

Symulacja wpływu parametrów wtrysku na jakość wyprasek w programie Autodesk Moldflow Insight

Simulation of effect of injection molding parameters on molded parts quality in Autodesk Moldflow Insight

MACIEJ HENECZKOWSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.4.34

W programie Autodesk Moldflow Insight za pomocą modułu Design of Experiment przeprowadzono symulację wpływu parametrów wtrysku na właściwości wyprasek z trzech typów polipropylenu o płynności od małej do dużej oraz trzech typów terpolimeru ABS, także o płynności od małej do dużej.

SŁOWA KLUCZOWE: wtryskiwanie, symulacja, Moldflow, polipropylen, ABS

The Design of Experiment option in Autodesk Moldflow Insight, was used to examine the effect of injection molding parameters on molding parts made respectively from three types of polypropylene of low to high fluidity and three types of ABS terpolymer also from low to high fluidity.

KEYWORDS: injection molding, simulation, Moldflow, polipropylene, ABS

Wtryskiwanie jest jedną z głównych technik przetwarzania tworzyw polimerowych, stosowanych w produkcji różnego typu wyrobów użytkowych i technicznych. Optymalizacja parametrów ich wytwarzania stanowi podstawowy warunek osiągnięcia zarówno technicznego, jak i ekonomicznego sukcesu. Ważnym narzędziem prowadzącym do realizacji tego celu jest komputerowa symulacja wtryskiwania.

Na rynku dostępne są cztery programy do przeprowadzania symulacji wtryskiwania tworzyw polimerowych:

- Moldflow (firmy Moldflow Ltd., program został wykupiony przez firmę Autodesk, jego nowa nazwa to Autodesk Moldflow) [1],
- Cadmould (firmy Simcon) [2],
- Moldex3D (firmy CoreTech System Co., Ltd.) [3],
- Sigmasoft (firmy SIGMA Engineering GmbH).

Najstarszy i najszerzej rozpowszechniony w firmach zajmujących się projektowaniem wyrobów, form wtryskowych lub przetwórstwem tworzyw sztucznych jest program Moldflow. Składa się on z różnych pakietów, z których najbardziej zaawansowany jest pakiet Autodesk Moldflow Insight (AMI). AMI umożliwia efektywne przeprowadzanie analiz oraz interpretację ich wyników. Ułatwia symulację różnych odmian procesu wtryskiwania, takich jak: wtrysk termoplastów i duroplastów, wtrysk wspomagany gazem, wtrysk dwukomponentowy, wtrysk z mikrospienianiem (MUCell) czy enkapsulacja układów elektronicznych.

Jednym z modułów tego programu wykorzystanym w omawianych badaniach jest Design of Experiment (DoE). Zawiera on narzędzia statystyki, które służą do przewidywania wpływu głównych parametrów procesu na cechy jakościowe wyprasek. Dzięki DoE można zredukować zmienność parametrów poprzez odszukanie ta-

kich ich nastaw, by jak najbardziej uniezależnić proces od czynników powodujących zakłócenia, a w konsekwencji – wady jakościowe wyprasek [4, 5].

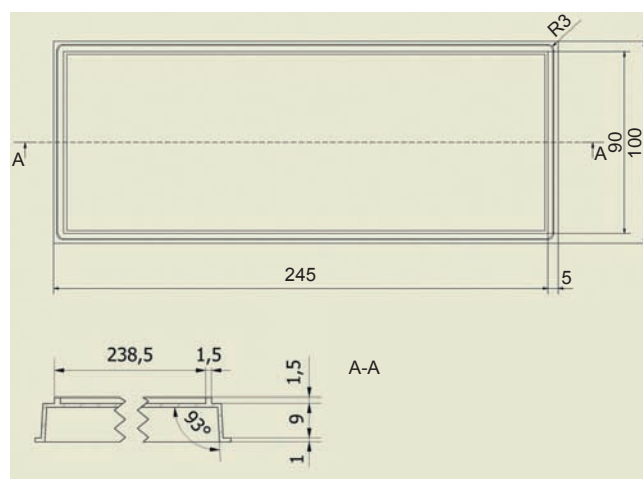
W module DoE programu AMI można sprawdzić, które parametry przetwórcze mają największy wpływ na cechy jakościowe kształtki. W tym celu wykonywana jest seria symulacji wtrysku dla wybranych przez analityka warunków procesowych, a następnie program przedstawia wyniki na podstawie wskazanych właściwości jakościowych wyprasek. DoE dostarcza więcej wartościowych danych przy znacznie mniejszej liczbie kombinacji parametrów niż w metodzie prób i błędów oraz wskazuje wpływ parametrów na określone cechy produktu.

