

Optymalizacja wtrysku wspomaganego gazem z wykorzystaniem symulacji procesu w programie Autodesk Moldflow Insight®

Optimization of gas-assisted injection molding process by the Autodesk Moldflow Insight® simulation

MACIEJ HENECZKOWSKI
MAGDALENA KAWA *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.4.159

Wykonano komputerową symulację wtrysku wspomaganego gazem w programie Autodesk Moldflow Insight®; jej celem była optymalizacja warunków prowadzanego procesu. Do analizy wykorzystano dwa typy poliamidu 6 (Tarnamid T-27 i Tarnamid T-27 30GF) oraz polioksymetylen typu Tarnoform 300. Wyniki analizy pozwoliły na określenie optymalnego momentu przełączenia z wtrysku tworzywa na wtrysk gazu. Stwierdzono również, że dla analizowanych tworzyw na łatwość wypełniania gniazda większy wpływ ma temperatura wtrysku niż temperatura formy.

SŁOWA KLUCZOWE: symulacja komputerowa, wtrysk wspomagany gazem, Moldflow, optymalizacja

Computer simulation of gas-assisted injection molding using Autodesk Moldflow Insight® was performed to optimize the processing. Two types of polyamide 6 (Tarnamid T-27, Tarnamid T-27 30GF) and polioxymethylene Tarnoform type 300 were used. Results of the analysis work provide for positive identification of the most effective melt-to-gas injection switch-over instant. It was also found that in case of this particular plastic, the melt temperature is of more importance than the mold temperature itself on the cavity filling effect.

KEYWORDS: computer simulation, gas-assisted injection molding, Moldflow, optimization

Programy z grupy CAE – nazywane systemami wspomaganymi komputerowego prac inżynierskich – są wykorzystywane do skrócenia procesu projektowania narzędzi i kształtek oraz eliminowania wad wdrażanych wyrobów. Z biegiem czasu zajęły one miejsce kosztownej i niedoskonałej tradycyjnej metody projektowania i wytwarzania form wtryskowych, która była obciążona koniecznością wprowadzania poprawek dopiero po przeprowadzeniu prób technologicznych. Zastosowanie systemu komputerowej symulacji wtryskiwania – programu Autodesk Moldflow Insight® (AMI) – pozwala na przyspieszenie wdrażania nowych wyrobów do produkcji, obniżenie kosztów oraz poprawę jakości i wytrzymałości produktu końcowego.

AMI jest najbardziej rozpowszechnionym i uniwersalnym programem do modelowania procesów wtryskiwania tworzyw polimerowych. Umożliwia on przeróbkę modelu i konstrukcji gniazda formującego oraz modyfikację zmiennych procesowych, a także optymalizację warunków procesu wtryskiwania na podstawie obserwacji i analizy zmian zachodzących w trakcie wypełniania gniazda, w fazie docisku i chłodzenia. Ponadto konstruktor już na etapie projektowania jest w stanie wykryć i usunąć ewentualne wady konstrukcyjne, a co za tym idzie – poprawić kształt i jakość wypraski. Pakiety dostępne w AMI pozwalają na symulację wielu modyfikacji technologii wtrysku, takich jak: wtrysk termoplastów oraz duroplastów, wtrysk wspomagany gazem, wtrysk dwukomponentowy, wtrysk wyprasek mikroporowatych (MU-Cell), technika RIM i enkapsulacja (hermetyzacja np. podzespołów elektronicznych) [2].

Wtrysk wspomagany gazem (GAIM) jest nowoczesną, opracowaną i opatentowaną ok. 20 lat temu modyfikacją

techniki wtrysku tworzyw sztucznych. Dzięki swym zaletom i dużej wszechstronności odgrywa on coraz większą rolę w przemyśle, o czym świadczy zastosowanie go do masowej produkcji wyrobów o różnorodnej wielkości – od bardzo małych i prostych do dużych i skomplikowanych elementów konstrukcyjnych [3].

Wykorzystanie techniki GAIM znacząco podnosi wydajność produkcji i redukuje koszty, głównie ze względu na skrócenie czasu chłodzenia kształtki w formie wtryskowej i mniejszą (nawet do 40%) masę wypraski. Gotowe wyroby – dzięki mniejszym naprężeniom wewnętrznym w porównaniu z klasyczną metodą wtrysku oraz wyeliminowaniu zapadnięć i ograniczeniu pęcznienia wyprasek – mają lepsze właściwości użytkowe. GAIM pozwala także na skrócenie czasu chłodzenia i zmniejszenie wymaganej siły zwarcia wtryskarki [4, 6].

