

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

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

## KOMPUTEROWE SYMULACJE PROCESU WTRYSKIWANIA PRÓBEK DO BADANIA ODPORNOŚCI NA PĘKANIE

Przedstawiono przykładowe wyniki komputerowych symulacji wtryskiwania próbek do badania procesu pękania. Autorzy podjęli próbę wykazania zasadności stosowania zaawansowanych metod komputerowych w modelowaniu procesów przetwórstwa tworzyw sztucznych. Jako program symulacyjny wykorzystano aplikację Moldflow Plastics Insight ver. 4.1. stanowiącą integralną część pakietu oprogramowania EDS I-DEAS NX 11m1. Program ten umożliwił wykonanie szeregu analiz numerycznych dotyczących procesu wtryskiwania próbek do badań odporności na pęknięcie. Do symulacji zastosowano kompozyty polipropylenu i poliamidu 6 z włóknem szklanym oraz talkiem. Porównano wyniki komputerowych symulacji procesu wtryskiwania próbek do badań odporności na pęknięcie wykonanych z wybranych kompozytów przy zmiennych warunkach wtryskiwania. Z konieczności przedstawiono tylko wybrane wyniki badań symulacyjnych. Jako przykładową wypraskę wykorzystano prostopadłościenną belkę z karbem prostokątnym w środkowej jej części. Szczególną uwagę przywiązano do modelowania zjawisk zachodzących w okolicy karbu. W wyniku przeprowadzonych symulacji komputerowych otrzymano obszerny materiał badawczy, który poddano szczegółowej analizie w celu właściwej jego interpretacji.

Słowa kluczowe: kompozyty, proces wtryskiwania, symulacje komputerowe

## THE COMPUTERS SIMULATION OF THE INJECTION MOLDING OF TEST SPECIMENS FOR CRACKING PROCESS INVESTIGATION

In the paper the exemplary results of computer simulations of the injection molding of specimens for cracking process test have been presented. The authors have made an attempt to proof the usage of advanced computer methods in modeling of the plastics processing. Moldflow Plastics Insight ver. 4.1 program being the integral unit of the package EDS I-DEAS NX 11m1 was used for numerical simulation of the process. The software made it possible to perform the series of numerical analyses of the plastics injection molding - especially plastics composites. Composites of polypropylene and polyamide with glass fiber as well as talc were taken into the investigations. The results of the computer simulation of the injection molding of specimens for cracking process test of composites with different injection moulding conditions were compared. For the purposes of the paper the chosen results of simulation have been presented. A cubicoïd beam with a notch in the centre of its unit was used as example. Special attention was drawn into the modeling of the phenomena in the neighborhoods of the notch. A capacious investigative material resulting from the simulations was subjected to the detailed analysis in order to perform a thorough interpretation.

Keywords: composites, moulding injection, computers simulation

### WSTĘP

Wtryskiwanie tworzyw sztucznych oraz ich kompozytów jest procesem bardzo skomplikowanym. Właściwości wyprasek wtryskiwanych zależą od wielu czynników, z których najważniejsze można podzielić na związane z [1-4]:

- przetwarzanym materiałem (jego składem chemicznym, zastosowanym napelniaczem, granulacją, właściwościami płynięcia, strukturą, zawartością surowca wtórnego, wilgotnością, jednorodnością i in.),
- wtryskarką (wielkością wtryskarki, stanem technicznym, wyposażeniem dodatkowym),
- formą wtryskową (dokładnością jej wykonania, liczbą i układem gniazd, przebiegiem płaszczyzn podziału, konstrukcją i jakością wykonania układu doprowadzania tworzywa, wymiarami i położeniem prze-

węzek, regulacją temperatury, odpowietrzeniem, sposobem ustalania połówek formy, układem wypychania wypraski, rodzajem materiału formy, stopniem zużycia),

- warunkami wtryskiwania (temperaturą wtryskiwania, temperaturą i ciśnieniem w formie, ciśnieniem docisku, czasem wtryskiwania, docisku i chłodzenia wypraski itd.).

Programy do symulacji wtryskiwania są w użyciu od początku lat osiemdziesiątych. Ich stały rozwój i ewolucja umożliwiły obecnie przeprowadzanie modelowania przepływu tworzywa traktowanego jako zjawisko w pełni trójwymiarowe. Jeszcze nie tak dawno wobec braku innych możliwości symulacje prowadzono z wykorzystaniem tzw. powierzchni środkowej, czyli spro-

<sup>1,2</sup> dr inż.

wadzano zjawiska zachodzące w gnieździe formującym do zagadnień dwuwymiarowych. W niniejszej pracy przedstawiono przykładowe wyniki badań symulacyjnych dotyczących procesu wtryskiwania próbek do badań odporności na pękanie z wybranych kompozytów PP i PA6. Do badań symulacyjnych wykorzystano najbardziej zaawansowane specjalistyczne oprogramowanie komputerowe.

