

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@ipp.pcz.pl

Otrzymano (Received) 20.01.2010

## MODELOWANIE PROCESU WTRYSKIWANIA WIELOKOMPONENTOWEGO KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH

Prezentowano wyniki komputerowych symulacji procesu wtryskiwania wybranego kompozytu polimerowego, a następnie otryskiwania go innym tworzywem. 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, która składa się z dwóch elementów: elastycznej ramki i sztywnego korpusu. Przeprowadzono symulację komputerową wtryskiwania korpusu oraz otryskiwania go termoplastycznym elastomerem. Zastosowano dwa różne materiały polimerowe: kompozyt polipropylenu z kredą Isofil H 40 C2 F NAT (korpus) oraz termoplastyczny elastomer SEBS Sevrene 3000-70A (ramka). Wyniki symulacji procesu wtryskiwania i otryskiwania przedstawiono w postaci graficznej. Badano wpływ gorącego elastomeru na otryskiwany korpus. Stwierdzono, iż materiał korpusu zostanie częściowo ponownie uplastyczniony podczas procesu otryskiwania. Gorący elastomer (temperatura powyżej 200°C) opływający zimny korpus spowoduje przejście w stan plastyczny materiału korpusu. Można przypuszczać, iż nastąpi trwałe połączenie ramki z korpusem. Analizowano między innymi rozkład temperatury, ciśnienia, szybkości ścinania. 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). Programy symulacyjne pozwalają modelować coraz szerszą gamę procesów przetwórstwa kompozytów polimerowych. Wyniki badań mają charakter wstępny. Planuje się analizę chłodzenia i skurczu przetwórczego w ramach dalszych badań. Wyniki badań symulacyjnych porównano z procesem rzeczywistym.

Słowa kluczowe: kompozyty polimerowe, proces wtryskiwania wieloskładnikowego, otryskiwanie, symulacje komputerowe

## MODELING OF MULTICOMPONENT INJECTION MOLDING PROCESS OF THE POLYMER COMPOSITES

In the paper results of computer simulations of the overmolding process of selected polymer composite were presented. 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, which contains elements: elastic frame and rigid body. Computer simulations were performed for injection of body part and its overmolding with elastomer. Materials for which investigations were performed are: polypropylene composite with chalk Isofil H 40 C2 NAT (body) and thermoplastic elastomer SEBS Sevrene 3000-70A (frame). The results of the injection molding and overmolding simulation were presented in the graphical way. The hot elastomer influence on overmolding body was examined. It is proved that bodys' material will be partially plasticized again during overmolding process. Hot elastomer (temperature over 200°C) which overflows cold body causes body material passing into plastic state. We may assume that permanent connection frame with body will take place. Temperature, pressure and shear rate were analyzed. The analysis of simulation research results helps us assert that specialist computer programs let us predict appearance of phenomena specific for given molding process. Modern simulation programs ensure us true reality projection (if we assume that initial and border conditions which were entered are correct and that material data of processing composite is reliable). Simulation programs let us model wider and wider scale of polymer composites processing. The results of investigation have preliminary character. Cooling, shrinkage and warpage analysis will be planned within the limit of further research. The results of investigation became set against real process.

Keywords: polymers composites, multicomponent injection molding, overmolding, computers simulation

### WSTĘP

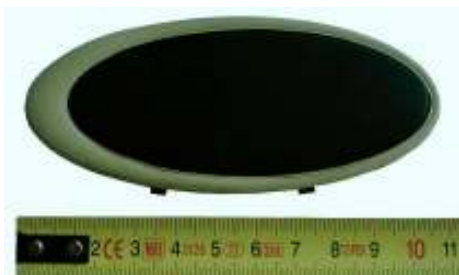
Przetwórstwo tworzyw sztucznych i ich kompozytów metodą wtryskiwania jest procesem szeroko stosowanym w wielu gałęziach współczesnego przemysłu. Udział tworzyw napełnionych (kompozytów) w produktach

przeznaczonych do wykorzystania nie tylko w życiu codziennym stale rośnie. Coraz częściej wykorzystuje się w praktyce odmianę wtryskiwania nazywaną wtryskiwaniem wieloskładnikowym lub otryskiwaniem. Elemen-

tem otryskiwanym może być zarówno kształtka metalowa umieszczona w formie wtryskowej, jak i wypraska polimerowa wykonana metodą wtryskiwania. Niniejsza praca stanowi próbę wykazania przydatności komputerowych symulacji procesu otryskiwania sztywnego korpusu wykonanego z kompozytu polimerowego elastomerem termoplastycznym (ramka).

## METODYKA BADAŃ

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki uzyskane podczas symulacji komputerowej procesu otryskiwania sztywnego korpusu elastomerem termoplastycznym. Na rysunku 1 przedstawiono fotografię kompletnej wypraski.



