

Rozwój sposobów chłodzenia form wtryskowych

Mateusz Sołtysik, Aleksander Moczata

W artykule przedstawiono doskonalenie procesu wtryskiwania, zaprezentowano innowacyjność technologiczną w postaci układu chłodzenia z wykorzystaniem kanałów konformalnych, która uzyskiwana na drodze metody przyrostowej pozwala na poprawę jakości i czasu cyklu wtrysku. Efektami, płynącymi z przeprowadzonej analizy, będą walory jakościowe i wydajnościowe, a przy tym zostanie zwrócona uwaga na aspekty ekonomiczne.

Rozwój technik wytwarzania i znaczącej roli przetwórstwa tworzyw sztucznych powoduje konieczność analiz możliwości rozwoju tej dziedziny. Przedsiębiorstwa chcąc zachować konkurencyjność, a tym samym wyżyć naprzeciw tendencji ciągłego doskonalenia, zobowiązane są do szerszego spojrzenia na ten problem. Jako dziedzina wytwarzania, przetwórstwo tworzyw sztucznych, charakteryzuje się wysoką wydajnością, możliwością otrzymywania wyrobów o niemal dowolnych kształtach, a gdy proces ten jest właściwie sterowany, wypraski mogą odznaczać się wysoką jakością wykonania – określenie to dotyczy wielu różnych cech jak: właściwości mechaniczne, cieplne, optyczne, obejmując tak samo charakterystykę strukturalną. W szczególności proces wtryskiwania tworzyw stosowany jest w praktycznie każdej gałęzi przemysłu, począwszy od artykułów gospodarstwa domowego, branży automotive, a na zaopatrzeniu sprzętu medycznego kończąc.

ELEMENTY SKŁADOWE PROCESU WTRYSKIWANIA

Proces wtryskiwania w ujęciu ogólnym charakteryzuje się równowagą, przy czym wszystkie jego składowe są współzależne. Zmiana jednego z czynników składowych powoduje powstanie nowych warunków wytwarzania.

Regulacja oraz sposób organizacji procesu wtryskiwania polega na uzyskaniu i utrzymaniu stabilnego układu, w którym czynniki przedstawione na rysunku 1, spowodują, że wytwarzane wypraski odznaczają się umowną, wymaganą jakością. Stabilność całego procesu ma przyczyniać się do zachowania powtarzalności, co również w dużym stopniu przekłada się na właściwości wyrobów [8].

W zależności od potrzeb użytkownika, firmy oferujące urządzenia dostosowują je, tworząc konfiguracje różniące się rozwiązaniami konstrukcyjnymi, co z kolei przekłada się na odmienne systemy sterowania oraz rodzaje wykorzystanego napędu. Niezależnie od przeznaczenia i wymagań postawionych co do konstrukcji, wykonania, istnieją pewne zespoły funkcjonalne, które występują w każdej wtryskarce.

Obecne wtryskarki wyposażone są w system mikroprocesorowego sterowania elektronicznego co pozwala na [8]:

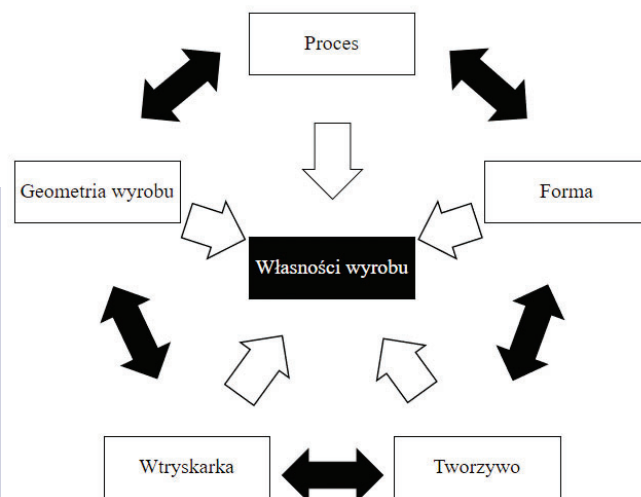
- cyfrowe nastawy i zapis parametrów procesu, sterowane bezpośrednio z poziomu monitora;
- możliwość zmian parametrów maszyny w funkcji czasu, miejsca oraz drogi;
- badanie oraz rejestrację odchyłek pomiędzy wartościami zadanymi, a rzeczywistymi;

- adaptację poprzez dobór temperatury do zmian w funkcji czasu – w przypadku przerwy w pracy;
- optymalizację parametrów wejścia przez stosowanie nowych systemów komputerowych.