Jako zmienne parametry podczas symulacji procesu wybrano:

- temperaturę formy,
- ciśnienie docisku,
- czas chłodzenia,

TABLICA. Charakterystyka tworzyw użytych w symulacjach wtryskiwania

Nazwa handlowa	Moplen EP240H	Moplen EP240P	Moplen R248R	ABS XR 474	ABS MP220N	AF307
Właściwości						
Producent	Basell Polyolefins Europe			LG Chemical		
Masowy wskaźnik szybkości płynięcia, MFR, g/10 min	2	15	30	2	20	33
Zalecana temperatura formy, °C	30	30	30	60	60	70
Zalecana temperatura wtrysku, °C	240	240	240	260	215	215
Symbol tworzywa	PP_2	PP_15	PP_30	ABS_2	ABS_20	ABS_30



Rys. 1. Kształt analizowanej tacki z zaznaczonymi wymiarami

* Dr hab. inż. Maciej Heneczowski (mhen@prz.edu.pl) – Katedra Technologii i Materiałoznawstwa Chemicznego Politechniki Rzeszowskiej

- temperaturę wtrysku,
- czas wtrysku,
- punkt przełączenia z wtrysku na docisk,
- czas docisku.

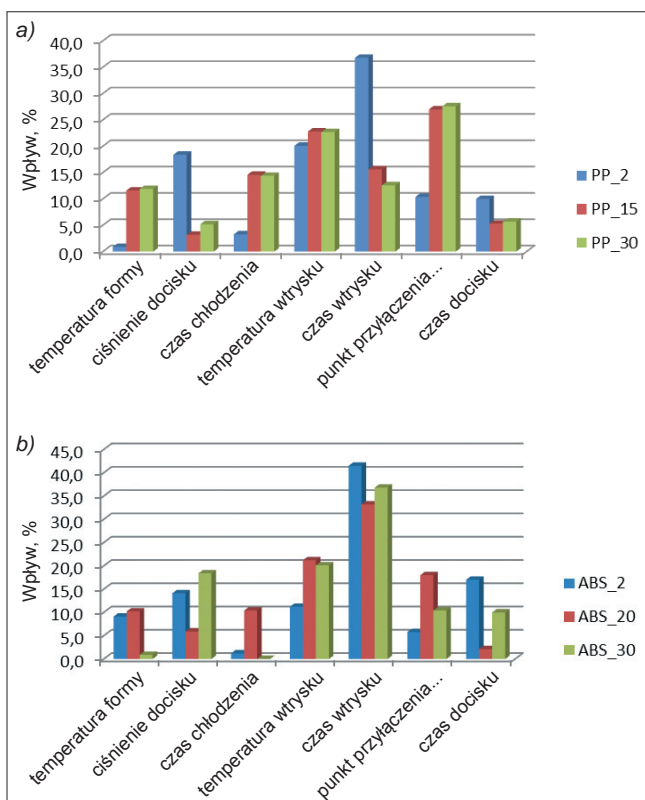
Zakres zmienności parametrów ustalono dla wszystkich analizowanych tworzyw na identycznym poziomie. Spośród cech określających jakość procesu oraz wyprasek wybrano: ciśnienie wtrysku, naprężenie styczne, wielkość zapadnięć, temperaturę czoła stopu, skurcz objętościowy, masę wypraski, naprężenie szczątkowe oraz odkształcenie podczas paczenia.

