 8) to przewidywane obszary wystąpienia tzw. „zapadów” oraz największego skurczu przetwórczego.

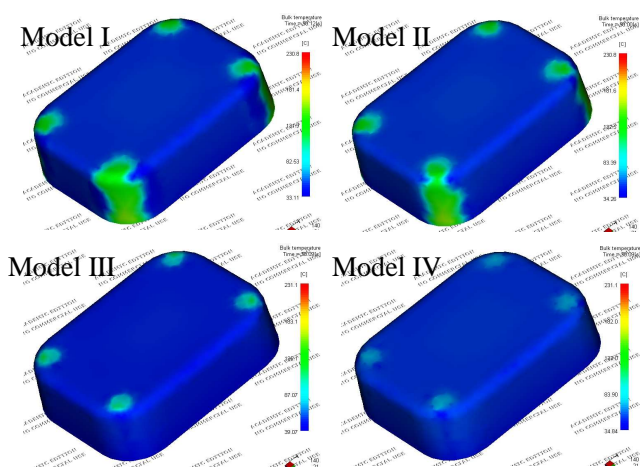
Przedstawione wyniki dotyczą procesu prowadzonego w następujących warunkach:

- objętościowe natężenie przepływu  $20 \text{ cm}^3/\text{s}$ ,
- maksymalne ciśnienie wtryskiwania 800 bar,
- czas wtrysku 2,5 s,
- czas chłodzenia 10 s,
- temperatura wtryskiwania  $240^\circ\text{C}$ ,
- temperatura formy ok.  $25^\circ\text{C}$ .



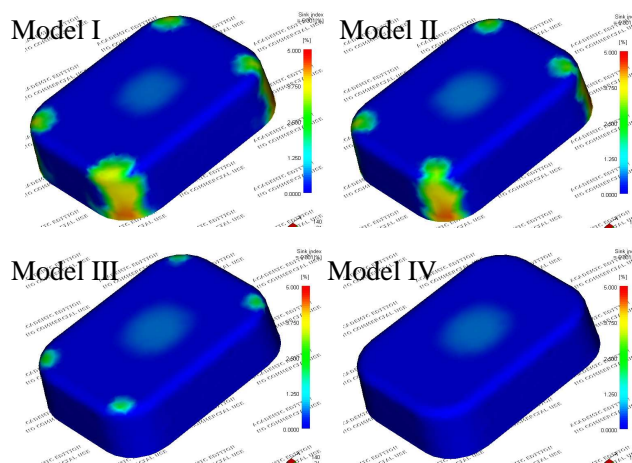
Rys. 5. Szczegóły konstrukcyjne wyprasek użytych do badań: a) konstrukcja początkowa, b) po zmianie promieni zaokrągleń, c) wprowadzenie żeber, d) zmiana głębokości otworu

Fig. 5. Constructional details of molded parts used in investigations: a) initial construction, b) after radius of fillets changes, c) introduction of ribs, d) depth of hole change



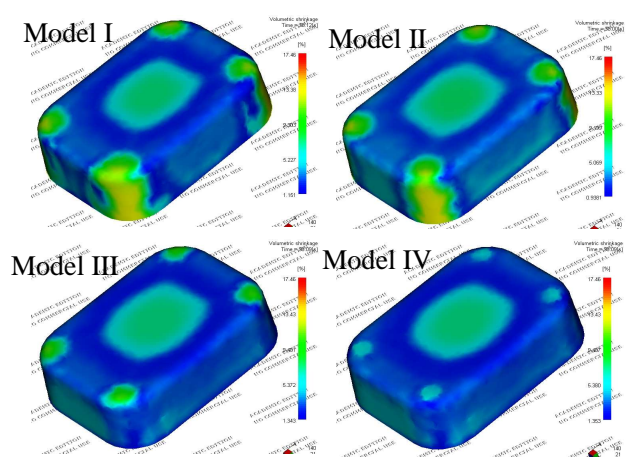
Rys. 6. Wyniki badań symulacyjnych - rozkład wartości temperatury

Fig. 6. Results of simulation investigations - bulk temperature distribution



Rys. 7. Wyniki badań symulacyjnych - przewidywane „zapady”

Fig. 7. Results of simulation investigations - sink marks regions



Rys. 8. Wyniki badań symulacyjnych - przewidywane „zapady”

Fig. 8. Results of simulation investigations - sink marks regions

## WNIOSKI

Analiza wyników 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) [1-6].

Wykorzystanie modelowania numerycznego umożliwia już w fazie projektowania wypraski przewidywanie i optymalizowanie procesu wytwarzania. Otrzymane wyniki potwierdziły doniesienia literaturowe [1-6] oraz przypadki spotykane w praktyce przemysłowej.

Podsumowując należy stwierdzić, iż zastosowanie profesjonalnych programów komputerowych do symulacji procesu wtryskiwania umożliwia wyeliminowanie szeregu błędów konstrukcyjnych podczas projektowania i wdrażania do produkcji nowych wytworów kompozytowych.

**LITERATURA**

- [1] Ilinca F., Hetu J.F., Three-dimensional filling and post-filling simulation of polymer injection molding, *International Polymer Processing*, (2001) XVI 3, 291-301.
- [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] Godec. D., Sercer M., Catic I., Analytical and Numerical Calculation of Mould for Injection Moulding of Thermoplastics, PPS Ateny 2003.
- [4] Flitz P.F., Symulacja jest lepsza niż próby, TS Raport 2002, 11-12, 22-25.
- [5] Takase M., Katsumoto R., Kegasawa T., Kihara S., Funatsu K., Numerical analysis of polymer melt flow in the nipping region, *Polym. Eng. Sci.* 2002, 42, 4, 836-845.
- [6] Yu L., Koh C.G., Lee L.J., Koelling K.W., Madou M.J., Experimental investigation and numerical simulation of injection molding with Micro-features, *Polym. Eng. Sci.* 2002, 42, 5, 871-887.