

ELŻBIETA BOCIĄGA, TOMASZ JARUGA ^{*)}

Politechnika Częstochowska
Instytut Przetwórstwa Polimerów i Zarządzania Produkcją
Al. Armii Krajowej 19c, 42-200 Częstochowa

Powstawanie obszarów łączenia strumieni tworzywa w wypraskach z wielogniazdowej formy wtryskowej^{**)}

Streszczenie — Przedstawiono wyniki badań dotyczących położenia obszarów łączenia strumieni tworzywa w wypraskach z poliacetalu, wytworzonych w 16-gniazdowej formie wtryskowej o równoległym układzie gniazd formujących. W celu określenia położenia tych obszarów wykorzystano metodę wizualizacji przepływu tworzywa w postaci linii przepływu na powierzchni wyprasek, uzyskanych dzięki zastosowaniu odpowiednich warunków wtryskiwania (metodą sterowania powstawaniem „efektu płyty gramofonowej”). Układ kanałów wtryskowych zrównoważonych geometrycznie nie zapewnił jednoczesnego wypełnienia gniazd, a powstała asymetria frontu strumienia tworzywa podczas jego przepływu w gniazdach formujących doprowadziła do przesunięcia obszarów łączenia strumieni tworzywa względem przewidywanej pozycji. Wyniki takie uzyskano w warunkach zarówno małej, jak i dużej prędkości wtryskiwania. Przyczyną zaobserwowanego przesunięcia jest ruch tworzywa w kanałach wtryskowych, określony konfiguracją tych kanałów. Przedstawione wyniki mogą być wykorzystane w projektowaniu układów doprowadzenia tworzywa w wielogniazdowej formie wtryskowej, pozwalając na uzyskiwanie wyprasek, w których eliminuje się efekt pogorszenia wytrzymałości mechanicznej w obszarach łączenia strumieni tworzywa.

Słowa kluczowe: wielogniazdowa forma wtryskowa, zrównoważone kanały doprowadzające, linie przepływu, obszary łączenia strumieni tworzywa, wytrzymałość mechaniczna wyprasek.

WELD LINE FORMATION IN THE PARTS FROM MULTICAVITY INJECTION MOLD

Summary — The results of investigations of weld lines locations in polyacetal moldings, prepared in 16-cavity injection mold with parallel cavities lay-out, were presented (Fig. 1, 3, 4). A method of melt flow visualization was used to record the weld line location on the surface of molding prepared at the proper injection conditions (method of „record grooves effect” formation control) (Fig. 2, 5). Despite using the geometrically balanced runners the cavities were not filled simultaneously (Fig. 6) and asymmetrical flow front of the polymer in the cavities led to weld lines shifts in relation to expected locations (Fig. 8—11). These results were obtained for both small and high injection velocities (Table 1). The reason of the weld line shift is the polymer melt movement in the runners, determined by runners’ configuration. The results presented can be used in design of runners’ sets in multicavity injection molds allowing preparation of moldings with no deterioration of mechanical strength in weld line area.

Key words: multicavity injection mold, balanced runners, flow lines, weld lines, strength of molding.

Wielogniazdowe formy wtryskowe stosuje się zwłaszcza do wytwarzania wyprasek o małych wymiarach a także w celu zwiększenia wydajności produkcji. Formy takie, służące do otrzymywania różnych wyprasek (tzw. *family molds*), pozwalają na skuteczniejsze wykorzystanie powierzchni roboczej formy oraz możliwości przetwórczych wtryskarki. W przypadku form wielogniazdowych, w których wszystkie gniazda mają identyczny kształt jest wymagana dobra powtarzalność

kształtu i wymiarów wyprasek uzyskiwanych w poszczególnych gniazdach. Wpływ na to wywiera dokładność obróbki gniazd formujących, ich powtarzalność jak również czynniki związane z konstrukcją formy, a zwłaszcza układu doprowadzania tworzywa do gniazd (tzw. kanałów doprowadzających) oraz układu chłodzenia zbudowanego z odpowiednio wykonanych kanałów chłodzących w płytach formujących formy wtryskowej. Błędy konstrukcyjne powodują nierównomierne wypełnianie gniazd formujących bądź też nierównomierne chłodzenie poszczególnych wyprasek [1—3].

Układ doprowadzenia tworzywa do gniazd w formie wielogniazdowej powinien zapewnić nie tylko możliwie mały spadek ciśnienia i temperatury ciekłego

^{*)} Autor do korespondencji; e-mail: jaruga@kpts.pcz.czyst.pl

^{**)} Artykuł zawiera treść wystąpienia przedstawionego w ramach XIII Profesorskich Warsztatów Naukowych „Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych”, Lublin 8—11 czerwca 2008 r.

tworzywa, ale również jednoczesne wypełnienie wszystkich gniazd formy. Jeżeli ten ostatni warunek nie zostanie spełniony, wówczas w gniazdach wypełnionych wcześniej nastąpi zbyt duży wzrost ciśnienia tworzywa, a gniazda wypełniane w dalszej kolejności mogą zostać niewypełnione do końca. Efektem takiego zjawiska są różnice masy wyprasek [4, 5] oraz ich skurczu. Może to prowadzić do przekroczenia dopuszczalnej tolerancji wymiarów wyprasek oraz do powstawania produktów wybrakowanych.

Układ doprowadzenia tworzywa zapewniający jednoczesne i równomierne wypełnianie gniazd form wielogniazdowych nazywa się układem zrównoważonym [4] (*balanced runners*) [6], przy czym rozróżnia się układy zrównoważone naturalnie (geometrycznie) oraz sztucznie. W układach zrównoważonych naturalnie droga przepływu tworzywa przez kanały do każdego gniazda jest jednakowa, natomiast w układach zrównoważonych sztucznie jest ona różna i wówczas należy zrównoważyć natężenie przepływu tworzywa w wyniku zastosowania odpowiednich przekrojów poprzecznych kanałów i przewęzek. W tym drugim przypadku kanały doprowadzające tworzywo do gniazd bardziej oddalonych od miejsca wtrysku muszą mieć większe pole przekroju poprzecznego niż pozostałe [2, 3, 6].