Rys. 1. Fotografia wypraski

Fig. 1. Photography of molded part

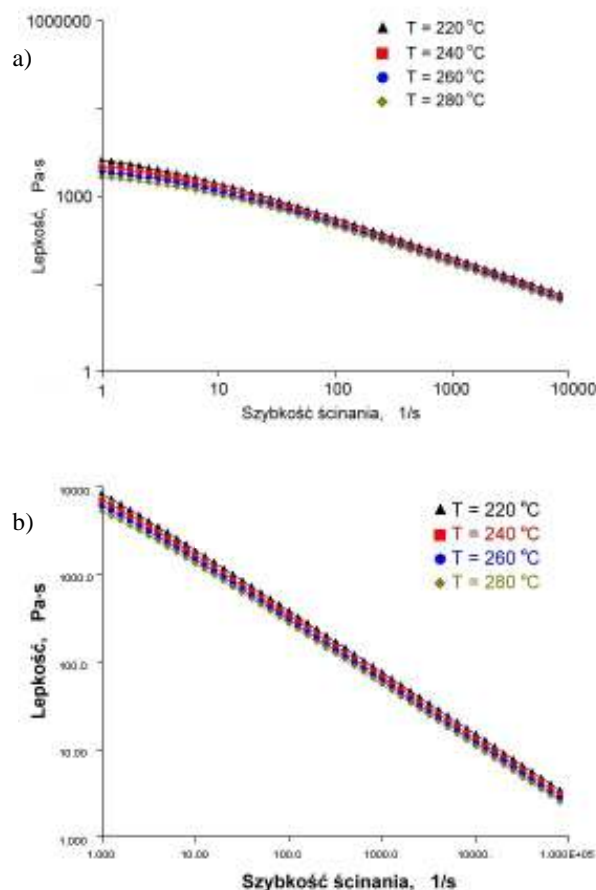
## Materiały

Jako materiał elastycznej ramki zastosowano tworzywo firmy Vichem o nazwie handlowej Sevrene 3000-70A. Jest to elastomer termoplastyczny (TPE) - kopolimer blokowy SEBS. Jako materiał korpusu wypraski zastosowano kompozyt polipropylenu firmy SIRMAL o nazwie handlowej Isofil H 40 C2 F NAT. Zawartość wagowa kredy wynosiła 40%. Wysoko napełnione kompozyty polipropylenu z kredą są szeroko opisywane w literaturze [1, 2].

Do poprawnego przeprowadzenia analiz konieczne stało się wprowadzenie danych materiałowych. Wykorzystano w tym celu bazę danych będącą integralną częścią programu symulacyjnego. W tabeli 1 zestawiono wybrane właściwości zastosowanego do badań kompozytu oraz SEBS, z którego wykonana została elastyczna ramka. Na rysunku 2 przedstawiono przetwórcze krzywe płynięcia omawianych materiałów polimerowych.

TABELA 1. Wybrane właściwości materiałów  
TABLE 1. Selected properties of materials

	Jednostka	Isofil H40 C2 F NAT	Sevrene 3000-70A
Moduł Younga	MPa	1788,65	5
Liczba Poissona	-	0,3789	0,42
MFR	g/10 min	13	-
Gęstość	g/cm <sup>3</sup>	1,259	0,905
Ciepło właściwe	J/(kg·°C)	2963	1929
Przewodność cieplna	W/(m·°C)	0,235	0,215



Rys. 2. Krzywe płynięcia: a) Isofil H 40 C2 F NAT, b) Sevrene 3000-70A

Fig. 2. Flow curves: a) Isofil H 40 C2 F NAT, b) Sevrene 3000-70A

## Obliczenia numeryczne

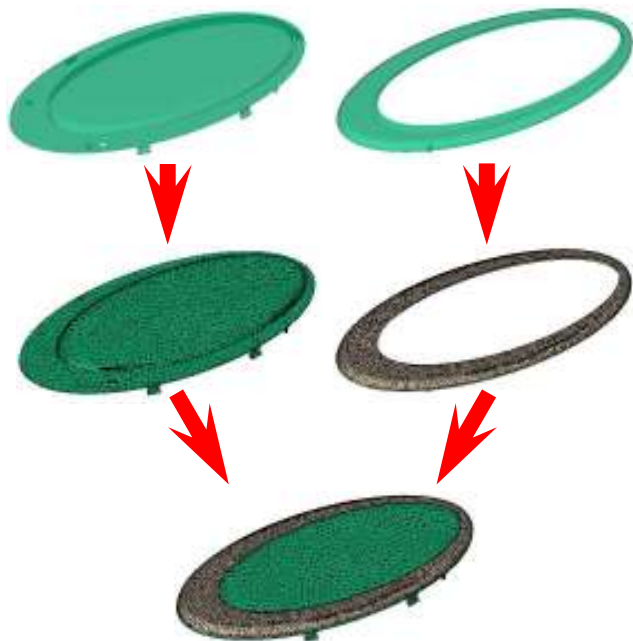
Do badań symulacyjnych wykorzystano profesjonalny program komputerowy Moldflow Plastic Insight w wersji 6.1.