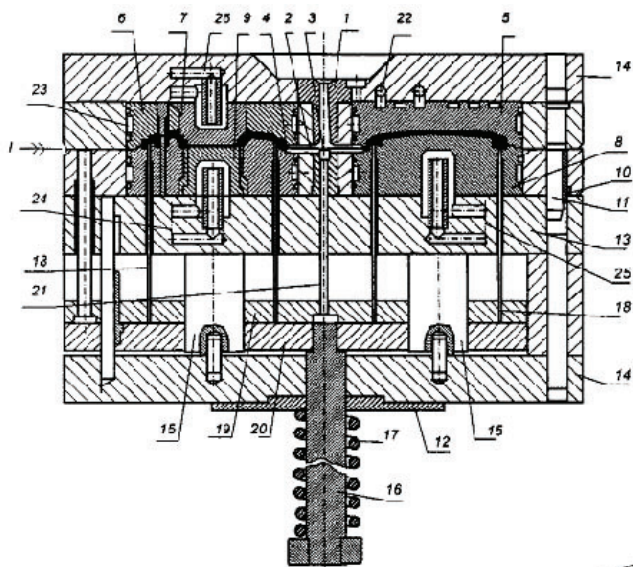
FORMA WTRYSKOWA

Wszystkie funkcje oraz zadane parametry wtryskarki są przyporządkowywane działaniu formy wtryskowej. Jej zadaniem jest ukształtowanie geometrii wyrobu, ale również zapewnienie właściwej wewnętrznej budowy. Badania [4] wykazały, że próg 75% błędów związanych z wyrobem, kształtowany jest poprzez błędy popełnione w fazie projektowania wyrobu lub formy. Dokładność wykonania formy odpowiadająca 0,3–0,1 tolerancji wyrobu klasyfikuje formy wtryskowe jako narzędzia precyzyjne [8].

Każda pojedyncza forma wtryskowa jest traktowana jako prototyp wymagający przeprowadzenia prób oraz badań przed odbiorem. Koszt formy jako części wykonanej w sposób uwarunkowany od założeń klienta, może niejednokrotnie przekraczać koszt zakupu wtryskarki. Należy zwrócić uwagę na konieczność przystosowania budowy wtryskarki do budowy formy lub rodzaju produkcji. Budowę formy przedstawiono na rys. 3. Niezależnie od założeń konstrukcyjnych wyrobu oraz jego budowy, każdą formę charakteryzują dwa układy funkcjonalne. Mechaniczny warunkujący zdol-



Rys. 1. Składowe procesu oraz zależności pomiędzy nimi. Źródło: opracowanie własne na podstawie [8]



Rys. 2. Podstawowe elementy konstrukcyjne formy wtryskowej wg [8]- oznaczono: 1 - tuleja wlewowa; 2 - kanał wlewowy; 3 - zaczep wlewka; 4 - przewężka; 5, 6, 7 - wstawki formujące matrycy; 8, 9 - wstawki formujące stempla; 10 - tuleja prowadząca; 11- kołek prowadzący; 12 - pierścień centrujący formę; 13 - płyta podpierająca; 14 - płyta mocująca; 15 - tuleje podpierające; 16 - zderzak; 17 - sprężyna powrotna zderzaka; 18- wypychacze; 19 - płyta wypychaczy; 20- płyta podpierająca wypychacze; 21 - wypychacz wlewka; 22-26 - kanały chłodzące

ność pracy formy jako narzędzia oraz technologiczny odpowiadający w sposób bezpośredni za kształtowanie wyrobu [8, 9].