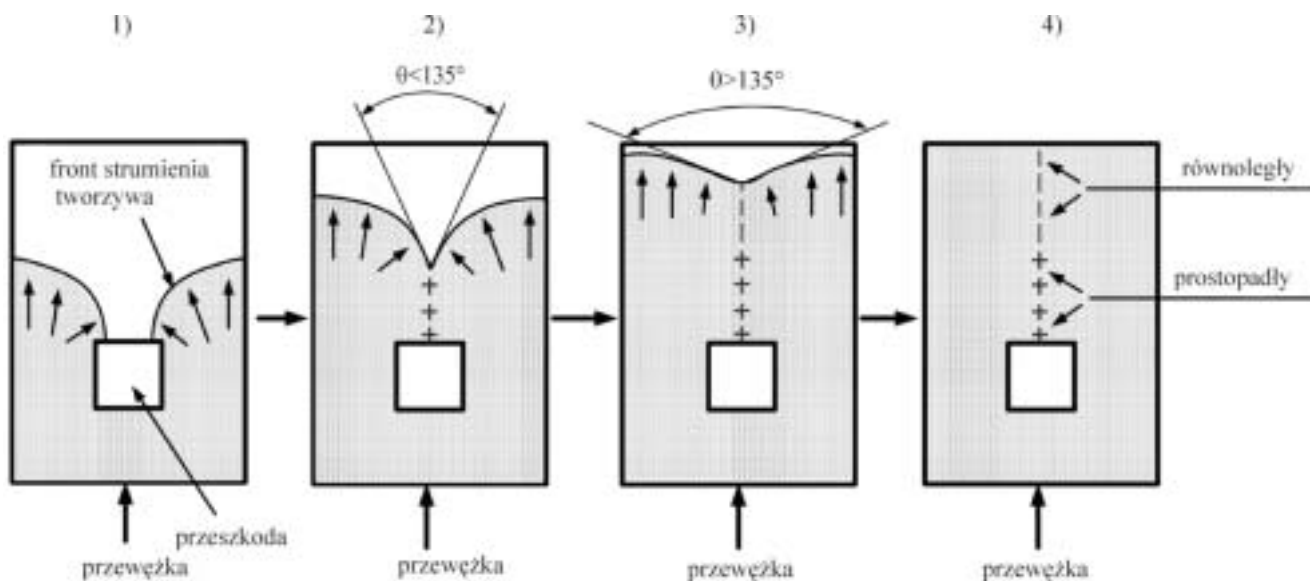
WŁAŚCIWOŚCI WYPRASEK Z OBSZARAMI ŁĄCZENIA STRUMIENI TWORZYWA

Nieuniknionym zjawiskiem podczas wtryskiwania jest powstawanie w wypraskach obszarów łączenia strumieni tworzywa [1, 7—10] zwanych też liniami łączenia (*weld lines*). Tworzą się one w miejscach, gdzie ciekłe

tworzywo opływa przeszkodę znajdującą się na jego drodze, na przykład kształtującą otwór w wyprasce. W zależności od kąta pod jakim zderzają się dwa strumienie tworzywa, można wyróżnić obszary ich prostopadłego (*weld lines*) lub równoległego (*meld lines*) łączenia. Kryterium takiej klasyfikacji jest kąt θ zawarty pomiędzy stycznymi do frontów strumieni tworzywa w miejscu ich styku (rys. 1). Przyjmuje się umownie, że jeżeli $\theta < 135^\circ$, to obszar łączenia jest prostopadły, w przeciwnym zaś przypadku — równoległy [9].

Obszary łączenia strumieni tworzywa są miejscami o zmniejszonej wytrzymałości wynikającej z faktu, że stykające się ze sobą fronty strumienia tworzywa zazwyczaj już są ochłodzone i nie następuje ich odpowiednie łączenie; obszar łączenia prostopadłego cechuje przy tym mniejsza wytrzymałość [11—14]. Obszary łączenia często są widoczne na powierzchni wypraski w postaci rys — w obszarach tych dochodzi bowiem do powstawania karbu typu „V” [8].

Wiele publikacji poświęcono badaniom obszarów łączenia i ich wpływu na pogorszenie właściwości wyprasek. Na ogół stosuje się formy badawcze umożliwiające uzyskanie wyprasek bez i z obszarami łączenia, w zależności od konfiguracji układu doprowadzenia tworzywa do gniazd. W publikacji [14] badano próbki wykonane z PE-HD i wykazano, że omawiane obszary różnią się charakterem struktury powodując przez to zmianę stopnia krystaliczności materiału wyprasek. Szczególnie narażone na zmniejszenie wytrzymałości w następstwie występowania takich obszarów są wypraski wykonane z kompozycji tworzyw z napełniaczami. Wiąże się to z ułożeniem cząstek napełniacza w sposób ułatwiający pęknięcie. Zagadnieniem tym zajmowali się autorzy prac



Rys. 1. Tworzenie się prostopadłych i równoległych obszarów łączenia strumieni tworzywa podczas wypełniania gniazda z przeszkodą: 1) fronty zbliżają się do siebie, 2) powstaje prostopadły obszar łączenia, 3) powstaje równoległy obszar łączenia, 4) gniazdo jest wypełnione [9]

Fig. 1. Formation of weld and meld lines during the filling of a cavity with an obstacle: 1) melt flow fronts approaching to each other, 2) formation of weld line, 3) formation of meld line, 4) cavity is filled [9]

[17, 18] dotyczących modelowania ułożenia cząstek napełniacza w wyprasce, a także Sterzyński i Banasiak [19] określający charakter przepływu na podstawie ułożenia cząstek talku w polietylenie, jak również Stabik [20] badający przemieszczanie się ziaren napełniacza podczas przepływu tworzywa. W obszarach łączenia strumieni tworzywa może dochodzić do niejednorodnego rozkładu cząstek napełniacza, co wykazali — na przykładzie polistyrenu napełnionego kulkami szklanymi — Ogađhoh i Papatthasiou [21].

Właściwości wytrzymałościowe mieszanin polimero- wych również ulegają wyraźnemu pogorszeniu w obszarach łączenia strumieni tworzywa, co stwierdzili Bra- himi i współpr. badając mieszaniny PE-HD/PS oraz PC/PE-HD [12, 13]. Różnice między mieszaninami a kompozytami dotyczą w szczególności wytrzymałości na rozciąganie. Występowanie omawianych obszarów powoduje jej niewielkie tylko zmniejszenie w przypadku tworzyw częściowo krystalicznych (np. PE-HD), większe zaś — tworzyw bezpostaciowych (np. PS). Potwierdzili to autorzy [8] analizując PMMA [poli(meta- krylan metylu)] oraz SAN (kopolimer styren/akryloni- tryl). W przypadku mieszanin zmiany są drastyczne — wytrzymałość zmniejsza się aż czterokrotnie [12].