Na rysunku 3 przedstawiono model przestrzenny wypraski oraz nałożoną na ten model siatkę MES. Przeprowadzenie symulacji wymagało zastosowania modelu spełniającego szczególne wymagania (ilość elementów skończonych przypadających na grubość ścianki wypraski nie mogła być mniejsza niż cztery). Dodatkowo wymuszono uwzględnienie efektów bezwładności i grawitacji w obliczeniach numerycznych.

Badania symulacyjne przeprowadzono przy założeniu zastosowania jednej formy wtryskowej (obrotowej). Warunki prowadzenia procesu wtryskiwania i otryskiwania:

- temperatura formy 50°C (wtryskiwanie i otryskiwanie),
- temperatura wtryskiwania 240°C,
- temperatura otryskiwania 260°C,
- objętościowe natężenie przepływu 8,5 cm<sup>3</sup>/s (wtryskiwanie),
- objętościowe natężenie przepływu 3,5 cm<sup>3</sup>/s (otryskiwanie),
- ciśnienie docisku 15 MPa (wtryskiwanie),

- ciśnienie docisku 10 MPa (otryskiwanie),
- czas docisku 10 s (wtryskiwanie i otryskiwanie),
- czas chłodzenia 20 s (wtryskiwanie i otryskiwanie).



Rys. 3. Model MES wypraski

Fig. 3. FEM model of molded part

### Wtryskiwanie rzeczywiste

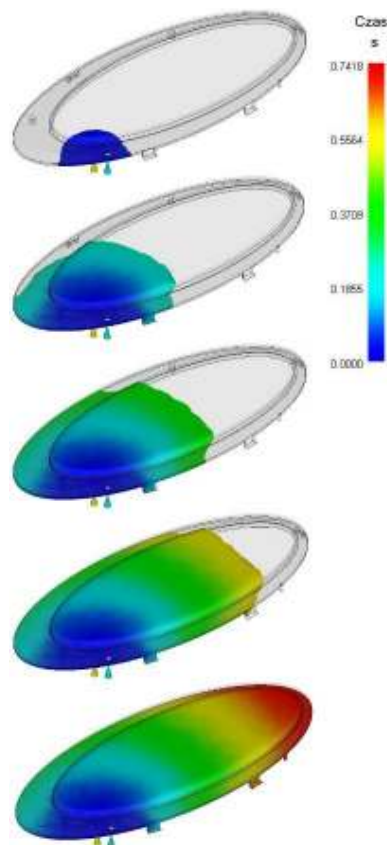
Wtryskiwanie odbywało się na specjalistycznej wtryskarce dwukomponentowej Welltec TTI 220 FT firmy Cosmos Machinery Ltd o następujących parametrach technicznych:

Siła zamykania	2200 kN
Prześwit między kolumnami	510 x 510 mm
Układ uplastyczniający podstawowy:	
Średnica ślimaka	50 mm
Stosunek $L/D$	20:1
Gramatura wtrysku (PS)	452 g
Maksymalne ciśnienie wtrysku	170 MPa
Maksymalne natężenie przepływu	196,6 cm <sup>3</sup> /s
Układ uplastyczniający pomocniczy:	
Średnica ślimaka	25 mm
Stosunek $L/D$	24:1
Gramatura wtrysku (PS)	71 g
Maksymalne ciśnienie wtrysku	265 MPa
Maksymalne natężenie przepływu	77 cm <sup>3</sup> /s

### WYNIKI BADAŃ

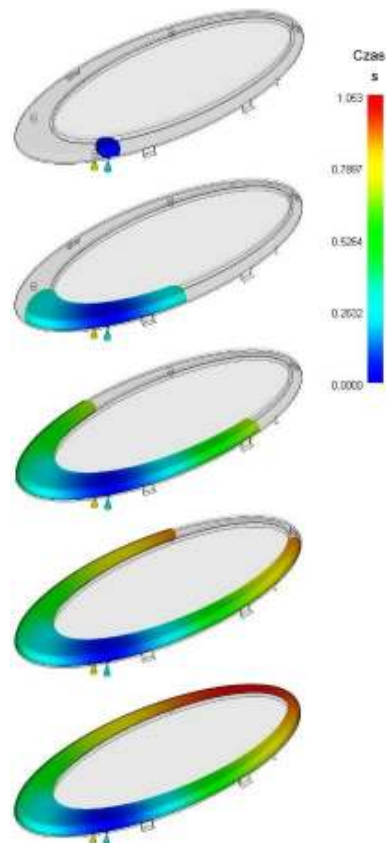
Na rysunku 4 przedstawiono wyniki symulacji procesu wtryskiwania korpusu wypraski (wypełnianie gniazda formy wtryskowej).