Do analiz wybrano trzy typy polipropylenu (PP) o różnej płynności; zalicza się on do tworzyw semikrystalicznych. Do porównania wybrano trzy typy terpolimeru ABS o różnej płynności; ABS należy do tworzyw amorficznych. Właściwości tych materiałów oraz zakres zalecanych parametrów wtrysku zestawiono w tablicy.

Wyniki symulacji i ich omówienie

Analizy DoE wtrysku zaprojektowanego modelu pokrytego siatką elementów skończonych Dual Domain (siatka 2D) dla wybranych tworzyw wykonano w wersji 2013 programu AML, korzystając z komputera osobistego. Wyniki analiz otrzymano w postaci wpływu poszczególnych parametrów wtryskiwania na wybrane właściwości wyrażone w procentach. Zaprezentowano je w postaci wykresów słupkowych – rys. 2÷8 – na których zilustrowano zależność wpływu tych parametrów od rodzaju polimeru oraz jego płynności.

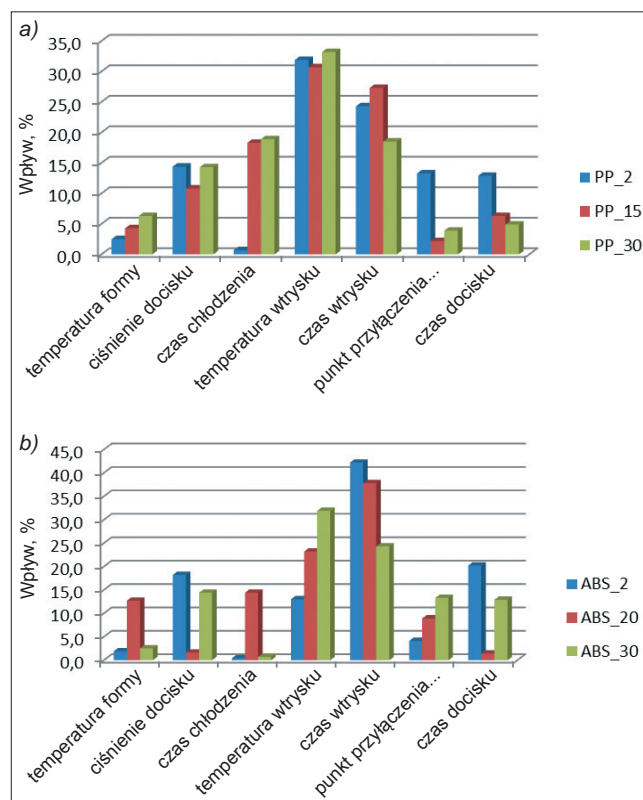
Rysunek 2 pokazuje wpływ analizowanych parametrów na wewnętrzne ciśnienie wtrysku dla PP i ABS o rosnącej płynności. W przypadku PP_2 największy wpływ na ciśnienie wtrysku ma czas. W przypadku PP o dużych wskaźnikach płynięcia (PP_15 i PP_30) znaczenie tego parametru jest mało istotne, natomiast wyraźnie rośnie



Rys. 2. Wpływ analizowanych parametrów na ciśnienie wtrysku dla: a) PP, b) ABS

wpływ punktu przełączenia z wtrysku na docisk (rys. 2a). Dla ABS wpływ poszczególnych parametrów na ciśnienie wtrysku w wyrażnie mniejszym stopniu jest uzależniony od lepkości polimeru (rys. 2b), a najistotniejszy wpływ ma czas wtrysku; różnice pomiędzy wynikami różnych analizowanych typów ABS są niewielkie.

Największy wpływ na maksymalne naprężenie styczne na ścianie gniazda, praktycznie niezależnie od lepkości stopu, ma dla PP temperatura wtrysku, a nieco mniej istotny i również niezbyt zależny od typu tego tworzywa jest czas wtrysku (rys. 3a). W przypadku ABS największy wpływ na maksymalne naprężenie styczne ma czas wtrysku, a wpływ ten wyraźnie spada wraz ze wzrostem płynności stopu tego tworzywa (rys. 3b). Odwrotna tendencja dotyczy wpływu temperatury wtrysku – największy wpływ obserwuje się dla ABS_30.