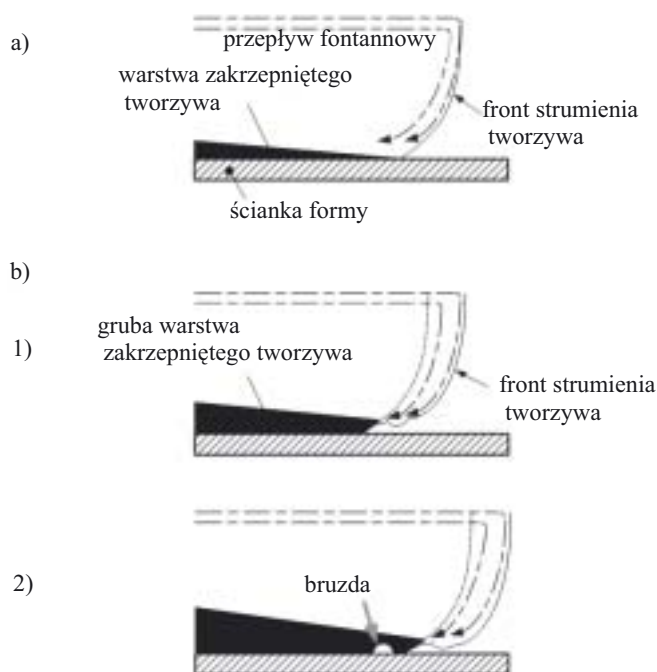
Symulacje komputerowe procesu wtryskiwania mogą być pomocne we właściwym zaprojektowaniu wypraski oraz układu doprowadzenia tworzywa zapewniającym uzyskanie założonego położenia obszarów łączenia. Wykazał to m.in. Chun [20], przedstawia- jąc możliwość sterowania położeniem tego obszaru na drodze zmiany grubości ścianki projektowanej wypras- ki. Na powierzchniach wyprasek, którym stawia się wy- magania estetyczne należy jednak unikać powstawania takich obszarów. Jest to możliwe dzięki odpowiedniemu zaprojektowaniu formy wtryskowej, na przykład w wy- niku wyboru miejsca doprowadzenia tworzywa do gniazda, czyli tzw. punktu wtrysku, przy czym punkt ten może być tylko jeden lub może ich być kilka.

Zamierzony efekt (odpowiednie położenie obszarów łączenia strumieni tworzywa) można również osiągnąć za pomocą niekonwencjonalnych metod wtryskiwania, takich jak na przykład wtryskiwanie pulsacyjne, znane pod nazwą Scorim [21—23]. Metoda ta polega na cyk- licznym przepychaniu uplastycznionego tworzywa przez gniazdo formujące na przemian w jedną i w drugą stronę, co niweluje niekorzystny efekt pogorszenia wy- trzymałości wypraski w obszarach łączenia strumieni tworzywa a także powoduje wzmocnienie materiału na skutek nadania określonej orientacji makrocząsteczkom polimeru [22, 24]. Problem stanowi jednak znaczny koszt tej metody wtryskiwania wynikający z konieczności zastosowania układu napędzającego tłoki poru- szające tworzywo oraz ogrzewanej płyty, w której tłoki te działają.

Obszarom łączenia strumieni tworzywa w wypras- kach, będącym często wadą nieuniknioną, może towar- zyszyć występowanie wielu innych wad spowodowa-

nych nieodpowiednio dobranymi warunkami wtryski- wania. Jednym z defektów tego typu są pojawiające się na powierzchni wyprasek drobne pofałdowania, któ- rych ułożenie zależy od sposobu przemieszczania się frontu strumienia tworzywa podczas wypełniania gniazda formującego; zjawisko to jest nazywane „efek- tem płyty gramofonowej”. Przyczyny tworzenia pofał- dowań stanowią zazwyczaj zbyt niska temperatura za- równo formy wtryskowej, jak i tworzywa wtryskiwane- go oraz za mała prędkość wtryskiwania.

Mechanizm powstawania wspomnianego efektu wy- jaśniono dzięki badaniom przeprowadzonym z wyko- rzystaniem formy ze ściankami przezroczystymi [9, 10]. Schemat obrazujący to zjawisko przedstawia rys. 2. Przepływ tworzywa w gnieździe formy wtryskowej w przekroju wzdłużnym opisano tu jako fontannowy [17, 25]. W odpowiednich warunkach wtryskiwania warstwa tworzywa zakrzepniętego przy ściance formy jest cienka (rys. 2a), natomiast niska temperatura formy sprzyja pogrubieniu warstwy (rys. 2b1). Podczas prze- pływu fontannowego tworzywo wywija się ku ścian- kom formy po czym powoli zsuwa się z tej grubej za- krzepniętej warstwy (rys. 2b1). Dłuższy w tych warun-



Rys. 2. Powstawanie linii przepływu na powierzchni wypras- ki: a) normalny przepływ fontannowy, w odpowiednich wa- runkach, b) tworzenie się linii przepływu, np. na skutek za niskiej temperatury formy: 1 — sphywanie ciekłego tworzywa z zakrzepniętej warstwy, 2 — tworzenie się bruzdy na ściance formy [9] (por. tekst)

Fig. 2. Formation of flow lines („record grooves”) on the sur- face of molding: a) normal fountain flow in proper conditions, b) formation of flow lines, for example due to too low mold temperature: 1 — polymer melt flows down from the solidified layer, 2 — formation of a ripple on the mold wall [9] (see text)

kach czas krzepnięcia tworzywa powoduje jego odkształcenie i skokowe układanie się go na ścianie formy (tworzenie się bruzdy, rys. 2b2).

Autorzy niniejszej publikacji wykazali, że sterowanie powstawaniem wady jaką stanowi „efekt płyty gramofonowej” może być użyteczne w diagnozowaniu procesu wypełniania formy wtryskowej [26, 27], a zatem może przyczynić się do eliminowania problemów związanych z uzyskiwaniem dobrych jakościowo wyprasek, zwłaszcza w przypadku wyprasek precyzyjnych i mikrowyprasek [34]. Badania przedstawione poniżej stanowią kontynuację prac nad tym zagadnieniem.

