

Przemysław POSTAWA, Dominik GRZESICZAK

Zakład Przetwórstwa Polimerów, Politechnika Częstochowska, e-mail: postawa@ipp.pcz.pl

Możliwości badawcze stanowiska eksperymentalnej formy wtryskowej z ośmioma niezależnymi obiegami termostatowania

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwości badawcze eksperymentalnej formy wtryskowej wyposażonej w osiem niezależnych układów chłodzenia. Forma została wyposażona również w cztery termopary umieszczone bezpośrednio pod gniazdem formującym. Głównym celem wykonania formy była analiza wpływu pola temperatury formy na przepływ tworzywa w formie oraz właściwości otrzymanych wyprasek. Na rysunkach zamieszczonych w artykule przedstawiono schemat stanowiska badawczego wyposażonego w eksperymentalną formę wtryskową, termostat dwuobiegowy Wittmann, dwa rotametry wodne czterodrogowe oraz tor pomiarowy i rejestrujący temperaturę podczas procesu wtryskiwania.

RESEARCH CAPABILITIES OF EXPERIMENTAL MOLD WITH EIGHT INDEPENDENT TEMPERATURE CONTROL CIRCUITS

Abstract. The research capabilities of experimental mould with eight independent cooling circuits were presented in the article. The main aim of the research was to determine the effect of the normal process of injection moulding on the temperature change in different areas of the mould and obtained moulding. Four thermocouples were placed under the cavity and connected to a recorder, thus giving the possibility of uploading data during the injection process. Diagrams showing the research stand equipped with experimental mould, injection moulding machine, thermo controller Wittman, two 4-way rotameters and on-line temperature monitoring system.

Wstęp

Temperatura formy wtryskowej należy do jednych z najważniejszych parametrów wpływających na właściwości formowanych wyprasek. Jej istotne znaczenie dotyczy wszystkich faz procesu wtryskiwania, zarówno przepływu szybkiego w fazie wtrysku, wolnego w fazie docisku oraz tworzeniu struktury krystalicznej podczas ochładzania. Jej znaczenie jest różne w zależności od przetwarzanych tworzyw oraz stosowanych warunków przetwórstwa (prędkość wtrysku, ciśnienie docisku, temperatura wtrysku itp.). Bardzo często w założeniach temperatura formy podawana jest jako stała wartość, jednak w praktyce przemysłowej bardzo trudno jest uzyskać równomierny rozkład temperatury na powierzchni formy wtryskowej, z jednej strony ze względu na zróżnicowanie grubości wyprasek (i związaną z tym różną pojemnością cieplną poszczególnych jej obszarów), a z drugiej strony brakiem możliwości równomiernego odprowadzenia ciepła z formy wtryskowej. Jest to powodem występowania defektów powierzchniowych, nierównomiernego przepływu, deformacji i innych wad zarówno powierzchniowych jak i strukturalnych, które wpływają na właściwości mechaniczne i użytkowe wytwarzanych wyprasek [1-8].

W pracy przedstawiono projekt i stanowisko badawcze eksperymentalnej formy wtryskowej, w której zastosowano 8 niezależnych obiegów termostatowania. Uniwersalność takiego rozwiązania pozwala na uzyskanie bardzo złożonych warunków termostatowania od idealnie równomiernego rozkładu do bardzo zróżnicowanego, jaki często występuje w warunkach przemysłowych. Ponadto zastosowanie różnych wkładek formujących daje możliwość analizy zjawisk występujących podczas

przepływu tworzywa w formie wtryskowej takich jak: linie łączenia strumieni tworzywa, zmiany punktów wtrysku, wtryskiwanie wyprasek o zmieniającej się grubości, występowanie 1, 2, 3 lub 4 punktów wtrysku. To wszystko daje nieograniczone wręcz możliwości projektowania eksperymentu badawczego.

Opis stanowiska badawczego

W skład stanowiska badawczego (oprócz formy (6) i wkładek formujących o różnych kształtach) wchodzi: wtryskarka (1), termostat dwuobiegowy (4), dwa rotametry czterodrogowe (5) oraz system rejestracji tempera-



Rys. 1. Widok całego stanowiska ze wszystkimi elementami składowymi (opis w tekście)