Zespoły mechaniczne formy [8,9]:

- korpus – obudowa mająca za zadanie odbiór wszystkich obciążeń zewnętrznych i wewnętrznych, przy jednoczesnym zachowaniu współosiowości stempli i matrycy;
- zespoły wypychaczy – jako ogół mechanizmów biorących udział w uwolnieniu wypraski z gniazda formującego. Stosowane jako wysuwane lub wykręcane;
- napędy – wyróżnia się silniki, siłowniki niezależne od ruchów maszyny oraz ciągnia, zaczepy, zderzaki jako zależne od ruchów maszyny.

BILANS CIEPLNY FORMY

Forma wtryskowa stanowi układ zamknięty, w którym ciepło jest dostarczane do wewnątrz przez temperaturę tworzywa i odprowadzane na zewnątrz przez układ chłodzenia. Całość odbywa się w następującej kolejności [5,9]:

- ciepło przepływa do ścian wypraski z całej objętości,
- ciepło przepływa ze ścian wypraski na powierzchnię gniazda, proces zachodzi poprzez szczelinę powstałą w wyniku skurczu tworzywa,
- ciepło przepływa w głąb formy,
- ciepło przepływa z formy do ośrodka chłodzącego i równocześnie przepływa do zewnętrznej powierzchni formy,
- ciepło zostaje odprowadzone na zewnątrz z chłodziwem.

Bilans cieplny formy można przedstawić, posługując się wzorem (1):

$$\sum Q = Q_{pl} + Q_w + Q_T + Q_s = 0 \quad (1)$$

gdzie: Q_{pl} – ciepło dostarczone przez stopione tworzywo; Q_w – ciepło pozostałe w wyprasce; Q_T – ciepło doprowadzone i odprowadzone przez układ chłodzenia; Q_s – ciepło doprowadzone i odprowadzone przez otoczenie.



Systemy szybkozłączczy do termoregulacji form

Unikalne doświadczenie oraz opracowana przez Stäubli technologia w dziedzinie przetwórstwa tworzyw sztucznych zapewni: bezpieczeństwo, skrócenie czasu postoju, optymalizację wymiany form wtryskowych, zwiększenie produkcji.

Szybkozłączcza do termoregulacji i obwodów hydraulicznych:

Niezawodne. Wydajne. Bezpieczne. Stäubli.

www.quick-mould-change.com



FAST MOVING TECHNOLOGY

STÄUBLI

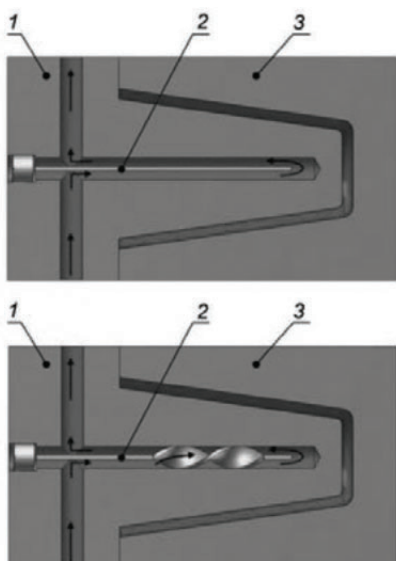
Na podstawie powyższej analizy powstaje wniosek w postaci zależności co do roli układu chłodzenia i charakterystyki wymiany ciepła, w przypadku gdy:

- chłodzenie formy odbywa się poprzez chłodziwo, to $Q_T < 0$,
- forma jest podgrzewana przez medium grzewcze, to $Q_T > 0$;
- gdy forma oddaje ciepło do otoczenia, to $Q_s < 0$;
- gdy forma pobiera ciepło z otoczenia, to $Q_s > 0$.