Jest pięć najczęściej stosowanych sposobów wytwarzania kształtek polimerowych z doprowadzeniem gazu obojętnego do wnętrza wypraski:

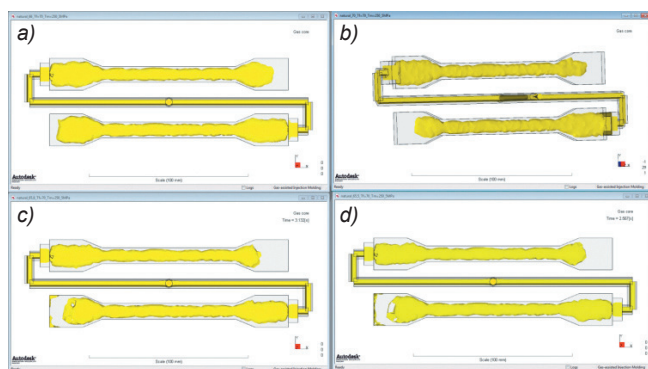
- **technika częściowego wypełnienia, nazywana klasyczną metodą GAIM.** Na pierwszym etapie stopiony polimer wypełnia 60-90% gniazda formy. Na kolejnym etapie do wnętrza wypraski podawany jest sprężony gaz, który naciska na stopione tworzywo. Pozostaje on pomiędzy warstwami polimeru, tworząc wewnętrzny kanał gazowy. Penetracja stopu polimerowego przez gaz przeważa nad pierwotnym jego przenikaniem. Ten etap kończy się w momencie całkowitego wypełnienia formy. Na ostatnim etapie gaz podawany jest w sposób ciągły, przejmując funkcję tłoka dociskającego tworzywo do ścianek formy i sprzyjając jego zestaleniu. Na chwilę przed otwarciem formy gaz zostaje usunięty z wypraski;
- **metoda całkowitego wypełnienia,** w której pierwszy etap procesu trwa do momentu całkowitego wypełnienia formy stopionym polimerem;
- **metoda z przepływem wstecznym tworzywa** – w odróżnieniu od całkowitego wypełnienia, podanie gazu powoduje powrót stopionego polimeru do przestrzeni przed czołem ślimaka;
- **metoda z ruchomymi rdzeniami,** które wysuwając się, powodują zmianę objętości gniazda formy. Gaz podawany jest równocześnie z odsunięciem rdzeni, dzięki czemu zwiększa objętość przestrzeni gniazda formującego;
- **opracowana przez firmę Battenfeld technika Air-mould-Contour®** przeznaczona do wyprasek cienkościennych z żebrami, polegająca na wtrysku gazu na ściankę kształtki, co gwarantuje dobre odwzorowanie powierzchni gniazda i uniknięcie zapadnięć.

W procesie formowania wtryskowego wykorzystywany jest gaz sprężony, inertny wobec polimeru (azot lub dwutlenek węgla) [4, 5]. Do najważniejszych parametrów procesu wtryskiwania z gazem należą [6]: temperatura formy i wtrysku, ciśnienie wtrysku gazu (docisk), moment przełączenia z wtrysku tworzywa na wtrysk gazu i czas (wtrysku tworzywa, wtrysku gazu – docisku oraz całkowity czas cyklu).

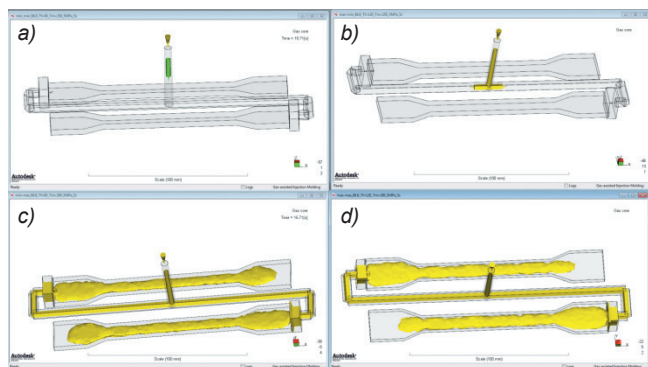
Właściwe nastawienie parametrów procesu wtrysku z gazem może być kłopotliwe ze względu na trudność z ustaleniem optymalnego momentu włączenia wtrysku gazu, jego ciśnienia, czasu docisku itp. W takim przypadku bardzo przydatne okazuje się zastosowanie AMI, a dokładnie modułu symulacji wtrysku techniką GAIM.