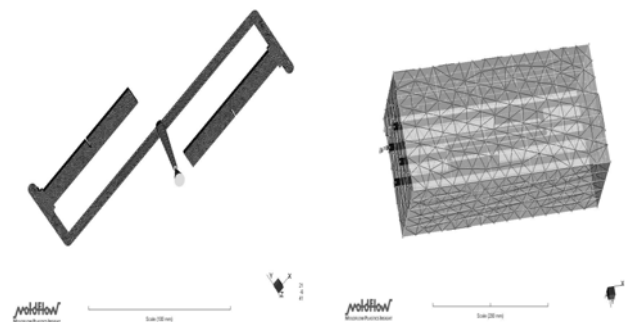
## METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Do symulacji komputerowych procesu wtryskiwania użyto kompozytów na osnowie dwóch znanych tworzyw termoplastycznych: poliamidu 6 o nazwie firmowej RESTRAMID i polipropylenu o nazwie firmowej RESLEN. Do wzmocnienia kompozytów poliamidu 6 i polipropylenu zastosowano włókno szklane o symbolu E ze szkła bezkalicznego boro-glino-krzemowego, o zawartości tlenków alkalicznych poniżej 1% oraz talku. Do badań symulacyjnych procesu wtryskiwania użyto: PA6, PA6 z 15% zawartością talku, PA6 z 25% zawartością talku, PA6 z 15% zawartością włókna szklanego, PA6 z 25% zawartością włókna szklanego, PP, PP z 15% zawartością talku, PP z 25% zawartością talku, PP z 15% zawartością włókna szklanego, PP z 25% zawartością włókna szklanego.

Jako przykładową wypraskę wykorzystano prostopadłościenną belkę o wymiarach 80x10x4 mm (długość, szerokość, grubość). W środkowej części wypraski znajdował się karb poprzeczny prostokątny. Badania symulacyjne przeprowadzono, opierając się na sporządzonym programie badań. Program ten został opracowany z wykorzystaniem pakietu Statistica 6.0. Zakres parametrów wejściowych został tak dobrany, aby jeden i ten sam plan obowiązywał dla wszystkich badanych tworzyw. Uwzględniono w nim zmienność następujących czterech warunków procesu wtryskiwania: ciśnienia docisku, temperatury wtryskiwania, szybkości wtryskiwania oraz temperatury formy. Do badań wykorzystano dwugniazdową formę wtryskową, umożliwiającą wykonanie dwóch identycznych wyprasek.

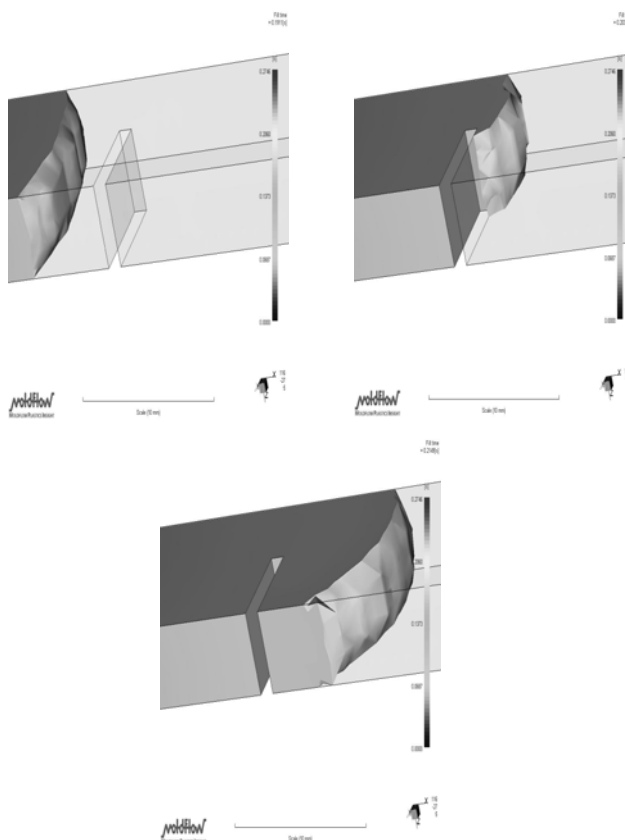
Badania symulacyjne obejmowały następujące etapy: przygotowanie przestrzennego modelu wypraski, import modelu do programu symulacyjnego, wygenerowanie siatki MES (metoda elementów skończonych) typu 3D, wprowadzenie warunków początkowych i brzegowych, przeprowadzenie obliczeń numerycznych oraz interpretacje wyników symulacji. Przestrzenny model wypraski został wykonany w module Master Modeler Pakietu IDEAS NX. Model ten uwzględniał dwugniazdową konstrukcję formy wtryskowej, układ wlewy oraz sposób dystrybucji tworzywa w formie. Model ten zapisano w formacie STL, co umożliwiło import do programu symulacyjnego. W programie tym wygenerowano stosowną