KONWENCJONALNE METODY CHŁODZENIA FORM WTRYSKOWYCH

Ze względu na łatwość wykonania najczęściej stosowanymi metodami chłodzenia płyt jest zastosowanie kanałów, które są wykonane na drodze wiercenia. Układ tych kanałów może być kierunkowy – poprowadzony tylko w jedną stronę, bądź w układzie poprzecznym. Takie rozwiązanie wymaga zastosowania korków, które mają za zadanie zaślepić wywiercone odcinki, niepotrzebne dla układu. Wykorzystanie zaślepienia często powoduje nieszczelność w układzie, co pogarsza warunki chłodzenia, następują spadki ciśnienia oraz przepływ chłodziwa przez kanały nie jest wtedy kontrolowany – mogą zdarzać się przecieki. Najmniej opłacalnym i stosowanym w ostateczności rozwiązaniem jest wykorzystanie chłodzenia zewnętrznego przez płytę spychającą [9, 5].

W odniesieniu do zagadnienia chłodzenia matryc, chłodzenie stempli okazuje się być trudniejsze. Fakt ten wynika z tego, że strumień ciepła przekazywany z wypraski do stempla jest większy, z racji tego, że kurczące tworzywo obciska się na stemple, co powoduje bezpośrednie przeniesienie ciepła. Z kolei ciepło to może być odprowadzane tylko w jednym kierunku obsady stempla, czyli mniejszym przekrojem, niż w przypadku matrycy. Zachowanie skuteczności oraz stabilności układu chłodzenia stempli jest kluczowe dla optymalizacji czasu cyklu, ponieważ nagły wzrost temperatury może przyczyniać się do znacznego zniekształcenia wyrobu. Problem optymalnego chłodzenia stempli niejednokrotnie wymaga zastosowania dodatkowych elementów wyposażenia układu chłodzenia. Na rysunku 3 przedstawiono możliwe rozwiązanie, stosując przegrodę spiralną, przyczynia się to do uzyskania równomiernego chłodzenia i częściowego zniwelowania różnic temperatur na wlocie i wylocie przegrody prostej [5, 9].



Rys. 3. Chłodzenie stempli z wykorzystaniem przegrody prostej i spiralnej [5]: 1 - płyta stemplowa, 2 - przegroda oraz 3 - matryca

TENDENCJE W METODACH CHŁODZENIA FORM WTRYSKOWYCH

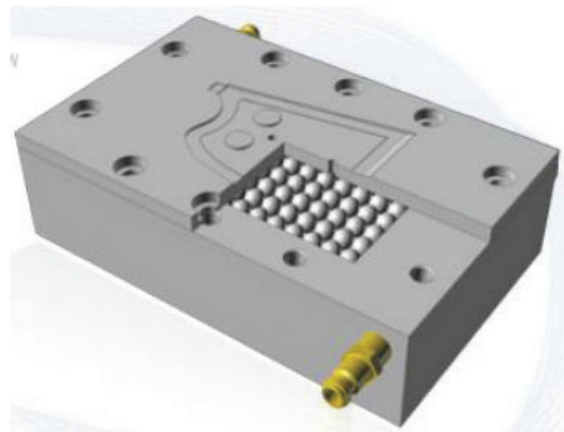
Chłodzenie w technologii BFMOLD®

Technologia ta została opatentowana przez brytyjski koncern Witmann Grup i jest metodą dynamicznej regulacji temperatury formy [7]. Kontrola temperatury jest możliwa poprzez wykorzystanie dwóch obiegów cieczy. Pierwszy z nich jest wykorzystywany do podstawowej regulacji temperatury, natomiast drugi położony w okolicach gniazda formującego odpowiada za podnoszenie jego temperatury. Inną nowością jest wysp kulkowy umieszczony w kieszeni wewnątrz układu formującego, który zapewnia konstrukcji wymaganą sztywność oraz równomierny rozkład temperatury na powierzchni formującej. Przykładową konstrukcję z wykorzystaniem tej technologii przedstawiono na rysunku 4 [5, 7].