* Dr hab. inż. Maciej Heneczowski (mhen@prz.edu.pl), Magdalena Kawa, dyplomantka – Laboratorium Badań i Przetwórstwa Tworzyw Polimerowych Politechniki Rzeszowskiej

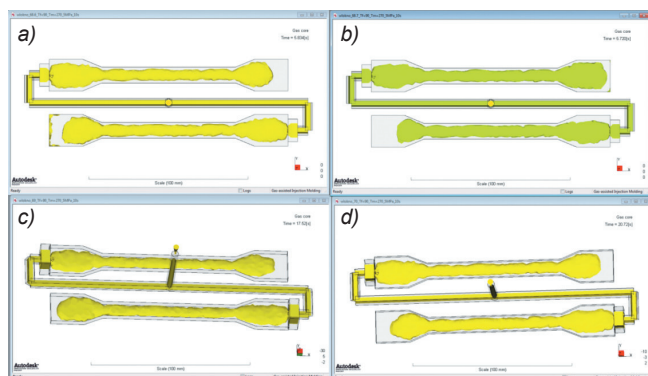
W dalszej części artykułu przedstawiono wyniki przeprowadzonej w programie AMI (wersja 2013) symulacji wtrysku z gazem kształtek uzyskiwanych w dostępnej w Laboratorium Badania i Przetwórstwa Tworzyw Polimerowych PRZ formie wtryskowej z wkładką na próbki do badania wytrzymałości na rozciąganie tworzyw polimerowych (tzw. wiosłek). Po zakończeniu symulacji zostały także wykonane próby technologiczne dla PA6 – Tarnamidów: T-27, T-27 30GF – i POM – Tarnoformu 300 (T300) – z wykorzystaniem wspomnianej formy i wtryskarki Battenfeld 350 PLUS. Właściwości tych rodzajów tworzyw zostały zbadane w autoryzowanych laboratoriach Moldflow i umieszczone w bazie materiałowej progra-



Rys. 1. Symulacja wtrysku z gazem PA6 typu Tarnamid T-27 dla różnego momentu przełączenia z wtrysku polimeru na wtrysk gazu (temperatura wtrysku $T_f=250\text{ }^\circ\text{C}$, temperatura formy $T_i=70\text{ }^\circ\text{C}$, ciśnienie wtrysku gazu 5 MPa, czas wtrysku gazu 5 s). Przełączenie w momencie wypełnienia gniazda w: a) 66,0%, b) 70,0%, c) 65,6%, d) 65,5%



Rys. 2. Symulacja wtrysku z gazem PA6 typu Tarnamid T-27 dla różnych kombinacji temperatury formy i wtrysku (ciśnienie wtrysku gazu 5 MPa, czas wtrysku gazu 5 s): a) $T_f=60\text{ }^\circ\text{C}$, $T_i=250\text{ }^\circ\text{C}$, b) $T_f=120\text{ }^\circ\text{C}$, $T_i=250\text{ }^\circ\text{C}$, c) $T_f=60\text{ }^\circ\text{C}$, $T_i=290\text{ }^\circ\text{C}$, d) $T_f=120\text{ }^\circ\text{C}$, $T_i=290\text{ }^\circ\text{C}$



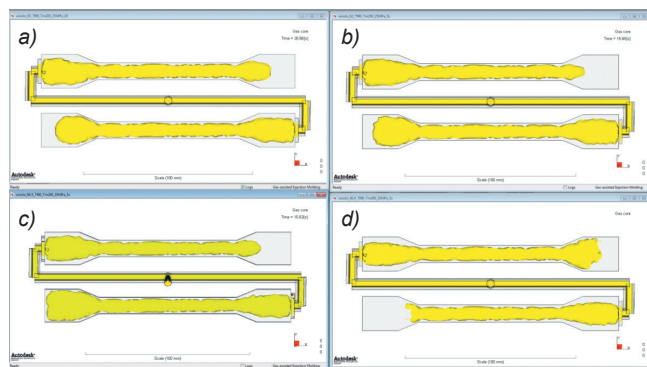
Rys. 3. Symulacja wtrysku z gazem PA6 typu Tarnamid T-27 30GF dla różnego momentu przełączenia z wtrysku polimeru na wtrysk gazu ($T_f=270\text{ }^\circ\text{C}$, $T_i=90\text{ }^\circ\text{C}$, ciśnienie wtrysku gazu 5 MPa, czas wtrysku gazu 10 s). Przełączenie w momencie wypełnienia gniazda w: a) 68,6%, b) 68,7%, c) 69,0%, d) 70,0%