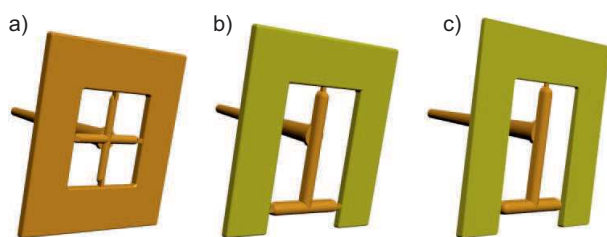
Rys. 2. Połączone obrazy termowizyjny i rzeczywisty stanowiska podczas pracy

tury w czterech charakterystycznych częściach każdej z wkładek. Bezpośrednio pod każdą wypraską (7) znajdują się kanały pozwalające na umieszczenie cienkich termopar (8), które rejestrują w sposób ciągły temperaturę podczas testów. Termopary znajdują się w każdej z czterech sekcji gniazda formującego. Są one podłączone poprzez interfejs USB (2) z komputerem PC (3), który dzięki specjalnemu oprogramowaniu może rejestrować i archiwizować przebiegi temperaturowe w częstotliwością 50 Hz. Widok całego stanowiska oraz formy przedstawiono na rysunku 1 a połączony obraz termowizyjny z obrazem rzeczywistym pracującego stanowiska przedstawia rysunek 2.

Zastosowane kształty gniazd testowych

Do badań wybrano 3 rodzaje wkładek umożliwiających wykonanie wyprasek o różnych specyficznych właściwościach i charakterystykach przepływu tworzywa.

Pierwsza wkładka to ramka o wymiarach 80×80 mm. Zastosowany czteropunktowy układ przepływu



Rys. 3. Kształty wkładek zastosowanych do budowy eksperymentalnej formy: a) Próbka typ O z 1-4 punktami wtrysku, b) Próbka typ U z 1-3 punktami wtrysku, c) Próbka typ U z 1-3 punktami wtrysku z progresywną grubością na drodze przepływu

z możliwością modyfikacji punktu wtrysku daje możliwość uzyskania różnych ciekawych charakterystyk przepływu (rys. 3 a).

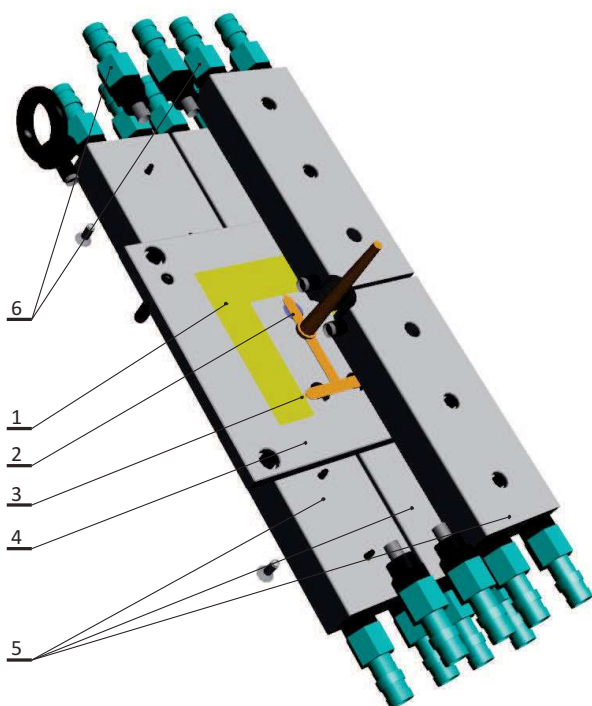
Ponadto zmieniając temperaturę poszczególnych obszarów formy można oceniać proces przepływu i właściwości wypraski w funkcji temperatury obszaru, w który następuje wtrysk tworzywa.

Kolejna wkładka ma kształt litery U i poprzez zmianę konfiguracji punktów wtrysku i temperatury obszarów formy również można analizować procesy związane z przepływem z tą różnicą, że przy wtrysku jednopunktowym znacznie wydłuża się droga płynięcia tworzywa (rys.3b).

Ostatnią jest wkładka o kształcie litery U, jednak w odróżnieniu do opisanej powyżej jej grubość na drodze przepływu ulega zmianie od 1,5 do 3 mm. Każda część wypraski ma inną pojemność cieplną a co się z tym wiąże i inny czas ochładzania w formie i różną szybkość odprowadzania ciepła. Istnieje konieczność zróżnicowania efektywności chłodzenia w celu równomiernego ochłodzenia tworzywa w gnieździe formującym. Zastosowanie w pełni modyfikowalnego systemu termostatowania daje możliwość takiego doboru temperatury poszczególnych obwodów, aby uzyskać optymalną temperaturę (3c).

Budowa formy

W toku prowadzonych prac zaprojektowano formę złożoną z 8 niezależnych kanałów chłodzenia/ogrzewania oraz 3 różne wkładki (3 różne kształty wytwarzanych próbek badawczych). Budowę formy przedstawiano na rysunku 4. Dla lepszego zobrazowania najważniejszych elementów świadczących o zaletach jej stosowania na rysunku widoczne są tylko bloki układu termostatowania, w których znajduje się tylko jeden kanał oraz wymienna



Rys. 4. Widok elementów formy wraz z wypraską typ U w gnieździe: 1 – wypraska, 2 – kanały doprowadzające, 3 – przewężka, 4 – wymienna wkładka formująca, 5 – niezależne wkładki obwodów termostatowania, 6 – króćce wlotu i wylotu medium termostatującego

wkładkę, umożliwiającą dowolną zmianę (przełączanie) miejsca doprowadzenia tworzywa do wypraski.