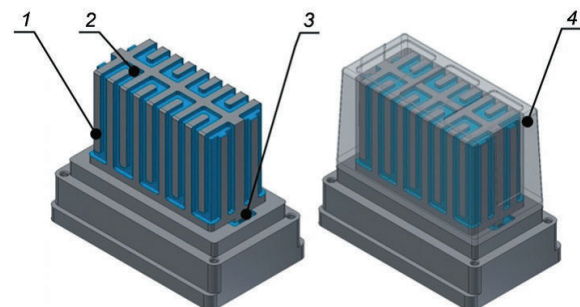
Zasada działania opiera się na podgrzewaniu oraz chłodzeniu przez medium przepuszczone przez wnękę między kulkami, co ma się przełożyć na zwiększenie wydajności chłodzenia oraz zapewnienie mniejszego odkształcenia wyprasek.

Chłodzenie konturowe

Innym rodzajem chłodzenia jest chłodzenie konturowe, którego wykonanie polega na poprowadzeniu wyfrezowanych kanałów chłodzących na rdzeniu stempla, na który później nakładana jest oprawka. Przykład został zaprezentowany na rysunku 5 [5]. Duża objętość przepływu medium chłodzącego ze względu na swoją budowę niewątpliwie wpływa na intensywny pobór ciepła oraz równomierny rozkład temperatury na powierzchni formującej. Problemem może być zapewnienie szczelności układu oprawa – stempel oraz możliwość wykorzystania tej technologii tylko w pewnych przypadkach, mianowicie – chłodzenie płyt



Rys. 4. Układ formy z wkładką formującą [7]



Rys. 5. Chłodzenie konturowe [5] oznaczono: 1 - stempel, 2 - kanały chłodzące, 3 - kanał doprowadzający, 4 - oprawa stempla

stemplowych oraz matrycowych o małej grubości wyfrezowanych kanałów może powodować obniżenie właściwości wytrzymałościowych.

Chłodzenie konformalne

Opisane wcześniej metody chłodzenia form wtryskowych zaliczane są do tradycyjnych – konwencjonalnych metod, jednakże w dobie rozwoju technologii coraz większy rozgłos zyskuje zagadnienie chłodzenia konformalnego [3, 5, 8, 10]. Możliwości technologii addytywnej spowodowały częstsze powstawanie układów chłodzenia opartych na kanałach konformalnych. Wykorzystanie technologii przyrostowej pozwala na poprowadzenie kanałów blisko powierzchni formujących, będących jednocześnie dostosowanym do kształtu wypraski. Kolejnym aspektem jest możliwość zastosowania dowolnego kształtu takiego kanału, gdzie przekrój poprzeczny może przyjmować dowolne kształty, przyczyniające się do sprawniejszego odbioru ciepła wypraski. W obliczu rozrostu przetwórstwa tworzyw sztucznych coraz częściej zastosowanie znajdują formy, które mają zagwarantować równomierne chłodzenie. Dowolną geometrię kanałów konformalnych można zrealizować wykorzystując technologię napawania, gdzie wiązka lasera poprowadzona po metalicznym proszku powoduje jego stopienie. W metodzie DMLS (*Direct Metal Laser Sintering*) wkładka formująca jest budowana warstwowo, a promień lasera jest skupiany tylko na tych miejscach, które mają zostać połączone z wcześniejszą warstwą [2]. Zastosowanie chłodzenia konformalnego przyczynia się do znacznego skrócenia czasu cyklu przez intensyfikację chłodzenia w całej objętości wypraski. Dodatkowo pozwala na zmniejszenie deformacji wyprasek przez dynamiczny i równomierny odbiór ciepła, a tym samym pozwala na wyższą precyzję w kontroli tempera-

tury formy. Przykład konformalnego układu chłodzenia został przedstawiony na rysunku 6 [6, 10] oraz efekty zastosowania na rysunku 7.

Konformalny układ chłodzenia zakłada poprowadzenie kanałów układu chłodzenia w stałej odległości, tak aby zapewnił równomierność chłodzenia. Warto zaznaczyć również, iż przeprowadzona symulacja jest przewidziana dla ponad 20-sekundowego czasu cyklu.