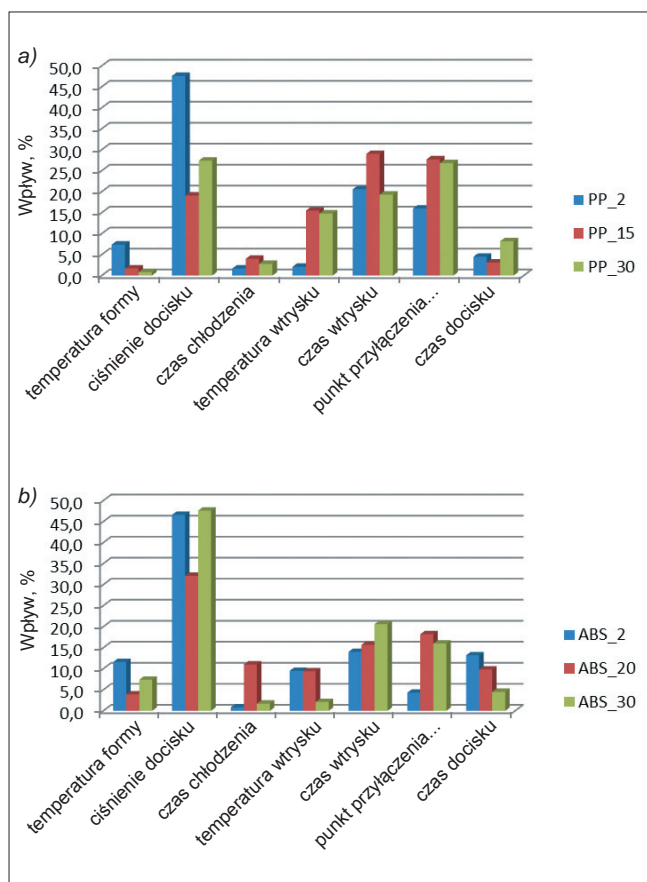


Rys. 3. Wpływ analizowanych parametrów na maksymalne naprężenie styczne dla: a) PP, b) ABS

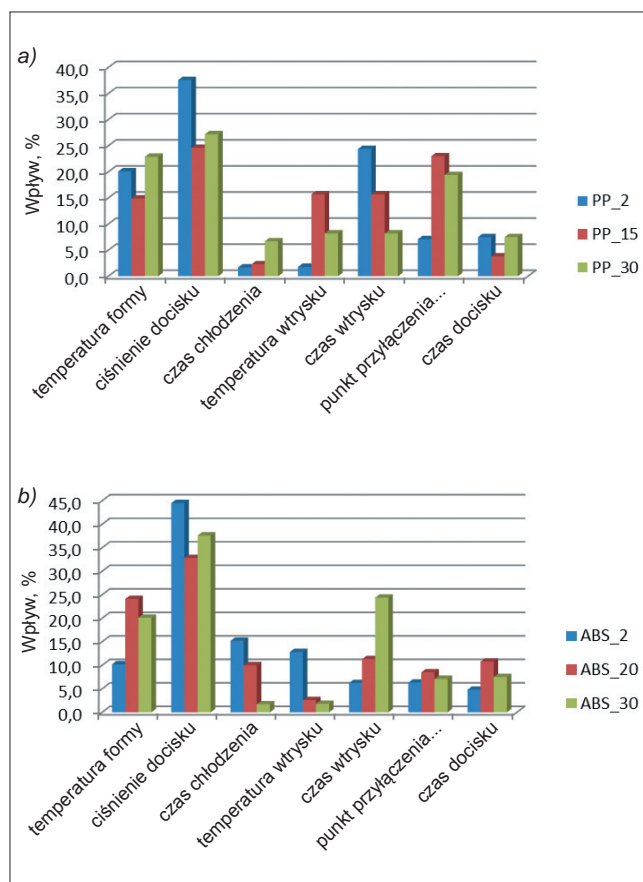
W przypadku obu analizowanych grup tworzyw – PP i ABS – największy wpływ na wielkość zapadnięć ma ciśnienie docisku (rys. 4). Dla PP wpływ ten jest wyraźnie związany z płynnością tworzywa: największy jest dla PP_2, a mniejszy dla PP_15 oraz PP_30 (rys. 4a).