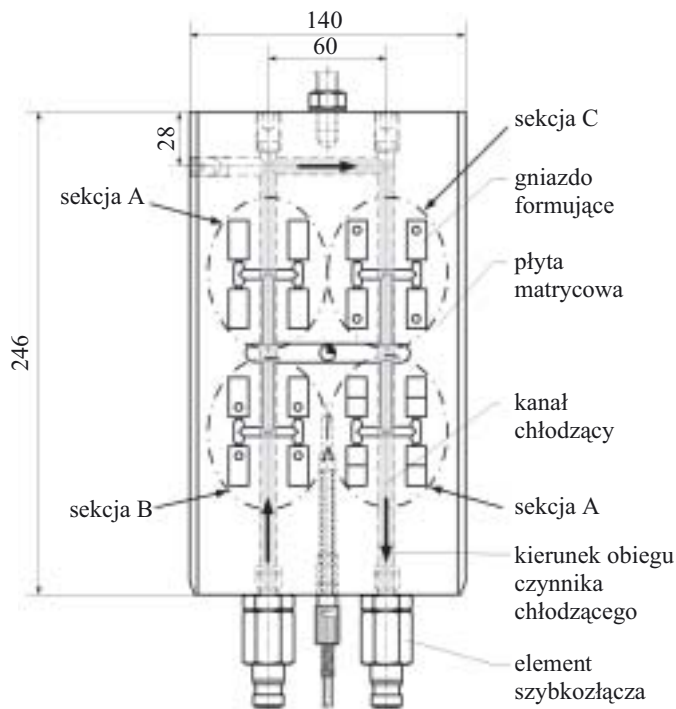
CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Przetwarzanym przez nas tworzywem był poliacetal (polioksymetylen) firmy Rhodia o nazwie handlowej Sniatal M8. Badano powstawanie obszarów łączenia strumieni tworzywa w wypraskach uzyskanych z 16-gniazdowej wtryskowej formy badawczej [4, 5, 28] (rys. 3). Prostopadłościennie gniazda formy o wymiarach $10 \times 20 \times 2,2$ mm podzielono na cztery sekcje. Każdą z sekcji zasiliał tworzywem oddzielny kanał doprowadzający. Ponadto, gniazda w każdej z sekcji różniły się kształtem — wypraski formowane w sekcji A były prostopadłościennie, w wypraskach z sekcji B i C dodatkowo znajdowały się otwory, a wypraski z sekcji D miały stopniowaną grubość i były bez otworów (rys. 4).

Tabela 1. Warunki wtryskiwania wyprasek z polioksymetylenem (POM) zastosowane w celu uzyskania wizualizacji linii przepływu

Table 1. Processing conditions of injection molding of polyoxymethylene (POM) parts, used for flow lines visualization

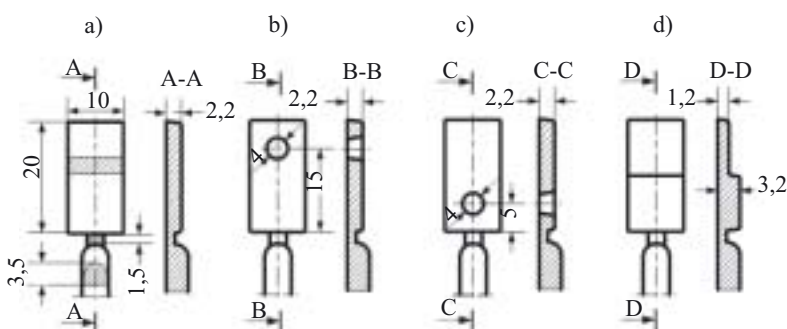
Parametr	Wartość
Temperatura wtryskiwania T_w , °C	185
Temperatura formy T_f , °C	30
Prędkość wtryskiwania v_w , mm/s	10 lub 120
Objętościowe natężenie przepływu \dot{Q} , cm ³ /s	7,0 lub 84,5
Czas fazy wtrysku t_w (do uzyskania zaniku linii przepływu), s	0,7–3,0 (gdym $v_w = 10$ mm/s) 0,11–0,3 (gdym $v_w = 120$ mm/s)
Ciśnienie docisku p_d , MPa	0



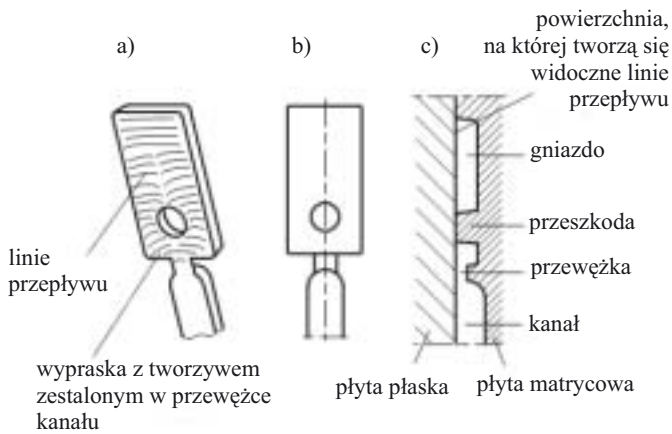
Rys. 3. Schemat formy wtryskowej — układ gniazd formujących i kanałów doprowadzających oraz układ chłodzenia
Fig. 3. Scheme of injection mold — layout of cavities, runners and cooling channels

Warunki wtryskiwania dobrano tak, aby uzyskać „efekt płyty gramofonowej”. Zastosowano niską temperaturę formy (30 °C) oraz pominięto fazę docisku. Ustawiono mianowicie zerową wartość zarówno ciśnienia, jak i czasu docisku ponieważ stwierdzono, że pod wpływem działania fazy docisku linie przepływu stają się mało wyraźne. Również zbyt długi czas fazy wtrysku, powodując wzrost ciśnienia tworzywa w gnieździe przyczyniał się do tego, że linie przepływu były niewidoczne. Dobrane przez nas warunki wtryskiwania zestawiono w tabeli 1.

