

Symulacje wtryskiwania grubościennej wypraski z zastosowaniem programu Moldex3D

Simulations of thick-wall injection molding using the Moldex3D program

MACIEJ HENECZKOWSKI
GABRIELA KOPEĆ*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.4.30>

W programie Moldex3D R15 przeprowadzono symulację przetwórstwa grubościennej kształtki metodą wtryskiwania standardowego (IM), wspomaganego gazem (GAIM) oraz mikrooporującego (MuCell) dla dwóch typów tworzyw: ABS i POM. Uzyskane wyniki symulacji wtrysku technikami GAIM i MuCell wskazują na zdecydowane zmniejszenie masy wypraski i skrócenie czasu jej chłodzenia, a także na zmniejszenie jej skurczu objętościowego, paczenia i zapadnięć w porównaniu z wynikami symulacji IM.

SŁOWA KLUCZOWE: wtryskiwanie termoplastów, wtryskiwanie wspomagane gazem, wtryskiwanie mikrooporujące, symulacja komputerowa, Moldex3D

Simulation of thick-walled part produced by standard injection molding (IM), gas-assisted injection molding (GAIM) and microcellular injection molding (MuCell) for two plastic types: ABS and POM using Moldex3D R15 software. It was found high reducing mass and reducing cooling times and decreasing sink mark, volumetric shrinkage and warpage deformations of parts analyzed by GAIM and MuCell compared to IM. KEYWORDS: thermoplastic injection molding, gas assisted injection molding, microcellular injection molding, computer simulation, Moldex3D

Wszechstronność i uniwersalność technologii wtryskiwania tworzyw polimerowych zdecydowały o jej szybkim rozwoju. Na przestrzeni ostatnich lat powstało wiele modyfikacji i udoskonaleń zarówno samej technologii, jak i wykorzystywanych w niej maszyn. Oprócz standardowej techniki formowania wtryskowego opracowano i wdrożono różne jej odmiany, co kompleksowo opisała Bociąga [1, 2]. Do najważniejszych należą:

- wtrysk wieloskładnikowy (MIM),
- wtrysk z doprasowaniem (ICM),

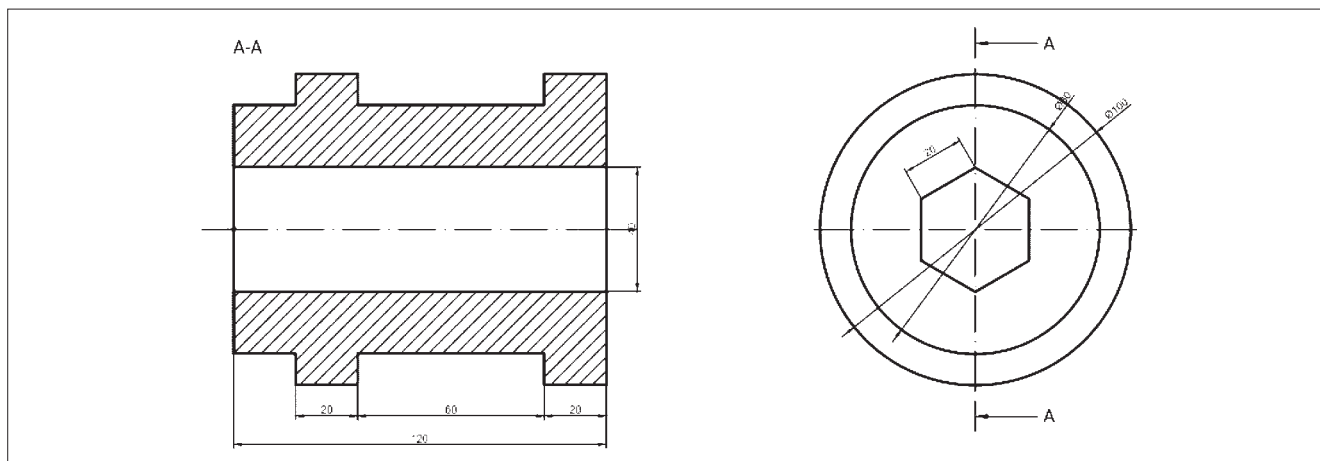
- wtrysk wspomagany gazem (GAIM),
- wtrysk wspomagany parą wodną (WAIM),
- wtrysk mikrooporujący (MuCell),
- wtrysk z etykietowaniem (IML) lub lakierowaniem (IMP) w formie.