mu, co pozwoliło na wykorzystanie ich do symulacji wtrysku z gazem. Szczegółowe parametry przyjęte do analizy podano na rys. 1÷5.

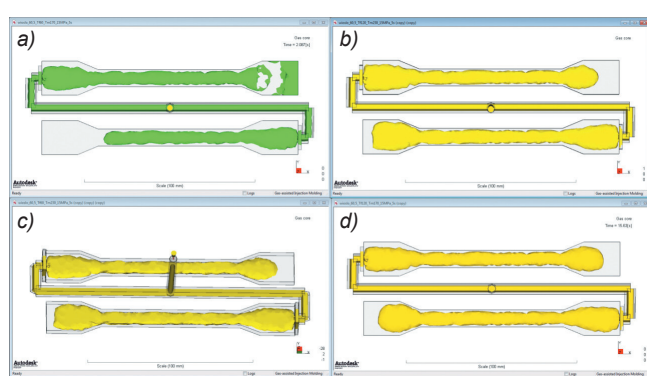
Pierwszym celem symulacji było określenie momentu przełączenia z wtrysku tworzywa na wtrysk gazu przy zalecanej przez producenta optymalnej temperaturze wtrysku (T_f) dla: T-27 – $250\text{ }^\circ\text{C}$, T-27 30GF – $270\text{ }^\circ\text{C}$, T300 – $170\text{ }^\circ\text{C}$ oraz formy (T_i): T-27 – $70\text{ }^\circ\text{C}$, T-27 30GF – $90\text{ }^\circ\text{C}$, T300 – $170\text{ }^\circ\text{C}$, zapewniającego uzyskanie największej zawartości gazu w kształtce bez obawy o przebicie czoła płynącego stopu. W praktyce ten parametr otrzymuje się na podstawie przeprowadzonych wielokrotnie prób wtrysku, ryzykując przy tym stratę sporej ilości tworzywa oraz czasu.

Wyznaczenie optymalnego momentu przełączenia jest trudne, bo – jak pokazują wyniki symulacji – różnice pojawiają się nawet przy zmianie wartości wypełnienia gniazda. Fakt ten zilustrowano na rys. 1c (65,6%) i 1d (65,5%) dla T-27, 3a (68,6%) i 3b (68,7%) dla T-27 30GF oraz 4c (60,5%) i 4d (60,4%) dla T300. We wszystkich omawianych przypadkach okazało się, że wystarczające dla przebicia czoła płynącego stopu było zmniejszenie zaledwie o 0,1% (w porównaniu z optymalnym) wypełnienia gniazda tworzywem przy włączeniu wtrysku gazu.

Widoczna jest także zależność punktu przełączenia wtrysk tworzywa/wtrysk gazu od stopnia napełnienia wtryskiwaną mieszanką. W przypadku T-27 30GF przebicie czoła stopu przez gaz następowało przy wyraźnie większym wypełnieniu gniazda (68,7%) niż dla T-27 (65,6%). Fakt ten należy zapewne wiązać z większą lepkością tworzywa wzmocnionego, przez co gazowi trudniej jest „popychać” płynący stop i następuje przerwanie ciągłości strugi. Trzeba zaznaczyć, że wykonane próby wtrysku omówionych kształtek potwierdziły



Rys. 4. Symulacja wtrysku z gazem POM typu Tarnoform 300 dla różnego momentu przełączenia z wtrysku polimeru na wtrysk gazu ($T_f=200\text{ }^\circ\text{C}$, $T_i=90\text{ }^\circ\text{C}$, ciśnienie wtrysku gazu 5 MPa, czas wtrysku gazu 5 s). Przełączenie w momencie wypełnienia gniazda w: a) 63,0%, b) 62,0%, c) 60,5%, d) 60,4%