Ważnym czynnikiem decydującym o łatwości wypełnienia gniazda i powstawania linii łączenia o dobrej wytrzymałości jest temperatura czoła płynącego stopu. W przypadku obu materiałów (PP i ABS) największy wpływ ma na ten czynnik czas wtrysku (rys. 5a i 5b). Dla dobrze płynnych gatunków PP (PP_15 i PP_30) wpływ ten przekracza nawet 60%; dla PP_2 jest o połowę słabszy (rys. 5a). Nieco mniejszy wpływ na temperaturę czoła stopu ma czas wtrysku analizowanych typów ABS, przy czym nie zależy on od lepkości stopu (rys. 5b).

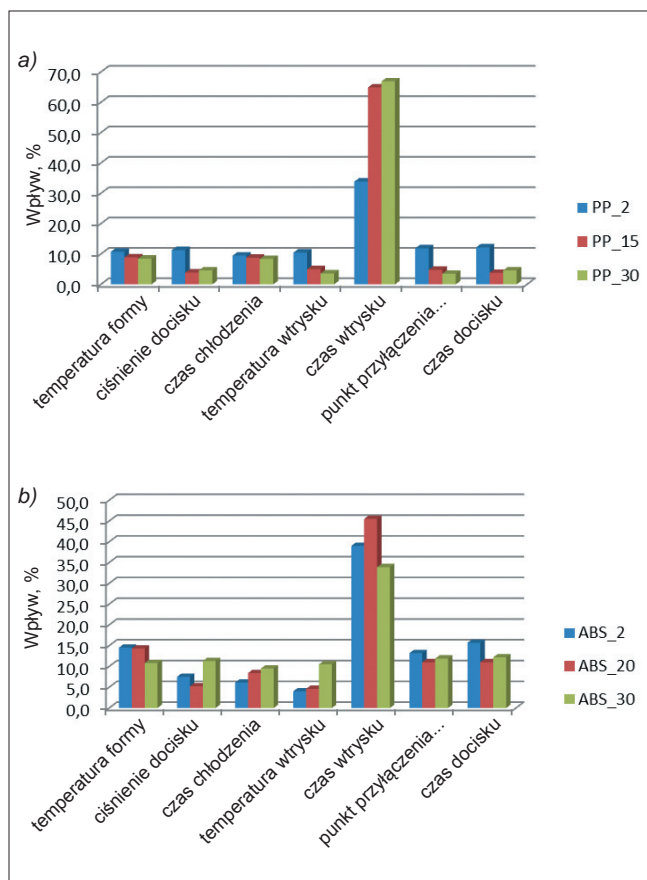
Najistotniejszy wpływ na pierwotny skurcz prasowniczy najmniej płynnego PP_2 mają ciśnienie docisku oraz czas wtrysku; w przypadku PP o większej płynności (PP_15