Rozwój technik wtryskiwania pociąga za sobą rozwój komercyjnych programów służących do komputerowej symulacji procesów wytwarzania. Wśród wyspecjalizowanych systemów komputerowych można wymienić:

- Autodesk Moldflow Insight,
- Cadmould,
- Moldex3D,
- Sigmasoft.

Programy te ułatwiają optymalizację konstrukcji wyprasek i narzędzi (form wtryskowych) oraz parametrów wtrysku, co przyczynia się do skrócenia czasu wprowadzania nowych wyrobów i pomaga uniknąć błędów w konstrukcji kształtek i form, których poprawa jest kosztownym składnikiem wdrożeń [3]. Niewątpliwą korzyścią wynikającą ze stosowania symulacji wtryskiwania jest możliwość prześledzenia wpływu różnych parametrów procesu na podstawowe cechy formowanych wyprasek bez konieczności przeprowadzania wielu prób technologicznych.

W artykule porównano wyniki symulacji wtryskiwania grubościennej tulejki z kołnierzem, uzyskane w programie Moldex3D (wersja R15) [4, 5]. Wymiary analizowanej tulejki przedstawiono na rys. 1. Do symulacji wybrano następujące techniki: wtrysk standardowy (IM), wtrysk wspomagany gazem (GAIM) i wtrysk mikrooporujący (MuCell). Oczekiwano, że te analizy wzbogacą wiedzę na temat doboru parametrów procesowych oraz korzyści (takich jak skrócenie czasu cyklu i oszczędności materiałowe), które można osiągnąć dzięki zastosowaniu nowoczesnych technik GAIM czy MuCell [6–9].

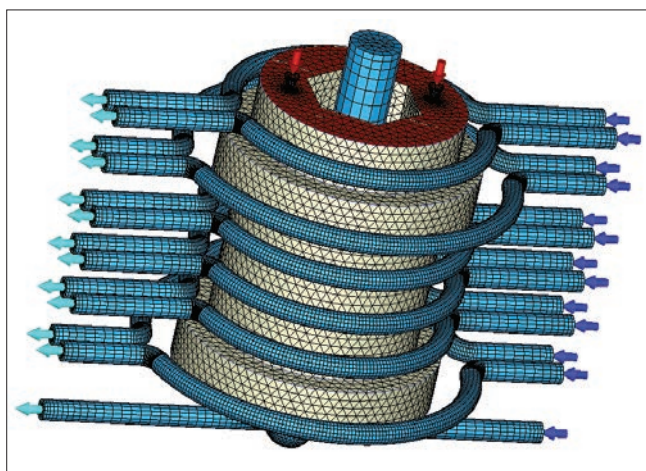


Rys. 1. Widok grubościennej tulejki przeznaczonej do symulacji wtryskiwania

* Dr hab. inż. Maciej Heneczkowski, prof. PRz (mhen@prz.edu.pl), <https://orcid.org/0000-0003-1169-4864> – Politechnika Rzeszowska, Zakład Kompozytów Polimerowych, Rzeszów, Polska
Mgr inż. Gabriela Kopeć – Politechnika Rzeszowska, Zakład Kompozytów Polimerowych, Rzeszów, Polska

Model MES analizowanej wypraski wraz z układem kanałów chłodzących, zaprojektowany w programie Moldex3D Designer R15 i składający się z różnego typu elementów trójwymiarowych, pokazano na rys. 2 [4, 5]. Materiały polimerowe do zaplanowanych symulacji wybrano z bazy programu Moldex3D R15:

- z grupy tworzyw bezpostaciowych: terpolimer akryloni-tryl-butadien-styren typu Cycolac GHT 4320 firmy Sabc (ABS),
- z grupy tworzyw częściowo krystalicznych: polioksymetylen typu Delrin 500 CL NC-10 firmy DuPont (POM).



Rys. 2. Model MES tulejki z zaznaczonymi wlewkami i zaprojektowanymi kanałami chłodzącymi, przeznaczony do symulacji w programie Moldex3D

W symulacji wtryskiwania jako modele lepkościowe analizowanych tworzyw wykorzystano następujące zmodyfikowane modele Crossa:

- w przypadku ABS:

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \cdot \dot{\gamma}}{\tau^*}\right)^{1-n}}$$

$$\eta_0 = D_1 \exp\left(\frac{-A_1(T - T_c)}{A_2 + (T - T_c)}\right) \quad (1)$$

$$T_c = D_2 + D_3 p$$

$$A_2 = A_{2b} + D_3 p$$

gdzie: η – lepkość pozorna, η_0 – dolna lepkość newtonowska, $\dot{\gamma}$ – szybkość ścinania, T – temperatura, p – ciśnienie, a stałe materiałowe mają wartości: $n = 0,2638$, $\tau^* = 10^6$ dyna/cm², $D_1 = 8,66 \cdot 10^{14}$ g/cm³·s, $D_2 = 375,24$ K, $D_3 = 0$ cm²K/dyna, $A_1 = 33,728$, $A_{2b} = 51,6$ K;

- w przypadku POM:

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \cdot \dot{\gamma}}{\tau^*}\right)^{1-n}} \quad (2)$$

$$\eta_0 = B \exp\left(\frac{T_b}{T} + Dp\right)$$

gdzie stałe materiałowe są równe: $n = 0,2922$, $\tau^* = 2,5872 \cdot 10^6$ dyna/cm², $B = 0,0007933$ g/cm³·s, $T_b = 7534$ K, $D = 0$ cm²/dyna.

Do analiz w programie Moldex3D wybrano 3D Solid Model Solver, przeznaczony zwłaszcza do symulacji wtrysku wyprasek grubościennych i symulacji specjalnych technik wtryskiwania [4,5]. W tabl. I przedstawiono podstawowe parametry procesu, dobrane zgodnie z zaleceniami producentów badanych tworzyw oraz na podstawie własnego doświadczenia przetwórczego.

TABLICA I. Podstawowe parametry procesowe stosowane w analizie wtrysku poszczególnych tworzyw

Technika wtrysku	Parametr przetwórczy	Tworzywo	
		ABS	POM
IM GAIM MuCell	Temperatura wtrysku, °C	260	220
	Temperatura formy, °C	65	90
	Maksymalna temperatura wypraski przy wypychaniu, °C	90	120
	Czas wtrysku, s	2,5	2,5
	Faza czasu wtrysku, %	0/10/15/90/100	0/5/10/90/100
	Szybkość wtrysku, %	50/50/100/100/40	40/40/100/100/50
GAIM	Ciśnienie gazu, MPa	10	10
	Początek wtrysku gazu, % wypełnienia gniazda	70	70
	Opóźnienie wtrysku gazu, s	0,1	0,1
	Czas wtrysku gazu, s	5	5
MuCell	Początek spieniania, % wypełnienia gniazda	85	85
	Początkowa zawartość gazu, % mas.	0,5	0,5

TABLICA II. Porównanie cech wirtualnych wyprasek uzyskanych analizowanymi technikami

Cecha	Rodzaj tworzywa	Analizowana technika wtrysku		
		IM	GAIM	MuCell
Wewnętrzne ciśnienie wtrysku, MPa	ABS	0,4	0,2	0,1
	POM	0,2	0,2	0,1
Maksymalna temperatura stopu, °C	ABS	260,0	265,4	260,1
	POM	220,0	216,7	211,9
Minimalny czas chłodzenia, s	ABS	729	209	246
	POM	932	550	286
Masa wypraski, g	ABS	516	374	324
	POM	624	446	440
Paczenie, maksymalne odkształcenie, mm	ABS	1,06	0,48	0,53
	POM	1,80	1,30	1,57
Wielkość zapadnięć, mm	ABS	0,73	–	0,15
	POM	0,85	–	0,61
Maksymalny skurcz objętościowy, %	ABS	11,5	10,6	3,4
	POM	12,0	11,6	11,5

Wypraski wykonane techniką wtrysku standardowego mają większą masę niż wypraski wytworzone innymi analizowanymi metodami (tabl. II). W przypadku tworzywa ABS wypraska uzyskana metodą IM osiąga masę 516 g, a w przypadku POM – 624 g (co wynika z większej gęstości tego materiału). Techniki wtrysku z gazem oraz wtrysku mikroporującego pozwalają na znaczne zmniejszenie masy wypraski – o ok. 30%. Masa wypraski z tworzywa ABS wynosi odpowiednio 374 g (GAIM) i 324 g (MuCell), a masa kształtek z POM – 446 g (GAIM) oraz 440 g (MuCell).

