

ELŻBIETA BOCIĄGA

Politechnika Częstochowska

Al. Armii Krajowej 19c, 42-200 Częstochowa

e-mail: bociaga@kpts.pcz.czyst.pl

## Wpływ sposobu doprowadzania tworzywa do gniazda formy wtryskowej na strukturę i stopień krystaliczności próbek polietylenu dużej gęstości (PE-HD)

### THE EFFECT OF THE MOLD CAVITY FEEDING MODE ON THE STRUCTURE AND CRYSTALLINITY OF HD-PE

**Summary** — Injection molding of large and complex-shaped parts involving the multipoint cavity feeding mode, gives rise to the formation of weld lines which degrade the mechanical properties of the product and the quality of its surface. The structure (as established by scanning microscopy) and the degree of crystallinity ( $Sk$ , as determined by DSC) examined along the axis of injection molded parts, were studied in Dow Chemicals type 10262A HDPE, in relation to single- (I) or double-gated (II) cavity feeding mode. With cavity II, the weld line area disclosed a heterogeneous structure (Fig. 3). With cavity I, the degree of crystallinity rose as the distance from the gate was prolonged (Fig. 4a); with cavity II, the degree of crystallinity was lower in the areas close to the gate and in the middle of the sample where weld lines were created (Fig. 4b). Mold cavity design should take care to predict weld line areas, because suppressed crystallinity is known to result in deteriorated mechanical properties.

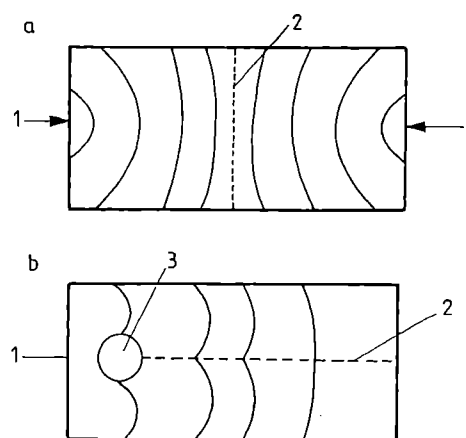
**Key words:** mold cavity feeding mode, injection molding, weld lines, degree of crystallinity.

Wtryskiwanie wyprasek dużych i o złożonym kształcie wymaga wielopunktowego doprowadzania tworzywa do gniazda formującego formy wtryskowej lub stosowania wstawek w formie. W takich warunkach podzielone strumienie tworzywa — przepływającego w gnieździe formującym z dużą prędkością z przeciwnych kierunków — zderzają się, w wyniku czego powstają linie ich łączenia [1—5]. Efektem powstawania takich linii jest pogorszenie zarówno właściwości mechanicznych wyprasek w obszarze połączenia, jak i jakości ich powierzchni.

Rozróżnia się dwa podstawowe przypadki powstawania linii łączenia:

— w warunkach wielopunktowego doprowadzania tworzywa do gniazda formy przeciwnie skierowane strumienie tworzywa zderzają się czołowo, a po zderzeniu nie występuje dodatkowy przepływ tworzywa jednego strumienia względem drugiego (rys. 1a);

— podczas stosowania wstawek następuje rozdzielanie, a następnie łączenie strumieni tworzywa, przy czym występuje dodatkowy przepływ warstw tworzywa z poszczególnych strumieni względem siebie (rys. 1b) [1, 3, 4].



Rys. 1. Wypraski z różnymi rodzajami linii łączenia strumieni tworzywa: a) dwupunktowe doprowadzanie tworzywa do gniazda formy, b) zastosowanie wstawki; 1 — punkt doprowadzania tworzywa, 2 — wyidealizowana linia łączenia strumieni tworzywa, 3 — otwór po wstawce [1]

Fig. 1. Molded pieces characterized by various weld line types: (a) double-gated cavity mold; (b) inserts used; 1 — gate, 2 — idealized weld line, 3 — hole [1]

Przyczyną powstawania linii łączenia strumieni tworzywa w wyprase może być również zróżnicowana grubość wypraski oraz wypełnianie strumieniowe gniazda [3, 6].