Badania prowadzono wykorzystując dwie wartości prędkości wtryskiwania (v_w), tj. 10 mm/s oraz 120 mm/s, definiowanej jako prędkość ruchu postępowego ślimaka w fazie wtrysku. Różnym wartościom v_w odpowiadają, odpowiednio, różne objętościowe natężenia



Rys. 4. Wymiary wyprasek z poszczególnych sekcji gniazd formy — A, B, C, D, skala 2:1 w stosunku do wymiarów gniazd formujących na rys. 3
Fig. 4. Dimensions of moldings from particular mold sections — A, B, C, D. Scale 2:1 in relation to mold cavities' dimensions in Fig. 3



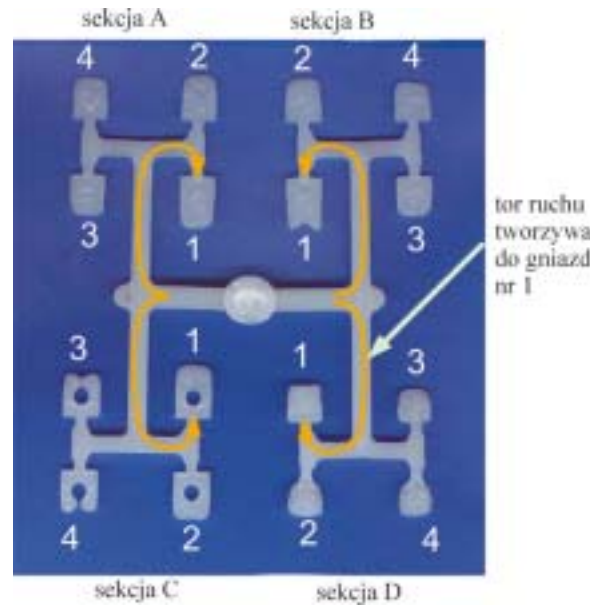
Rys. 5. Lokalizacja linii przepływu na powierzchni wypraski: a) położenie linii przepływu na jednej z powierzchni wypraski, b) widok wypraski, c) przekrój przez gniazdo formujące
 Fig. 5. Location of flow lines on the molding surface: a) location of flow lines on one of the molding surfaces, b) view of molding, c) mold cavity cross-section

przepływu \dot{Q} . Ponadto do każdej wartości v_w dobrano określony przedział czasu fazy wtrysku (t_w).

Linie przepływu uzyskiwano na jednej z powierzchni wyprasek, odwzorowywanej przez płaską płytę formującą (rys. 5).

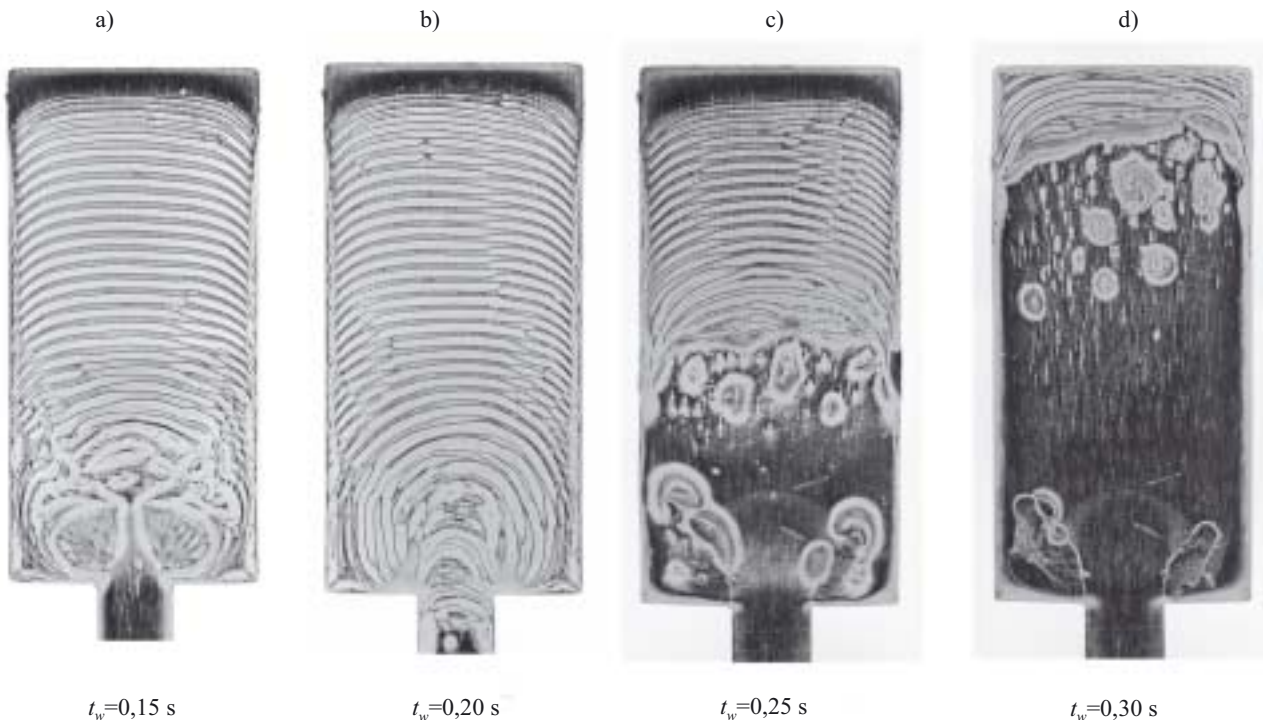
WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

We wcześniejszych badaniach wypełniania formy [28—31] wykazaliśmy, że gniazda nie są wypełniane jed-



Rys. 6. Nierównomierne wypełnienie gniazd formy uwidocznione w badaniu metodą niecałkowitego wypełnienia gniazd (tzw. „krótkich wtrysków”); w każdej sekcji kolejność wypełniania gniazd oznaczono liczbami 1—4
 Fig. 6. Non-uniform filling of mold cavities shown by short shot method; in each section the sequence of cavities' filling denoted with numbers 1—4

nocześnie, ale w określonej kolejności powtarzającej się w następnych cyklach wtryskiwania oraz identycznej dla każdej z czterech sekcji gniazd. Wyniki uzyskane na drodze niecałkowitego wypełnienia gniazd metodą



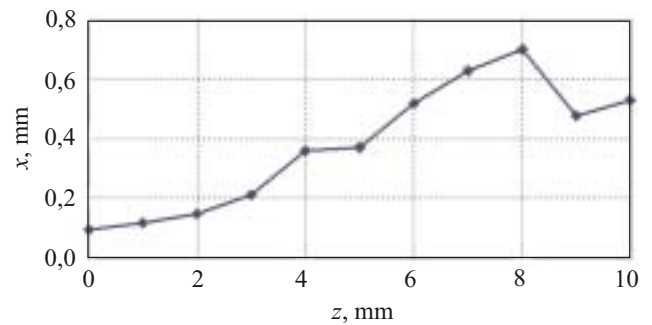
Rys. 7. Układ linii przepływu na powierzchni wyprasek A1 uzyskany w różnym czasie fazy wtrysku t_w ; prędkość wtryskiwania $v_w = 120$ mm/s
 Fig. 7. Flow lines pattern on A1 molding surface obtained at different injection time t_w ; injection velocity $v_w = 120$ mm/s

„krótkich wtrysków” (opisanej w [26, 32, 33]), ilustruje rys. 6. Jako pierwsze w każdej sekcji jest wypełniane gniazdo położone najbliżej środka formy, a ciekłe tworzywa wpływając w kolejne odgałęzienia kanałów gniazd zmienia kierunek ruchu stale w tę samą stronę.