Głównymi założeniami przy projektowaniu eksperymentalnej formy wtryskowej było spełnienie następujących wymagań i możliwości:

- minimum 4 niezależne obwody termostatowania na każdą z połówek formy (razem 8 obwodów) z możliwością ich wymiany,
- szybka zmiana wkładek formujących podczas prób wtryskiwania (niedopuszczenie do przegrzania tworzywa),
- możliwość zabudowy czujników temperatury pod każdym gniazdem,
- możliwość równoległej rejestracji temperatury z czujników w czasie rzeczywistym,
- kształt wytwarzanych próbek (wyprasek) powinien umożliwiać analizę różnych zjawisk (łączenie strumieni tworzywa podczas przepływu, długa i krótka droga przepływu, linie łączenia w różnych obszarach itp.)
- możliwość zamykania i otwierania przewężek bez konieczności rozbierania formy,

Możliwości badań

Zastosowany układ przepływowy z możliwością jego dowolnej konfiguracji pozwala na następujące badania:

- jeden punkt wtrysku (najdłuższa droga płynięcia i jeden obszar łączenia)

- dwa punktu wtrysku (średnia droga płynięcia i dwa obszary łączenia strumieni tworzywa)
- trzy punktu wtrysku (krótka droga płynięcia i trzy obszary łączenia)
- cztery punktu wtrysku (bardzo krótka droga płynięcia i cztery obszary łączenia strumieni tworzywa).

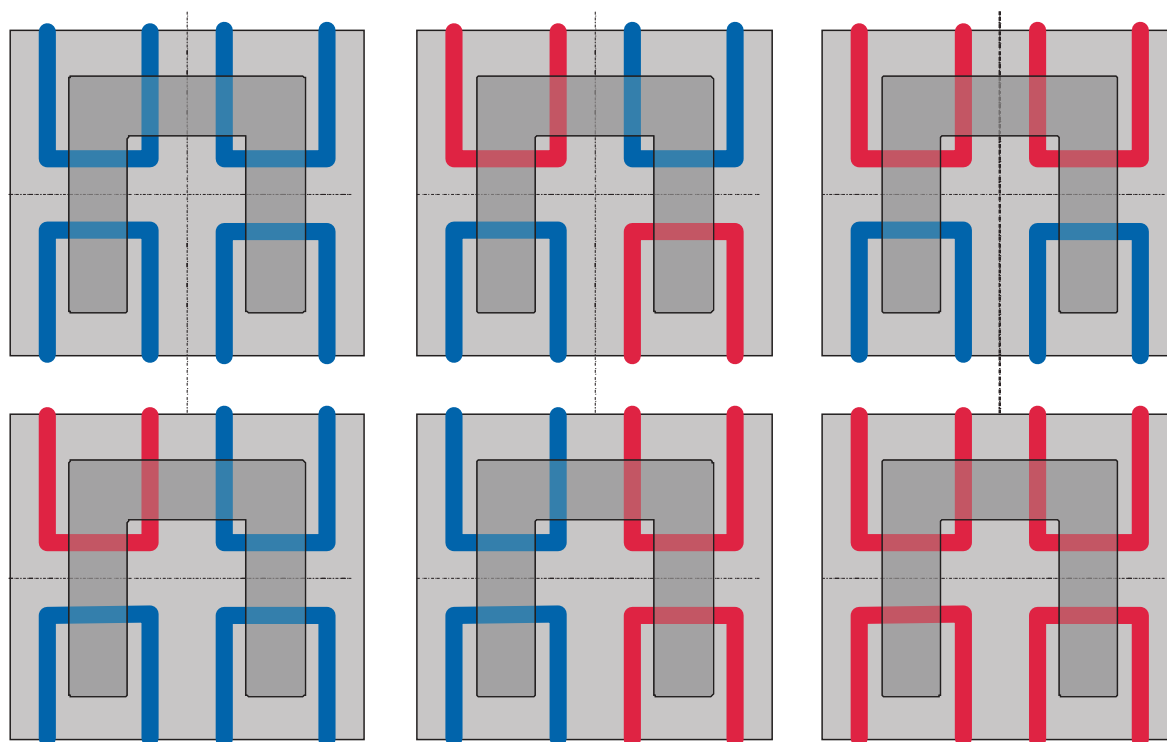
Na uwagę zasługuje fakt, że każda z wkładek układu chłodzenia posiada kontakt tylko ze ścianką gniazda formy. Bezpośrednie przewodzenie ciepła poprzez styk następuje tylko z powierzchnią formy tuż pod gniazdem formującym. Z pozostałych powierzchni jest ono tylko możliwe poprzez konwekcję powietrza otaczającego wkładki systemu termostatowania lub przez promieniowanie. Również pomiędzy poszczególnymi obiegami zastosowano szczelinę powietrzną, która nie dopuszcza do wymiany ciepła. W szczególności dotyczy to prób, podczas których stosuje się skrajnie różne wartości temperatury np. 20 i 110°C.