Badania właściwości mechanicznych wyprasek z liniami łączenia strumieni tworzywa były tematem kilku prac [1–3, 7]. Stwierdzono, że właściwości mechaniczne takich wyprasek są gorsze niż wyprasek bez linii łączenia. Różnice te są zwłaszcza duże w przypadku kruchych tworzyw bezpostaciowych. Wytrzymałość wyprasek z liniami łączenia z takich tworzyw może stanowić 25–50% [3], a nawet zaledwie 10% [4] wartości uzyskanych podczas badania wyprasek bez linii łączenia. Podobny efekt występuje w przypadku tworzyw napełnionych, natomiast pogorszenie właściwości wypraski z liniami łączenia z tworzyw o strukturze częściowo krystalicznej wynosi kilka do kilkunastu procent [7]. Autorzy niektórych prac podają, że właściwości te mogą być nawet takie same [2].

Mniejsza wytrzymałość mechaniczna wyprasek z liniami łączenia strumieni tworzywa może być spowodowana następującymi przyczynami:

- niekorzystna orientacja molekularna w obszarze łączenia strumieni tworzywa,
- niedostateczne złączenie strumieni tworzywa z powodu niewystarczającego splątania makrocząsteczek,
- tworzenie w miejscu łączenia karbu w kształcie litery V [3].

Wypraska w miejscu łączenia strumieni tworzywa ma strukturę inną niż w pozostałej jej części. Makrocząsteczki znajdujące się na frontach strumieni tworzywa są rozciągnięte równoległe do powstającej linii łączenia. Utworzona w wyniku zderzenia strumieni tworzywa orientacja molekularna może być przyczyną zmniejszonej wytrzymałości wypraski w kierunku prostopadłym do linii łączenia [1]. Na powstawanie określonej struktury wpływa również fakt, że tworzywo na frontach strumieni jest intensywniej chłodzone powietrzem zamkniętym w formie, ma więc niższą temperaturę niż tworzywo w pozostałych jej obszarach. Możliwe jest także utlenianie warstw powierzchniowych strumieni tworzywa.

Jak już wspomniano, w miejscu zderzenia się strumieni tworzywa może utworzyć się karb w kształcie litery V [1, 3]. Może to być spowodowane tym, że w warunkach dużej prędkości płynięcia strumieni tworzywa powietrze znajdujące się w gnieździe formy wtryskowej nie zdąży całkowicie opuścić gniazda podczas procesu jego napełniania i zostaje zamknięte pomiędzy frontami strumieni tworzywa płynących z przeciwnych kierunków (rys. 2). W miejscu karbu może wystąpić koncentracja naprężeń, co z kolei prowadzi do pogorszenia

właściwości mechanicznych wyprasek.

Powstawanie linii łączenia strumieni tworzywa w wypraskach jest więc ważnym zagadnieniem zarówno ze względu na wygląd powierzchni wyprasek, jak i ich właściwości. Celem pracy stanowiącej przedmiot niniejszego artykułu było porównanie morfologii wyprasek uzyskiwanych różnymi sposobami doprowadzania tworzywa do gniazda formy wtryskowej: z jednej lub z dwóch stron gniazda. Oznaczano także stopień krystaliczności tworzywa w różnych miejscach wyprasek.

## CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

### Materiał

Badano próbki PE-HD 10262 A, firmy DOW Chemicals, o gęstości  $962 \text{ kg/m}^3$ . Polietylen ten charakteryzował się następującymi właściwościami (według danych producenta):

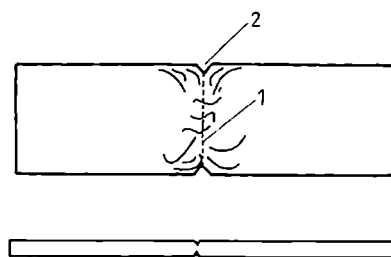
- masowy wskaźnik szybkości płynięcia  $MFR = 10 \text{ g/10 min}$ ,
- granica plastyczności  $\sigma_s = 28 \text{ MPa}$ ,
- naprężenie zrywające  $\sigma_r = 32 \text{ MPa}$ ,
- wydłużenie względne przy zerwaniu  $\varepsilon_r = 800\%$ ,
- moduł sprężystości przy rozciąganiu  $E_t = 1070 \text{ MPa}$ ,
- temperatura mięknięcia oznaczana metodą Vicata  $t_m = 130^\circ\text{C}$ .