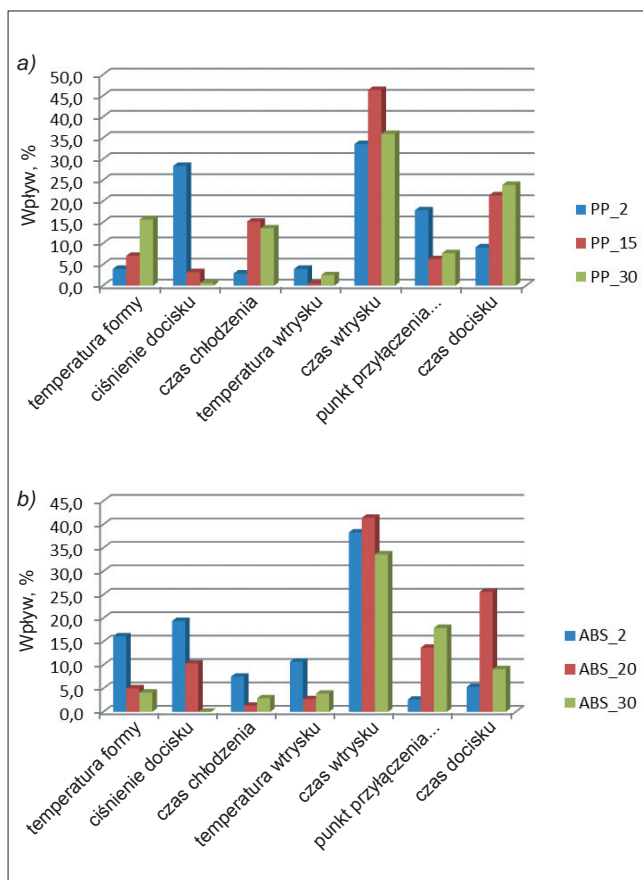
Rys. 4. Wpływ analizowanych parametrów na zapadnięcia obserwowane na powierzchni wyprasek dla: a) PP, b) ABS



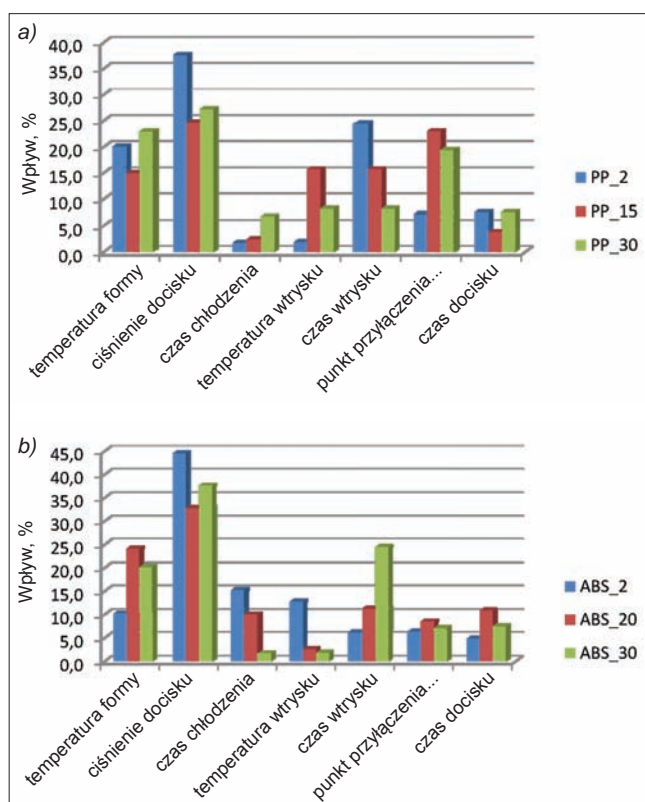
Rys. 6. Wpływ analizowanych parametrów na pierwotny skurcz prasowniczy wyprasek dla: a) PP, b) ABS



Rys. 5. Wpływ analizowanych parametrów na temperaturę czoła płynącego stopu dla: a) PP, b) ABS



Rys. 7. Wpływ analizowanych parametrów na paczenie wyprasek dla: a) PP, b) ABS



Rys. 8. Wpływ analizowanych parametrów na masę wyprasek dla: a) PP, b) ABS

i PP_30) zdecydowanie ważniejsze są punkt przełączenia z wtrysku na docisk oraz temperatura wtrysku (rys. 6a). W przypadku ABS (rys. 6b) wraz ze zwiększającą się płynnością tworzywa obserwowany jest rosnący wpływ czasu wtrysku na tę właściwość, prawie nieistotny jest zaś udział punktu przełączenia z wtrysku na docisk.