Zastosowanie przez nas odpowiednich warunków wtryskiwania umożliwiło uzyskanie obrazu przepływu tworzywa w gniazdach w postaci widocznych na powierzchni wyprasek wspomnianych już linii przepływu.

Wyniki badań przepływu tworzywa w gnieździe formującym oraz powstawanie obszarów łączenia strumieni tworzywa przedstawiają rys. 7—11. Na rysunku 7 pokazano wpływ czasu fazy wtrysku na układ linii przepływu na powierzchni wyprasek. Przedłużanie czasu wtrysku powodowało większy stopień wypełnienia gniazda tworzywem dzięki czemu otrzymywano coraz gładszą powierzchnię wypraski, aż do całkowitego zaniku linii. Rozmywanie się linii przepływu rozpoczynało się od okolic przewężki, gdzie ciśnienie w tworzywie jest największe. Efekt ten zaobserwowano w odniesieniu do obydwu stosowanych wartości prędkości wtryskiwania.

Na podstawie rejestrowanych linii przepływu uzyskanych w przypadku wyprasek z otworem stwierdzono występowanie widocznego przesunięcia linii łączenia strumieni tworzywa w kierunku jednej ze ścianek gniazda (rys. 8), co dowodzi asymetrii przepływu strumieni. Przesunięcie jest wyraźniejsze w warunkach większej prędkości przepływu i zwiększa się w miarę oddalania od otworu w wyprasce (przeszkody). Odchylenie to zmierzono za pomocą oprogramowania NIS zainstalowanego na komputerze obsługującym mikroskop świetlny Nikon. Wyniki w postaci wykresu ilustruje rys. 9.



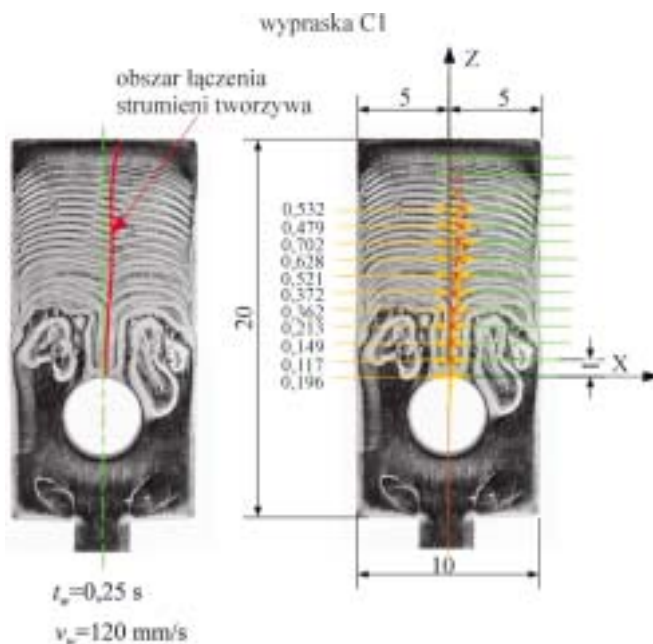
Rys. 9. Przesunięcie obszaru łączenia strumieni tworzywa (x) w wyprasce C1 w funkcji odległości od przeszkody (z); $t_w = 0,25$ s, $v_w = 120$ mm/s; oś x i z zaznaczono na rys. 8

Fig. 9. Weld line shift (x) in C1 molding versus the distance from an obstacle (z), $t_w = 0.25$ s, $v_w = 120$ mm/s; x and z axes as shown in Fig. 8

W badaniach prowadzonych wspomnianą metodą niecałkowitego wypełnienia formy wypełnianie tworzywem gniazd formujących w określonej kolejności jest związane ze sposobem przepływu tworzywa w kanałach doprowadzających, mogącym powodować asymetryczne ułożenie frontu strumienia tworzywa w gniazdach i kanałach [4, 28, 29]. Zjawiska te przyczyniają się do przesunięcia obszaru łączenia strumieni tworzywa zarówno w wypraskach z sekcji B (rys. 10), gdzie powstają one przy końcowej ściance gniazda formującego, jak i w wypraskach z sekcji C, gdzie obszary te są większe, gdyż tworzą je prostopadłe i równoległe linie łączenia (rys. 11).

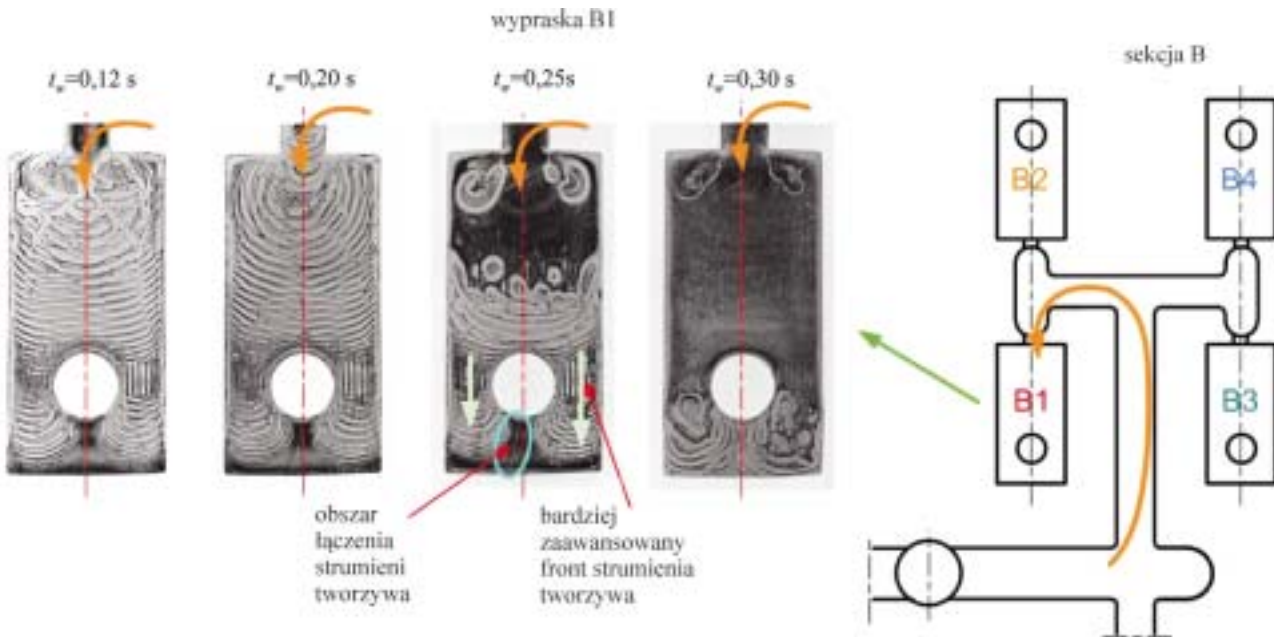
Jak już stwierdziliśmy, obszary łączenia strumieni tworzywa zmniejszają wytrzymałość wyprasek [13—20], osłabiając je miejscowo, gdyż podczas zderzenia się strumieni tworzywa w fazie wypełniania gniazda formującego przy powierzchni powstaje karb [8]; bardzo często na powierzchni wypraski są widoczne rysy pogarszające jej wygląd.