### Otrzymywanie próbek do badań

Materiał do badań uzyskiwano z próbek do rozciągania typu 2, o kształcie i wymiarach zgodnych z PN-81/C-89034. Próbkę wykonywano za pomocą dwugniazdowej formy wtryskowej opisanej we wcześniejszych pracach [7, 8]. W formie montowano wymienne wstawki, które umożliwiały doprowadzanie tworzywa do gniazda z jednej lub jednocześnie z dwóch przeciwnych stron gniazda, położonych na osi próbki; tworzywo było doprowadzone przez przewężkę szczelinową prostą o wymiarach: szerokość — 16 mm, długość — 1 mm i wysokość — 2,7 mm. Formę zainstalowano we wtryskarce typu KM65-160C1 firmy Krauss Maffei.

Warunki wtryskiwania próbek były następujące:

- temperatura wtryskiwania —  $210^\circ\text{C}$ ,
- ciśnienie docisku — 60 MPa,
- temperatura formy —  $40^\circ\text{C}$ ,
- czas wtrysku — 5 s,



Rys. 2. Wypraska z karbem w kształcie litery V, utworzonym w miejscu łączenia strumieni tworzywa: 1 — linia łączenia, 2 — karb [1]

Fig. 2. Molded piece with a V-shaped notch formed where two flow fronts meet: 1 — weld line, 2 — notch [1]

- czas docisku — 20 s,
- czas ochładzania — 20 s,
- prędkość wtryskiwania — 0,06 m/s.

### Metodyka badań

Morfologię próbek badano za pomocą mikroskopu skaningowego firmy Joel typ JSM-5400. Obserwowano zewnętrzną powierzchnię próbki oraz powierzchnię przekroju poprzecznego (prostopadłego do kierunku ewentualnego rozciągania próbki) w obszarze linii łączenia strumieni tworzywa. Przygotowanie próbek do badań obejmowało dokładne wyrównanie ocenianych powierzchni przy użyciu mikrotomu oraz ich trawienie w ciągu 4–4,5 h w temperaturze pokojowej. Odczynnik do trawienia stanowił roztwór nadmanganianu potasowego o stężeniu masowym 0,7% w mieszaninie stężony kwas siarkowy:kwas ortofosforowy = 2:1 (objętościowo). Po trawieniu próbki płukano i suszono, a następnie napyłano złotem w celu uzyskania warstwy przewodzącej.

Stopień krystaliczności próbek ( $S_k$ ) oznaczano metodą DSC, przyjmując, według [9], entalpię topnienia substancji całkowicie krystalicznej za równą 286,5 kJ/kg.

### WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Wyniki obserwacji morfologii próbek wtryskiwanych w warunkach doprowadzania tworzywa jednocześnie z dwóch stron gniazda formującego przedstawia rys. 3. Widoczne jest miejsce połączenia obydwu strumieni tworzywa oraz ukierunkowanie linii jego płynięcia (rys.

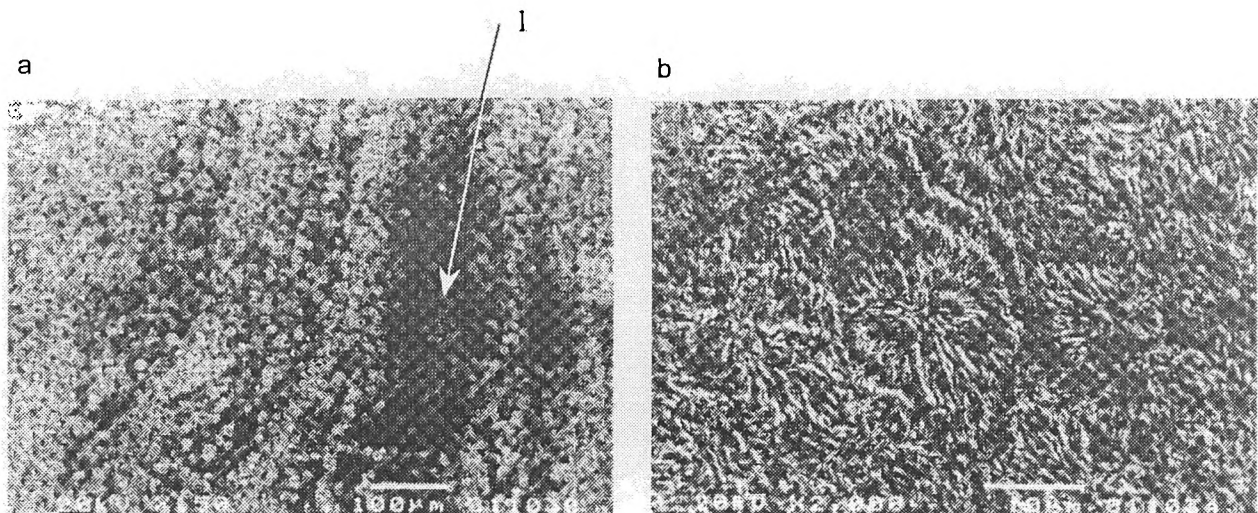
3a). Strefa przejściowa, powstała w obszarze złączenia strumieni, ma budowę odmienną niż pozostała część próbki. Na przekroju poprzecznym można zauważyć sferolity o różnych wymiarach oraz obszary o strukturze bezpostaciowej (rys. 3b).