Kluczem do zachowania powtarzalności wymiarowej jest zachowanie powtarzalności skurczu, co wykazane zostało w pracy J. Gabor, J. Kovac [2].

Przedstawione dane na wykresie pozwalają na zaobserwowanie mniejszego zamrożenia naprężeń, co faktycznie powinno przekładać się na wartość skurczu, a tym samym na stopień deformacji wypraski. Aby mogła zostać przeprowadzona analiza porównawcza punkty pomiarów w obu przypadkach były takie same. Opierając się na badaniach J. Zhang, J. Wang, J. Lin Q. Guo, K. Chen L. Ma [10], wykazano współzależność temperatury oraz skurczu wypraski. Autorzy [1, 3] proponują metodę symulacji procesu wtrysku i reakcji mechanicznej części z tworzywa sztucznego poprzez zintegrowanie Moldflow™ i Ansys™. W efekcie skurcz jako rodzaj naprężeń powstający podczas spadku temperatury, w określonych warunkach produkcyjnych może być kontrolowany, a jego ukierunkowanie może przełożyć się na polepszoną jakość wypraski, co również pokazano w pracy S. Kitayama, H. Miyakawa, M. Takano oraz S. Aiba [3]. Poniżej zestawiono analizowaną mapę zniekształceń wypraski przed zastosowaniem układu z chłodzeniem konformalnym oraz po implementacji [3].

Analiza kosztów pokazuje, że wykonanie chłodzenia tradycyjnego jest tańsze i nie wymaga stosowania zaawansowanej

REKLAMA

www.kaplast.com.pl

PRODUKCJA DETALI Z POLIMERÓW TERMOPLASTYCZNYCH

WTRYSKARKI O SILE ZWARCIA 25-800 T

WTRYSK DWUKOMPONENTOWY I WTRYSK Z GAZEM

PERFEKCJA W KAŻDYM DETALU

KAPLAST

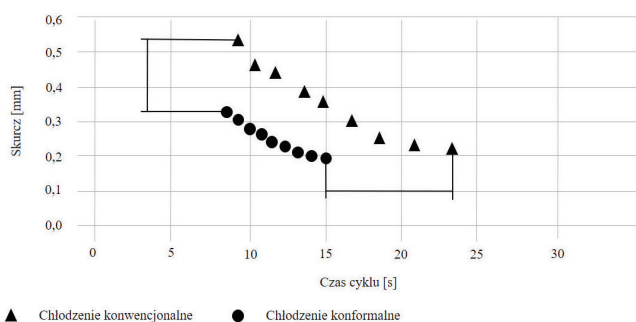
WWW.KAPLAST.COM.PL

SKANOWANIE I POMIAR DETALI ATOS SCANBOX4105

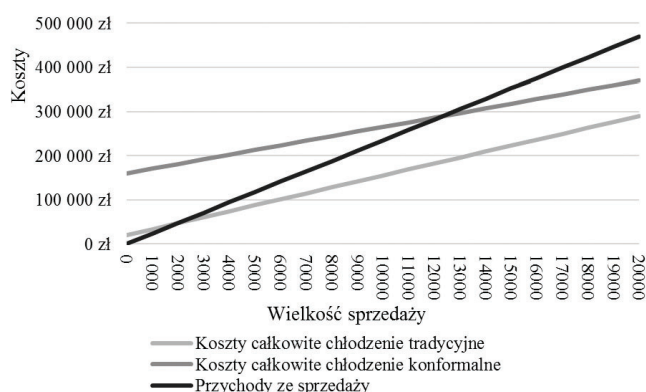
MONTAŻ WYROBÓW GOTOWYCH

MAGAZYN WYSOKIEGO SKŁADOWANIA NA 1350 MIEJSC PALETOWYCH

KAPLAST Sp. z o.o.
tel. 52 374 70 21
kaplast@kaplast.com.pl



Rys. 7. Wykres skurczu dla chłodzenia konwencjonalnego i konformalnego [6]



Rys. 9. Wykres zależności progu rentowności od kosztów rozpatrywanych wariantów [6]

technologii przyrostowej. Poniżej przedstawiono wykres porównawczy obrazujący opłacalność danego wariantu w odniesieniu do obliczonego progu rentowności na analizowanym wybranym przykładzie [6].