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki symulacji procesu otryskiwania wtrysniętego wcześniej kompozytowego korpusu elastomerem termoplastycznym (wypełnianie gniazda formującego).



Rys. 4. Wyniki symulacji wypełniania korpusu wypraski

Fig. 4. Results of body part filling simulation

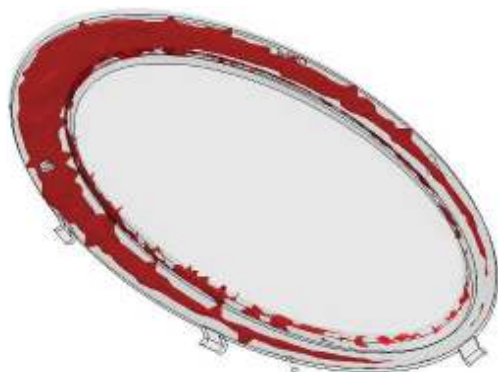


Rys. 5. Wyniki symulacji wypełniania korpusu wypraski

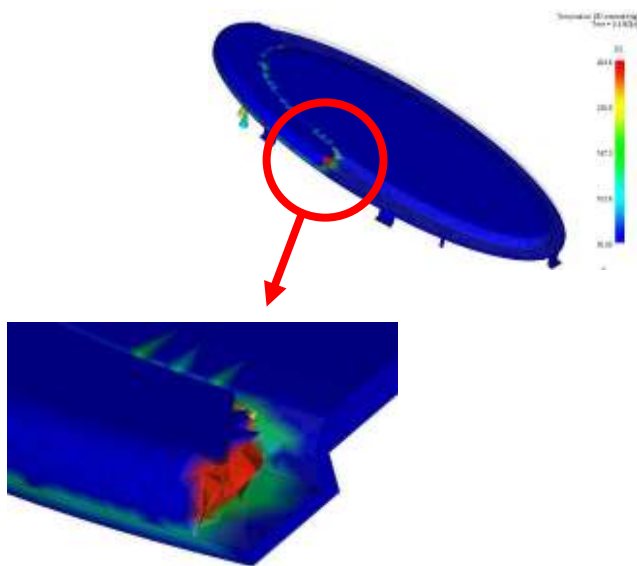
Fig. 5. Results of body part filling simulation

Na rysunku 6 przedstawiono przewidywany region, w którym nastąpi ponowne uplastycznienie kompozytu podczas otryskiwania go elastomerem.

Szczegóły przewidywanego opływania korpusu wypraski przez elastomer pokazano na rysunku 7 (rozkład temperatury obu tworzyw podczas opływania). W celu dobrej wizualizacji przedstawiono zbliżenie na przekrój regionu łączenia się tworzyw.



Rys. 6. Strefa ponownego uplastycznienia korpusu wypraski  
Fig. 6. Re-melt zone of body part



Rys. 7. Rozkład temperatury podczas otryskiwania korpusu  
Fig. 7. Temperature distribution during body overmolding

## 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) [3-8].

Współczesne programy symulacyjne pozwalają modelować coraz szerszą gamę procesów przetwórstwa kompozytów polimerowych nawet tych, których stopień wypełnienia jest wysoki.

Ocena wiarygodności uzyskanych wyników badań była możliwa, ponieważ odniesiono je do rzeczywistego procesu przetwórstwa.

## LITERATURA

- [1] Jakubowska P., Kloziński A., Sterzyński T., Właściwości reologiczne wysokonapełnionych kompozytów poliolefin, *Chemia i Technologia Chemiczna* 11, Zeszyty Naukowe ATR w Bydgoszczy 2006, nr 246, s. 57.
- [2] Sterzyński T., Kubczak M., Wysokonapełnione kompozyty polietylen/metaołowian baru do zastosowań w bipolarnych akumulatorach kwasowo-ołowiowych, *Polimery* 2006, 2.
- [3] Ilinca F., Hetu J.F., Three-dimensional filling and post-filling simulation of polymer injection molding, *International Polymer Processing* 2001, XVI, 3, 291-301.
- [4] Yang S.Y., Nian S.C., Sun I.C., Flow visualization of filling process during micro-injection molding, *International Polymer Processing*, Hanser Verlag 2002, XVII.
- [5] Godec D., Sercer M., Catic I., Analytical and numerical calculation of mould for injection moulding of thermoplastics, *PPS Ateny* 2003, (materiały).
- [6] Flitz P.F., Symulacja jest lepsza niż próby, *TS Raport* 2002, 11-12, s. 22-25.
- [7] 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.
- [8] 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.