Na rys. 4 przedstawiono wyniki badań stopnia krystaliczności próbek uzyskanych w warunkach doprowadzania tworzywa z jednej albo z dwóch stron gniazda formy wtryskowej; miejsca oznaczania stopnia krystaliczności zaznaczono cyframi 1–5.

W przypadku doprowadzania tworzywa z jednej strony gniazda, stopień krystaliczności próbki zwiększa się w miarę wzrostu odległości od miejsca wtryskiwania (przewężki) od wartości 63,1% w punkcie 1 (znajdującym się bezpośrednio za przewężką) do wartości 72,8% w punkcie 5 (najbardziej oddalonym od przewężki) (rys. 4a). Najmniejsza wartość  $S_k$  bezpośrednio za miejscem wtryskiwania może wynikać z zaburzenia przepływu tworzywa ciekłego przez przewężkę o przekroju poprzecznym mniejszym niż przekrój gniazda formującego. W miarę wzrastania długości drogi przepływu zmniejsza się jego turbulencja, a więc są stwarzane warunki do porządkowania struktury; powoduje to wzrost stopnia krystaliczności tworzywa.

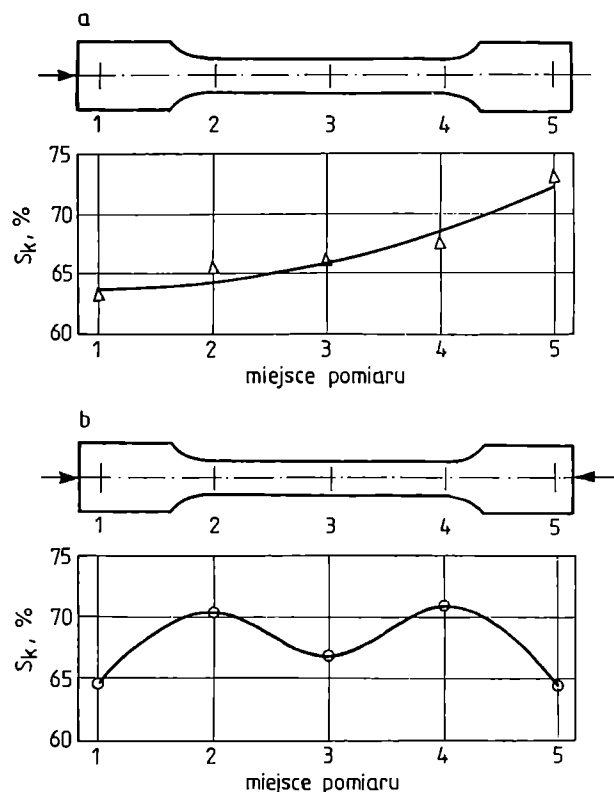
Zróznicowanie wartości  $S_k$  wzdłuż próbki może być również wynikiem nierównomiernego rozkładu temperatury tworzywa i naprężenia ścinającego. Maksymalne wartości temperatury i naprężenia występują w obszarach znajdujących się w pobliżu przewężki, natomiast minimalne — na przeciwnym końcu próbki.