Ze względu na umiejscowienie przeszkody w gnieździe formującym, wypraski z sekcji B są typowym przykładem wytworów, w których strumienie tworzywa zderzając się z sobą łączą się prostopadle. Powstająca za przeszkodą w gnieździe B1 i widoczna na powierzchni tych wyprasek linia nie jest umieszczona symetrycznie względem otworu, lecz, jak już wspomniano, przesunięta w kierunku jednej ze ścianek bocznych wypraski (por. rys. 10). Przyczynę takiego umiejscowienia obszaru łączenia strumieni tworzywa stanowi ruch tworzywa w kanałach doprowadzających, a zwłaszcza zmiana kierunku przepływu podczas wpływania do kolejnych odgałęzień kanałów, co skutkuje asymetrycznym wypełnianiem gniazda. Tor ruchu charakteryzujący się zmianą kierunku przepływu stale w tę samą stronę jest torem uprzywilejowanym [4, 28]. Biegnie on od centralnego kanału wtryskowego do gniazd środkowych, oznaczonych numerem 1 w każdej z czterech sekcji (kolor żółty rys. 10). Tor taki może również występować w innych

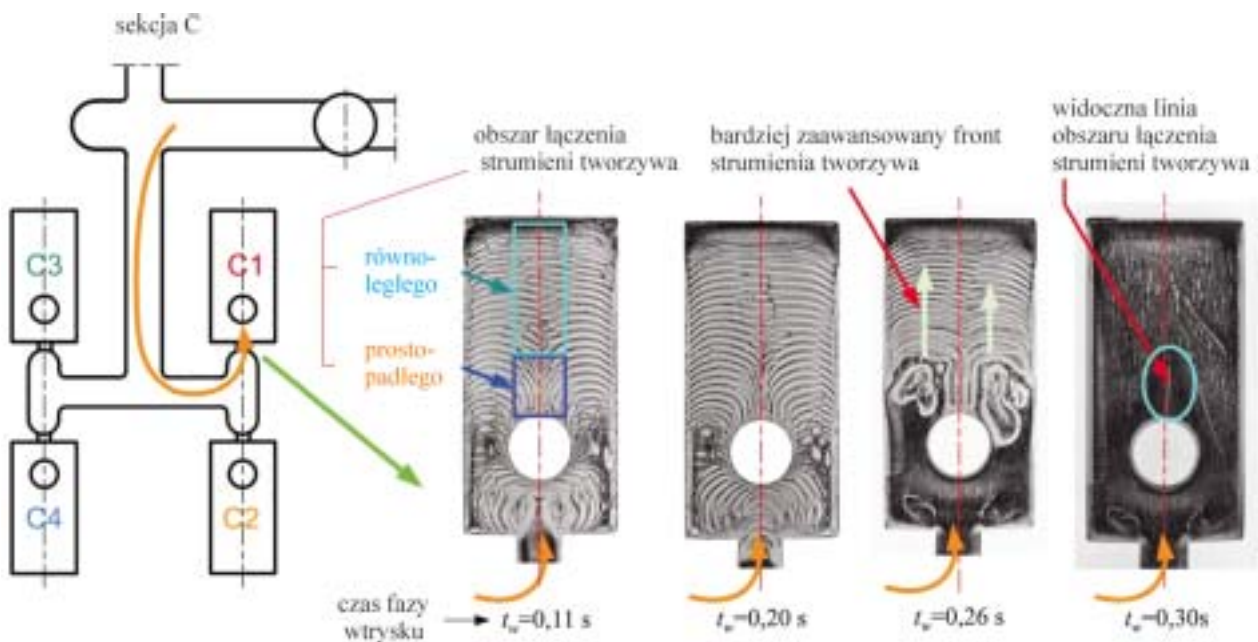


Rys. 8. Przesunięcie obszaru łączenia strumieni tworzywa w wyprasce C1; $t_w = 0,25$ s, $v_w = 120$ mm/s

Fig. 8. Weld line shift in C1 molding: $t_w = 0.25$ s, $v_w = 120$ mm/s



Rys. 10. Przesunięcie obszaru łączenia strumieni tworzywa w wyprasce B1; wypraski wykonano w różnych czasach fazy wtrysku t_w , $v_w = 120$ mm/s, liniami żółtymi oznaczono tor ruchu tworzywa do gniazd numer 1
 Fig. 10. Weld line shift in B1 molding; moldings injected at different injection times t_w , $v_w = 120$ mm/s, yellow lines denote the path of polymer movement to cavities number 1



Rys. 11. Przesunięcie obszaru łączenia strumieni tworzywa w wyprasce C1; wypraski wykonano w różnych czasach fazy wtrysku t_w , $v_w = 120$ mm/s, liniami żółtymi oznaczono tor ruchu tworzywa do gniazd numer 1
 Fig. 11. Weld line shift in C1 molding; moldings injected at different injection times t_w , $v_w = 120$ mm/s, yellow lines denote the path of polymer movement to cavities number 1

konfiguracjach kanałów doprowadzających. Efektem opisanego zjawiska jest szybsze opływanie przeszkody z jednej strony gniazda, co powoduje, że obydwa strumienie rozdzielonego na przeszkodzie tworzywa nie spotykają się na osi symetrii wypraski.

Umieszczenie przeszkód w gniazdach sekcji C wymusza powstawanie obszaru równoległe łączących się strumieni tworzywa w gnieździe. Również i w tym

przypadku obserwuje się przesunięcie względem osi symetrii gniazda C1, na skutek ruchu tworzywa w kanałach doprowadzających (por. rys. 11). Bezpośrednio za przeszkodą w wyniku zderzenia się frontów strumieni tworzywa, powstaje obszar prostopadłego ich łączenia a dalej natomiast — równoległego, związanego z równoległym względem siebie przepływem strumieni.