W badaniach oprócz analizy procesu wypełniania w fazie wtrysku analizie poddawana jest uzyskana struktura, naprężenia własne, stopień orientacji makrocząsteczkowej oraz zmiana temperatury podczas jednego cyklu wtryskiwania. Można również analizować naturalną stabilność procesu i powtarzalność termostatowania. Można symulować sytuacje awaryjne jak: zatkanie jednego z obiegów termostatowania czy awaria pompy obiegowej termostatu i analizować jak te zakłócenia wpłyną na właściwości samej wypraski.

Oprócz rejestracji temperatury metodami kontaktowymi podczas badań wykonywano rejestrację rozkładu temperatury na powierzchni wypraski tuż po jej wyformowaniu z wykorzystaniem technik termowizyjnych. Ocena pola temperatury samego narzędzia tą metodą jest utrudniona ze względu na wysoki współczynnik odbicia polerowanych elementów gniazda formującego i obudowy formy. Oczywiście istnieje możliwość kalibracji kamery za pomocą specjalnych naklejek i badań w punktach referencyjnych jednak możliwość zafałszowania wyników spowodowała, że ograniczono się do badań wyprasek uzyskanych podczas prób oraz gniazda w wybranych zakresach. Dotyczy to części badań, np. procesu rozgrzewania się formy, które to badania wykonano po uprzednim pokryciu formy matowym czarnym lakierem.

PODSUMOWANIE

Potrzeba wykonania przedstawionego stanowiska została zaczerpnięta z obserwacji dużych przemysłowych form i problemów wynikających z ich obsługi. Bardzo często napotyka się na problemy z poprawnym ustawieniem procesu wtryskiwania, czego powodem jest zbyt długi kanał układu termostatowania formy, uniemożliwiający rozdzielenie go na dwa oddzielne i zapewnienie różnych warunków termostatowania dla każdego z osobna. Z drugiej strony formy stosowane w laboratoriach nie mają możliwości lokalnego modyfikowania pola temperatury, a tym samym wpływania na właściwości uzyskiwanych wyprasek stosowanych w późniejszych badaniach. Forma ta jest nowym podejściem do prowadzenia



Rys. 5. Przykłady konfiguracji pola temperatury jednej połówki eksperymentalnej formy wtryskowej

badań naukowych w zakresie przepływu tworzywa w formie oraz kontroli parametrów termicznych podczas procesu przetwórstwa tą metodą.

Kształt oraz funkcjonalności jakie są możliwe do osiągnięcia z wykorzystaniem omówionego w publikacji stanowiska zostały zastrzeżone zgłoszeniem patentowym nr P.408480 zgłoszonym 09.06.2014 w Urzędzie patentowym RP.

Badania realizowano w ramach projektu N N508 630740 Narodowego Centrum Nauki.

Literatura

1. Hamdy H., Regnier N., Lebot C., Pujos C., Defaye G., Applied Thermal Engineering 29 (2009) 1786-1791.
2. Yan C., Nakao C., Go T., Matsumoto K., Hatamura Y., Microsystem Technologies 9 (2003) 188-191, Springer-Verlag 2003.
3. Postawa P.: Metody termostatowania form wtryskowych. Przetwórstwo Tworzyw 4 (136), 2010, s.181-187.
4. Nabiałek J.: Modelowanie zjawisk w procesie wtryskiwania tworzyw. Tworzywa Sztuczne w Przemysle, 8, 1/2012, s. 54-56.
5. Postawa P.: Chłodzenie konformalne form wtryskowych. Chłodzenie Procesów Przemysłowych. Dodatek nr 1, marzec/kwiecień 2012, XV-XX, w: Tworzywa Sztuczne w Przemysle, 9, 2/2012.
6. Narzędzia do przetwórstwa polimerów. Koszkuł J., Caban R., Nabiałek J. CWA Regina Poloniae Częstochowa 2010, stron 139. ISBN 978-83-62244-20-1.
7. Bociąga E., Jaruga T.: Powstawanie obszarów łączenia strumieni tworzywa w wypraskach z wielogniazdowej formy wtryskowej. Polimery 2009, 54, nr 9, s. 654-660.
8. Postawa P., Kwiatkowski D.: Residual stress distribution in injection molded parts. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering vol. 18., Gliwice 2006, str. 171-174.