Niższe koszty wytworzenia związane są również z krótszym czasem wykonania takiej formy w przeciwieństwie do innowacyjnego wariantu z chłodzeniem konformalnym, gdzie koszty stałe obciążone są dużą sumą kosztów związaną z wykonawstwem i zastosowaniem chłodzenia konformalnego, którego z kolei krótszy czas cyklu powoduje, że końcowa opłacalność przedsięwzięcia jest ściśle zależna od planu produkcyjnego oraz ilości zleceń, które mogą zostać zrealizowane szybciej [6].

PODSUMOWANIE

W dobie rozwoju technik wytwarzania oraz bardziej znaczącej roli metod produkcji przyrostowej, coraz częściej realizowane są inwestycje w nowoczesne metody optymalizacji procesów wytwórczych, które mają zapewnić nie tylko lepsze parametry użytkowe produktów, ale mają także przyczyniać się do skrócenia czasu ich wytworzenia i redukcji kosztów. Przeprowadzona analiza pozwoliła na przedstawienie tendencji rozwoju techniki chłodzenia form wtryskowych. Implementacja techniki przyrostowej, co zostało wykazane, może mieć pozytywny wpływ na polepszenie jakości wypraski. Biorąc pod uwagę genezę powstawania deformacji, chcąc zmniejszyć negatywne działanie skurczu, koniecznym jest, aby zadbać o kontrolę nad rozkładem naprężeń, w taki sposób, aby analizowany rozkład był równomierny. Efekty te są możliwe właśnie poprzez optymalizację procesu chłodzenia wypraski, na co pozwala zastosowanie m.in. chłodzenia konformalnego. Poza zachowaniem walorów jakościowych produktów,

efektywne chłodzenie wpływa na kluczowy parametr wydajności procesu – czas cyklu. Analizowany przypadek wykorzystania innowacyjnego chłodzenia pozwolił na skrócenie czasu cyklu do około 37%.

LITERATURA

- [1] J. Fu, Y. Ma: Computer-aided engineering analysis for early-ejected plastic part, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2018) 98:2389–2399.
- [2] J. Gabor, J. Kovac: Analyzing the warpage in the injection molding using SLS tool inserts, AMST'02 Advanced Manufacturing Systems and Technology: Proceedings of the Sixth International Conference, 2002 (pp.449-456).
- [3] S. Kitayama, H. Miyakawa, M. Takano, S. Aiba: Multi-objective optimization of injection molding process parameters for short cycle time and warpage reduction using conformal cooling channel, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2017), 88:1735–1744, London.
- [4] M. Kompf: Durch Qualität und Technologie zum Mehrwerter. Kunststoffe 11/2000.
- [5] P. Muszyński, K. Mrozek, P. Poszwa: Wybrane metody chłodzenia form wtryskowych, Mechanik 2016, nr 8–9/2016.
- [6] M. Sołtysik: Kształtowanie procesów wytwarzania elementów wykonanych z tworzyw sztucznych, Praca dyplomowa, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, 2019.
- [7] WITTMANN-GROUP - www.wittmann-group.com/uploads/tx_wpsidebar/BFMOLD_en.pdf, 04.11.2019 r.
- [8] H. Zawistowski, S. Zięba: Ustawianie Procesu Wtrysku, Wydawnictwo PLASTECH, Warszawa 2015.
- [9] H. Zawistowski, D. Frenkler: Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1984.
- [10] J. Zhang, J. Wang, J. Lin, Q. Guo, K. Chen, L. Ma: Multiobjective optimization of injection molding process parameters based on Opt LHD, EBFNN, and MOPSO, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2016) 85:2857–2872.

inż. Mateusz Sołtysik
dr inż. Aleksander Moczala

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
Wydział Budowy Maszyn i Informatyki
Katedra Inżynierii Produkcji