PODSUMOWANIE

Ważny aspekt poznawczy przedstawionej pracy stanowi stwierdzenie, że układ kanałów doprowadzających w wielogniazdowej formie wtryskowej może wpływać na wypełnienie gniazd, zatem na powstawanie obszarów łączenia strumieni tworzywa. W zastosowanej tu formie z równoległym układem gniazd formujących tworzywo wypełnia wcześniej gniazda położone w środku formy, a front strumienia tworzywa jest asymetryczny, co ma wpływ na strukturę i właściwości wyprasek.

Wytwarzanie wyprasek w formach wielogniazdowych pozwala wprawdzie na korzystne zwiększenie wydajności procesu wtryskiwania, ale wiąże się też z problemem powtarzalności wyprasek uzyskiwanych z różnych gniazd formy. Możliwe przesunięcie obszarów łączenia strumieni tworzywa w wypraskach (w miejsca inne niż przewidywane) spowodowane zmianami kierunku przepływu tworzywa w kanałach doprowadzających formy, wpływa nie tylko na pogorszenie estetyki, ale także na osłabienie wypraski w niepożądanym miejscu, np. obciążonym podczas użytkowania.

W procesie projektowania układu przepływowego w formach wtryskowych należy więc uwzględnić zarówno odpowiednią długość oraz przekrój poprzeczny kanałów, jak i ich układ, zwracając szczególną uwagę na zmianę kierunku przepływu tworzywa w kolejnych odcinkach kanałów.

Przedstawiona przez nas metoda badawcza polegająca na sterowaniu powstawaniem „efektu płyty gramofonowej” pozwala na prognozowanie przepływu tworzywa w formach wtryskowych, a jednocześnie jest prosta w zastosowaniu, nie wymaga ingerencji w konstrukcję formy, montowania czujników oraz dodatkowych przyrządów pomiarowych i rejestrujących, nie pociąga więc za sobą znacznych kosztów.

LITERATURA

- Smorawiński A.: „Technologia wtrysku”, WNT Warszawa 1989, str. 184—222.
- Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993, str. 193—204.
- Zawistowski H., Frenkler D.: „Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych”, WNT Warszawa 1984, str. 138—200.
- Jaruga T.: „Analiza właściwości wyprasek wytwarzanych w różnych warunkach wypełniania gniazd formy wtryskowej wielogniazdowej”, Rozprawa doktorska, Politechnika Częstochowska 2007.
- Bociąga E., Jaruga T.: „Properties of precision injection moulded parts from a multicavity mould”, PPS-24 Polymer Processing Society Annual Meeting, Salerno 2008, mat. konf. Paper S03-296 (CD).
- Beaumont J. P.: „Runner and Gating Design Handbook. Tools for Successful Injection Moulding”, Hanser, Munich, Cincinnati, 2004, str. 82, 113.
- Praca zbiorowa: „Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne” (red. Sikora R.), Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006, str. 152.
- Cho K., Ahn S., Park J., Park C. E.: *Polym. Eng. Sci.* 1997, **37**, 1217.
- „C-MOLD Design Guide. A Resource for Plastics Engineers. Third Edition”, C-MOLD, Ithaca, New York, USA, 1998, str. 217—219, 233—236.
- „Practical Guide to Injection Moulding”, Edited by Vanessa Goodship, Rapra Technology Limited and Arburg Limited, Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, 2004, str. 193—194.
- Bociąga E.: „Procesy determinujące przepływ tworzywa w formie wtryskowej i jego efektywność”, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2001, str. 105—109.
- Brahimi B., Ait-Kadi A., Aji A.: *Polym. Eng. Sci.* 1994, **34**, 1202.
- Mekhilef N., Ait-Kadi A., Aji A.: *Polymer* 1995, **36**, 2033.
- Bociąga E.: *Polimery* 2001, **46**, 638.
- Shokri P., Bhatnagar N.: *Int. Polym. Process.* 2006, **21**, 480.
- Choi W. J., Kim C. S.: *Polymer* 2004, **45**, 2393.
- Banasiak A., Sterzyński T.: *Polimery* 2004, **49**, 442.
- Stabik J.: *Polimery* 2004, **49**, 712.
- Ogadhoh S. O., Papathanasiou T. D.: *Scripta Materialia* 1977, **37**, 1143.
- Chun D. H.: *J. Mat. Proc. Tech.* 1999, **89—90**, 177.
- Mano J. F., Sousa R. A., Reis R. L., Cunha A. M., Bevis M. J.: *Polymer* 2001, **42**, 6187.
- Bociąga E.: *Polimery* 2005, **50**, 10.
- Bociąga E.: „Specjalne metody wtryskiwania tworzyw polimerowych”, WNT, Warszawa 2008, str. 139—144.
- Wang L., Allan P. S., Bevis M. J.: *Plast. Rubber Compos. Process. Appl.* 1995, **23**, 139.
- Sikora R., Bociąga E.: *Polimery* 2003, **48**, 100.
- Bociąga E.: *Polimery* 2007, **52**, 170.
- Bociąga E., Jaruga T.: *Arch. Mater. Sci. Eng.* 2007, **28**, 165.
- Bociąga E., Jaruga T.: *Polimery* 2006, **51**, 843.
- Bociąga E., Jaruga T., Sterzyński T., Banasiak A.: „Experimental Determination of the Polymer Flow Profiles in Injection Mould Channels”, 21st Annual Meeting PPS-21, Leipzig, Germany 2005, mat. konf. str. 1—11.
- Jaruga T., Bociąga E.: *Arch. Mater. Sci. Eng.* 2007, **28**, 429.
- Bociąga E., Jaruga T.: *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.* 2007, **23**, 83.
- Su G. Y., Yokoi H., Yang W. M.: „A Study on Filling Imbalance of Plastic Injection Molding in Multi-cavity Mold with «H» Pattern Runner System”, „Europe-Africa Meeting of Polymer Processing Society”, Athens 2003, mat. konf. 87-O (CD).
- Nabiałek J., Kwiatkowski D., Koszkuł J.: „Weryfikacja doświadczalna wyników symulacji komputerowych procesu wtryskiwania tworzyw termoplastycznych”, Czasopismo Techniczne Mechanika, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Rok 103, Kraków 2006, Zeszyt 6, str. 377—380.
- Bociąga E., Jaruga T.: *Polimery* 2009, **54**, 342.