Próbki uzyskane w wyniku doprowadzania tworzywa z dwóch stron gniazda formy wtryskowej również charakteryzują się mniejszym stopniem krystaliczności



Rys. 3. Struktury próbek PE-HD, typ 10262 A (DOW Chemicals) wtryskiwanych z dwóch stron gniazda formującego: a) powierzchnia zewnętrzna próbki w obszarze linii łączenia strumieni tworzywa, pow. 150x, b) przekrój poprzeczny, prostopadły do kierunku ewentualnego rozciągania próbki, pow. 2000x; 1 — nominalna linia łączenia strumieni tworzywa  
 Fig. 3. The structure of Dow's type 10262 HDPE specimens injected at both ends of the cavity: (a) specimen's external surface in the area of weld line (magnification, 150x), (b) specimen's cross section normal to the tensile bar axis (magnification, 2000x); 1 — nominal weld line

## PODSUMOWANIE



Rys. 4. Zmiana stopnia krystaliczności ( $S_k$ ) wzdłuż osi próbek wtryskiwanych w warunkach doprowadzania tworzywa do gniazda formy wtryskowej z jednej strony (a) lub jednocześnie z dwóch stron (b); 1—5 miejsca oznaczania stopnia krystaliczności

Fig. 4. The degree of crystallinity ( $S_k$ ) along the axis of specimen injected: (a) at one end; (b) simultaneously at the two ends of the cavity; 1—5 — points where  $S_k$  was determined

bezpośrednio za miejscem wtryskiwania (punkty 1 i 5, rys. 4b) oraz, dodatkowo, w środkowej części próbki (punkt 3). W środku próbki następuje bowiem zderzenie się strumieni tworzywa, wskutek czego powstaje nieuporządkowana struktura i obniża się stopień krystaliczności. Rozkład temperatury i naprężeń ścinających jest w tym przypadku inny niż w próbkach uzyskiwanych w warunkach doprowadzania tworzywa z jednej strony gniazda formującego. Minimalne wartości temperatury i naprężeń ścinających występują w środku próbki, a maksymalne na obydwu jej końcach, w pobliżu przewężek, co może także wpływać na stopień krystaliczności w poszczególnych miejscach wzdłuż osi próbki.

Wyniki przedstawionych badań wskazują na zróżnicowane właściwości w poszczególnych obszarach wtryskiwanych próbek otrzymywanych na drodze zarówno doprowadzania tworzywa z jednej, jak i z dwóch stron gniazda formującego.

W pierwszym z tych przypadków nie występują linie łączenia strumieni tworzywa, ale droga przepływu jest dłuższa, co wymaga stosowania większego ciśnienia wtryskiwania. Ponadto czas wypełniania gniazda jest również dłuższy, grubsza jest warstwa tworzywa ochładzanego od ścianek formy, a tym samym mniejszy staje się przekrój, przez który płynie tworzywo.

Doprowadzanie tworzywa z dwóch stron gniazda formującego powoduje skrócenie drogi płynięcia oraz czasu wypełniania gniazda. Wadą tego sposobu jest jednak powstawanie linii łączenia strumieni tworzywa. W obszarach, w których powstają takie linie występuje obniżenie stopnia krystaliczności próbki, co wiąże się także z pogorszeniem właściwości mechanicznych. Fakt ten należy uwzględnić podczas projektowania form wtryskowych na etapie przewidywania kolejności wypełniania poszczególnych miejsc w gnieździe formującym oraz miejsc łączenia strumieni tworzywa.

## LITERATURA

1. Mielewski D. F., Bauer D. R., Schmitz P. J., Van Oene H.: *Polym. Eng. Sci.* 1998, **38**, 2020.
2. Kim J. K., Song J. H., Chung S. T., Kwon T. H.: *Polym. Eng. Sci.* 1997, **37**, 228.
3. Seldén R.: *Polym. Eng. Sci.* 1997, **37**, 205.
4. „C-MOLD Design Guide. A Resource for Plastics Engineers”, C-MOLD Ithaca, Nowy Jork 1998, str. 336.
5. Zawistowski H., Frenkler D.: „Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych”, WNT, Warszawa 1984, str. 393.
6. Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”, WE, Warszawa 1993, str. 528.
7. Bociąga E.: *Advances in Manufacturing Science and Technology* 2000, **24**, 89.
8. Bociąga E.: *Polimery* 2000, **45**, 89.
9. Urbańczyk G. W.: „Mikrostruktura włókna”, WNT, Warszawa 1988, str. 207.

Otrzymano 11 VII 2000 r.