siatkę MES złożoną z elementów tetrahedralnych. Następnie wprowadzono do programu warunki chłodzenia wypraski (kształt i położenie kanałów chłodzących oraz właściwości czynnika chłodzącego, którym była woda). Kolejnym krokiem było modelowanie kształtu geometrycznego formy wtryskowej i rozpięcie na nim stosownej siatki MES. Kluczowym momentem w badaniach symulacyjnych było wprowadzenie do symulatora danych opisujących właściwości przetwarzanego tworzywa.



Rys. 1. Model MES wypraski i formy wtryskowej

Fig. 1. Model MES moulded piece and injection mould



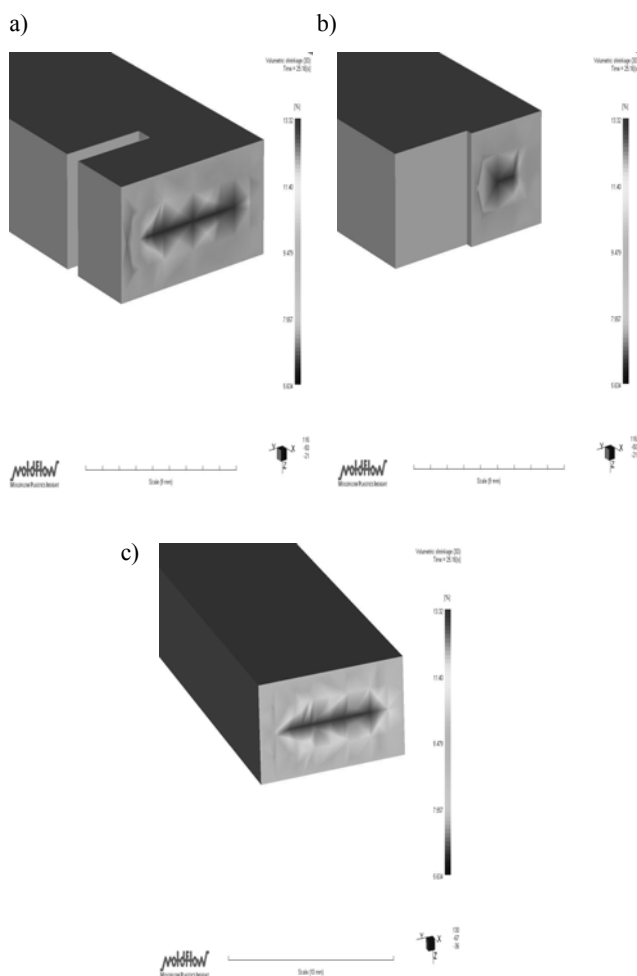
Rys. 2. Przepływ kompozytu PP z 15% zawartością talku w okolicy karbu

Fig. 2. Flow examination composite PP with 15% talc near notch

Dane te obejmowały właściwości (cieplne, reologiczne, mechaniczne itp.) przetwarzanego tworzywa oraz zasto-

sowanego napełniacza. Kolejnym krokiem było wprowadzenie do programu symulacyjnego (Moldflow Plastisc Insight ver. 4.1) warunków procesu wtryskiwania. Stosowano się tutaj do programu badań. Należy podkreślić szczególną czasochłonność przeprowadzonych badań symulacyjnych. Pojedyncza analiza pochłaniała ok. 10 h pracy bardzo wydajnego komputera klasy PC. Wykonano kilkadziesiąt takich analiz. Przeprowadzone zostały między innymi następujące symulacje:

- procesu wypełniania gniazda formy,
- procesu ochładzania wyprasek,
- skurczu przetwórczego,
- odkształceń wyprasek.