Podobnie jest z kolejnym istotnym z punktu widzenia opłacalności produkcji parametrem, jakim jest minimalny czas chłodzenia (tabl. II). Techniki GAIM i MuCell przynoszą korzystne skrócenie czasu chłodzenia, który dla grubościennych wyprasek jest głównym czynnikiem wpływającym na długość cyklu formowania. Wynika to z faktu zmniejszenia grubości ścianek tworzywa, z którego ciepło jest odbierane przez ścianki gniazda, a następnie przez chłodziwo. Należy zauważyć, że minimalny czas chłodzenia wyprasek z semikrystalicznego POM jest wyraźnie dłuższy od czasu chłodzenia wyprasek z amorficznego ABS w przypadku każdej z analizowanych technik wtryskiwania. Wynika to zapewne z konieczności odebrania od chłodzonej wypraski ciepła krzepnięcia POM – ten efekt cieplny nie występuje w przypadku polimerów amorficznych.

Wartości parametrów związanych z dokładnością wymiarową kształtek również przemawiają na korzyść zmodyfikowanych technik wtryskiwania. W wypraskach uzyskanych techniką GAIM nie występowały zapadnięcia, a w wypraskach uzyskanych metodą MuCell ich liczba była wyraźnie zredukowana. Zastosowanie technik GAIM i MuCell powoduje również zmniejszenie paczenia oraz skurczu objętościowego kształtek, aczkolwiek ten efekt nie jest już tak wyraźny.

W przypadku analizowanych kształtek nie stwierdzono istotnych różnic wartości ciśnienia wtrysku oraz temperatury czoła płynącego stopu. Wynika to ze znacznej grubości ścianek wypraski, dzięki czemu wypełnianie gniazda płynnym polimerem nie stwarza dużych oporów.

Symulacje komputerowe procesów GAIM i MuCell potwierdziły korzystny wpływ tych technik na prawdopodobną poprawę efektywności ekonomicznej wytwarzania grubościennych wyprasek, a ponadto ułatwiły dobór optymalnych parametrów procesu. Należy jednak zaznaczyć, że w obu tych metodach następuje pewne osłabienie kształtki, wynikające ze zmniejszenia jej przekroju czynnego – trzeba to uwzględnić na etapie prac konstrukcyjno-projektowych [10, 11]. Dodatkowo technika MuCell powoduje pogorszenie wyglądu powierzchni wyprasek, dlatego obecnie jest stosowana łącznie z szybkim ogrzewaniem i chłodzeniem gniazda formującego, tzw. RHCM (*rapid heat cycle molding*) [11–13].

LITERATURA

- [1] Bociąga E. „Specjalne metody wtryskiwania tworzyw polimerowych”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne PWN-WNT, 2008.
- [2] Bociąga E. „Niekonwencjonalne metody wtryskiwania”. *Polimery*. 50, 1 (2005): 10–19.
- [3] Zawistowski H. „Teoria a praktyka procesu wtryskiwania tworzyw w szkoleniu inżynierów różnych specjalności”. *Mechanik*. 81, 4 (2008): 306–310.
- [4] moldex3d.app.box.com/s/ff06cww26dcwg2yxbtejxsidpapgkhnw.
- [5] moldex3d.com.pl.
- [6] Heneczkowski M., Kawa M. „Optymalizacja wtrysku wspomaganego gazem z wykorzystaniem symulacji procesu w programie Autodesk Moldflow Insight”. *Mechanik*. 88, 4 (2015): 285–287.
- [7] Stachowiak T., Jaruga T. “Structure of gas-assisted injection moulded parts”. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 38 (2010): 139–144.
- [8] Palutkiewicz P. „Symulacje komputerowe procesu wtryskiwania porującego”. *Polimery*. 60, 2 (2015): 132–143.
- [9] Chen S.-C., Hu S.-Y., Jong W.R. “Integrated simulations of structural performance, molding process, and warpage for Gas-Assisted Injection-Molded Parts. III. Simulation of Cyclic, Transient Variations in Mold Wall Temperatures”. *J. Appl. Polymer Sci.* 71 (1999): 339–351.
- [10] Parvez M.A., Ong N.S., Lam Y.C., Tor S.C. “Gas-assisted injection molding: the effect of process variables and gas channel geometry”. *J. Mater. Proc. Technol.* 121 (2002): 27–35.
- [11] Gómez-Monterde J. et al. “Morphology and mechanical characterization of ABS foamed by microcellular injection molding”. *Procedia Engineering*. 132 (2015): 15–22.
- [12] Dong G. i in. “The Cell Forming Process of Microcellular Injection-Molded Parts”. *J. Appl. Polymer Sci.* 131, 12 (2014): 1–11.
- [13] Berger G.R. i in. “Rapid heat cycle molding, surface topography and visual appearance of injection molded parts”. SPE ANTEC, 2014, 1680–1685. ■