Paczenie powtryskowe wyprasek wykonanych z obu analizowanych rodzajów tworzyw w decydującym stopniu zależy od czasu wtrysku (ok. 35÷45%). Wartości wpływu tego parametru w nieznacznym stopniu zależą od lepkości analizowanego tworzywa. Interesująco przedstawia się wpływ ciśnienia docisku, który dla PP zależy bardzo silnie od jego lepkości – dla tworzywa o małej płynności (PP_2) wpływ ten jest znacznie większy niż dla gatunków o dobrej płynności (PP_15, PP_30), gdzie praktycznie znika (rys. 7a). W przypadku ABS efekt ten jest zbliżony, chociaż nieco słabszy (rys. 7b).

Na masę wyprasek – jak wynika z praktyki przetwórczej – duży wpływ ma ciśnienie docisku (rys. 8) oraz wyraźnie mniejszy – temperatura formy i czas wtrysku, a w przypadku PP – także czas przełączenia z wtrysku na docisk. Wyrażna jest różnica we wpływie czasu wtrysku na masę wyprasek w zależności od lepkości stopu PP i ABS. W przypadku PP im większa płynność stopu, tym mniejszy wpływ tego parametru na masę wypraski (rys. 8a), dla ABS – na odwrót – udział ten w istotnym stopniu rośnie (rys. 8b). W odniesieniu do PP należy zwrócić uwagę na rosnący od ~6% do ~20% udział wraz ze zwiększającą się płynnością stopu od odpowiednio: PP_2 do PP_30.

Podsumowanie

Przeprowadzone analizy pozwoliły na wskazanie parametrów przetwórczych, które w największym stopniu wpływają na wytypowane właściwości. Dla PP o najmniejszej płynności (PP_2) parametrem decydującym

o właściwościach kształtki okazały się czas wtrysku oraz – w nieco mniejszym stopniu – ciśnienie docisku. Wraz ze wzrostem płynności PP (PP_15 i PP_30) maleje znaczenie ciśnienia docisku i w nieco mniejszym stopniu – jego czasu, a zwiększa się udział punktu przełączenia z wtrysku na docisk.

W przypadku trudno płynnego ABS (ABS_2) najważniejszymi parametrami również okazały się czas wtrysku i ciśnienie docisku, ale niewiele mniejszy był wpływ temperatury formy. Dla najbardziej płynnego ABS (ABS_30) udział ciśnienia docisku i czasu wtrysku był znacznie większy, a punkt przełączenia z wtrysku na docisk nie odgrywał już tak znaczącej roli jak dla PP_30.

Wskazane zależności właściwości wyprasek od analizowanych parametrów, pokazane na rys. 2÷8, mogą być dla technologów wskazówką, od których czynników powinni rozpocząć regulację, by wyeliminować możliwość powstawania wad wyprasek wtryskowych.

LITERATURA

1. Heneczkowski M., Kawa M. „Optimalizacja wtrysku wspomaganego gazem z wykorzystaniem symulacji komputerowej procesu w programie Autodesk Moldflow Insight”. *Mechanik*. Nr 4 (2015): s. 285÷287.
2. Wilczyński K. „The CADMOULD-3D computer system for modeling injection molding process—Simulation of the filling phase”. *Polimery*. Nr 44, z. 10 (1999): s. 407÷412.
3. Serce M., Godec D., Bujanec B. „Application of Moldex3D for thin-wall injection moulding simulation, NUMIFORM 07: Materials Processing and Design: Modeling, Simulation and Applications, Pts I and II”. *AIP Conference Proceedings*. Vol. 908 (2007): pp. 1067÷1072.
4. Oktem H., Erzurumlu T., Uzman I. „Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part”. *Materials & Design*. No. 28 (2007): pp. 1271÷1278.
5. Zhang G.J., Guo W., Wang Q., Guo X.Y. „Influence of processing parameters on warpage according to the Taguchi experiment”. *Journal of Mechanical Science and Technology*. Vol. 29, No. 10 (2015): pp. 4153÷4158.