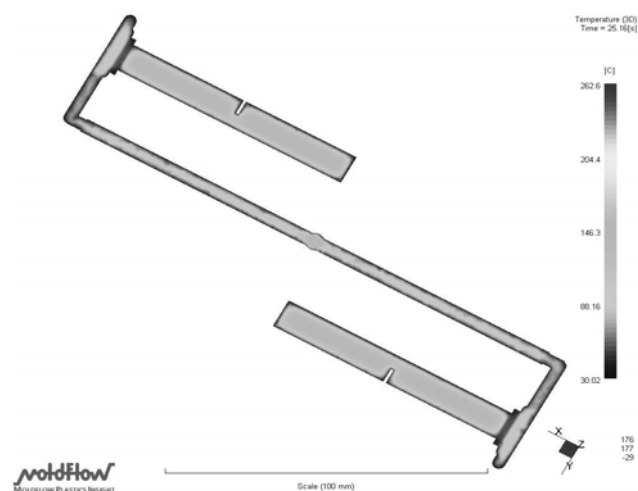


Rys. 3. Skurcz objętościowy na przykładzie PP z 15% zawartością talku w okolicy karbu: a) za karbem, b) w karbie, c) przed karbem

Fig. 3. Shrinkage near the notch for composite PP with 15% talc: a) behind the notch, b) in the notch, c) before the notch

Na rysunku 1 przedstawiono model MES wypraski wraz z układem wlewowym oraz model z kanałami chłodzącymi i bryłą formy wtryskowej. Na rysunku 2 zaprezentowano przykładowe wyniki symulacji 3D przepływu kompozytu PP z 15% zawartością talku w okolicy karbu, a na rysunku 3 - przykładowe wyniki

skurczu objętościowego w przypadku kompozytu PP z 15% zawartością talku w okolicy karbu. Na rysunku 4 przedstawiono rozkład temperatury wzdłuż kierunku przepływu kompozytu PP z 15% zawartością talku.



Rys. 4. Rozkład temperatury wzdłuż kierunku przepływu kompozytu PP z 15% zawartością talku

Fig. 4. Temperature distribution towards plastic flow direction for composite PP with 15% talc

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Po przeprowadzeniu symulacji komputerowych procesu wtryskiwania wybranych tworzyw sztucznych sformułowano następujące wnioski:

- Komputerowe programy symulacyjne umożliwiają przeprowadzenie rzetelnych obliczeń numerycznych pod warunkiem, iż dysponuje się kompletem wyników badań właściwości przetwarzanego tworzywa bądź jego kompozytu.
- Algorytmy stosowane w programach symulacyjnych, mimo swego stopnia zaawansowania, wykorzystują duże uproszczenia, które prowadzić mogą do zasadniczych błędów w interpretacji wyników obliczeń przez osoby nieposiadające stosownej wiedzy w zakresie rozpatrywanego zagadnienia.
- Na podstawie symulacji procesu wtryskiwania próbek do badań odporności na pękanie można przewidzieć, jak będą wypełniane gniazda formujące i jak będzie przebiegał proces ochładzania wyprasek. Wyniki symulacji pozwolą także przeprowadzić analizę skurczu przetwórczego oraz odkształceń poprzecznych. Procesy te pośrednio wpływają na mechanikę pękania badanych materiałów polimerowych.
- W wyniku przeprowadzonych badań symulacyjnych stwierdzono występowanie zróżnicowania wartości skurczu, w szczególności poprzecznego, w poszczególnych obszarach wypraski. Większą wartość skurczu uzyskano za karbem, natomiast przed i w obrębie karbu jego wartość była mniejsza. Jest to związane z

różnymi wartościami ciśnienia tworzywa w poszczególnych obszarach wypraski.

- Nierównomierny rozkład temperatury wzdłuż kierunku przepływu tworzywa w gnieździe formującym jest związany z warunkami przepływu - końcową część gniazda wypełnia tworzywo o niższej temperaturze, co wynika z dłuższego czasu przebywania tworzywa w formie (przy założeniu dobrego odpowietrzenia gniazda formującego).

*Praca wykonana w ramach projektów badawczych: nr 4 T08E 03124 oraz 4 T08E 032 23 finansowanych przez KBN.*

## LITERATURA

- [1] Zawistowski H., Frenkler D., Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych, WNT, Warszawa 1984.
- [2] Nowoczesne formy wtryskowe. Problemy konstrukcji i użytkowania, praca zbiorowa pod red. H. Zawistowskiego, PLASTECH, Warszawa 2001.
- [3] Sikora R., Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych, Wyd. Edukacyjne, Warszawa 1993.
- [4] Smorawiński A., Technologia wtrysku, WNT, Warszawa 1989.

Recenzent  
Danuta Żuchowska