Rys. 5. Symulacja wtrysku z gazem POM typu Tarnoform 300 dla różnych kombinacji temperatury formy i wtrysku (ciśnienie wtrysku gazu 15 MPa, czas wtrysku gazu 5 s, przełączenie z wtrysku tworzywa na wtrysk gazu po wypełnieniu 60,5% gniazda): a) $T_f=60\text{ }^\circ\text{C}$, $T_i=170\text{ }^\circ\text{C}$, b) $T_f=120\text{ }^\circ\text{C}$, $T_i=230\text{ }^\circ\text{C}$, c) $T_f=60\text{ }^\circ\text{C}$, $T_i=230\text{ }^\circ\text{C}$, d) $T_f=120\text{ }^\circ\text{C}$, $T_i=170\text{ }^\circ\text{C}$

wyniki analiz, a nastawione wcześniej parametry pozwoliły na znaczne skrócenie czasu optymalizacji procesu.

Kolejne symulacje zostały wykonane dla T-27 i T300 oraz wyznaczonego dla nich we wcześniej opisanych wynikach analiz momentu przełączenia z wtrysku tworzywa na wtrysk gazu, przy założeniu skrajnych wartości temperatury formy i wtrysku. Celem tych analiz było sprawdzenie dla wybranych tworzyw, który z tych parametrów ma większy wpływ na przebieg procesu.

Wyniki dla T-27, zebrane na rys. 2, pozwalają stwierdzić, że zastosowanie najniższej zalecanej przez producenta tworzywa temperatury wtrysku nie pozwoliło na uzyskanie zadowalających wyników zarówno w bardzo niskiej (60°C), jak i w najwyższej zalecanej temperaturze formy (120°C). Gdy zaś do analizy przyjęto maksymalną zalecaną temperaturę wtrysku (290°C), to kształtki zostały prawidłowo wypełnione zarówno przy najwyższej, jak i najniższej zalecanej temperaturze formy. Do podobnych konkluzji można dojść na podstawie analizy wyników uzyskanych dla T300. W przypadku tego tworzywa także temperatura wtrysku miała istotniejszy wpływ na przebieg wypełniania gniazda niż temperatura formy.

Podsumowanie

- Moment przełączenia z wtrysku tworzywa na wtrysk gazu jest jednym z ważniejszych parametrów wpływających na jakość wypraski, czyli jej masę i/lub dokładność wymiarową.
- Symulacje wpływu zmiany temperatury formy i temperatury wtrysku wykazały, że dla analizowanych tworzyw parametrem decydującym o jakości wypełniania gniazda formy jest temperatura wtrysku.

- Program Autodesk Moldflow Insight® pozwolił na szybką optymalizację procesu wtrysku z gazem testowanych tworzyw.

Autorzy dziękują firmie Azoty Tarnów i jej przedstawicielowi – Panu Grzegorzowi Świdierskiemu – za przekazanie próbek tworzyw do badań. Autorzy dziękują również firmie Procad SA z Gdańska za pomoc w pozyskiwaniu podtrzymania dla programu Autodesk Moldflow Insight®.

Mojemu Mistrzowi i Przyjacielowi – Henrykowi Zawistowskiemu – dedykuję ten artykuł.

Maciej Heneczkowski

LITERATURA

1. Sikora R. (red.). *Przetwórstwo tworzyw polimerowych*. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2006.
2. Shoemaker J. (Ed.), *Moldflow Design Guide*. Munich, Cincinnati: Hanser, 2006.
3. Parvez M.A., Ong N.S., Lam Y.C., Tor S.B. "Gas-assisted injection molding: the effects of process variables and gas channel geometry". *Journal of Materials Processing Technology*. 121 (2002): pp. 27+35.
4. Heneczkowski M., Oleksy M. *Technologia przetwórstwa tworzyw sztucznych*. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2014.
5. Goodship V., Brzeski I., Wood B.M., Cherrington R., Makenji K., Reynolds N., Gibbons G.J. "Gas-assisted compression molding of recycled GMT: effect of gas injection parameters". *Journal of Materials Processing Technology*. 214 (2014): pp. 515+523.
6. Zawistowski H., Zięba S. *Ustawianie procesu wtrysku*. Warszawa: Plastech, 2003. ■