

ELŻBIETA BOCIĄGA

Politechnika Częstochowska
Instytut Obróbki Plastycznej Metali
i Tworzyw Sztucznych
Al. Armii Krajowej 21, 42-200 Częstochowa

Wpływ konstrukcji przewężki formy wtryskowej na wybrane właściwości wyprasek z polietylenu^{*)}

THE EFFECT OF INJECTION MOLD GATE CONSTRUCTION ON SELECTED PROPERTIES OF POLYETHYLENE MOLDINGS

Summary — Results of property measurements of test specimens are considerably affected by the method and by the conditions under which the material is injected into the mold. Mold design is of particular importance. The molded piece produced is reliable only when the mold is filled with a material introduced in the laminar flow mode. The mode of flow is affected by the way a molten polymer is conveyed into the mold and particularly by the shape, size and location of mold runners and gates (Figs. 1—7). Selected mechanical and thermal properties were examined for Borealis' HDPE injection molding specimens in relation to gate size. Test specimens were prepared by using an injection mold designed to meet the ISO 294-1:1996 requirements (Fig. 8) provided with interchangeable cavity plates to be mounted in the mold frame to produce test specimens varying in type. The gate inserts used with the line gates differed in thickness. The gate inserts used were 16 mm in width, 1 mm in length and 0.2, 0.7, 1.2, 1.7, 2.2, 2.7 or 3.2 mm in thickness. Gate thickness was found to affect considerably the mechanical and thermal properties of polyethylene (Figs. 9—15). As the gate thickness was increased, the tensile strength, yield stress, Young modulus, hardness and softening temperature decreased, whereas the impact strength and the unit strain at maximum tensile stress rose (Figs. 9—15).

Key words: high density polyethylene, injection molding, test specimens, gate thickness, mechanical and thermal properties.

We wcześniejszej pracy [1] omówiono różne metody stosowane do wykonywania próbek badawczych z tworzyw wielkocząsteczkowych (wtryskiwanie, prasowanie, odlewanie, obróbka mechaniczna) oraz zestawiono normy polskie i międzynarodowe, w których są podane szczegółowe warunki wykonywania takich próbek. Przedstawiono także wyniki badań różnych autorów wskazujące na istotny wpływ warunków danego procesu wytwarzania oraz kształtu i wymiarów próbek badawczych na rezultaty uzyskiwane w doświadczeniach. Znaczną jednak część próbek badawczych uzyskuje się metodą wtryskiwania — niejednokrotnie z zastosowaniem form wtryskowych o konstrukcji i technologii niezgodnej zarówno z zasadami, jak i z obowiązującymi normami — a także przy użyciu wtryska-

rek uniemożliwiających dokładną kontrolę przebiegu procesu wtryskiwania. Ponadto często nie są podawane dokładne warunki wtryskiwania, które, jak wiadomo, w dużym stopniu decydują o właściwościach wyprasek. Takie wykonanie próbek uniemożliwia więc uzyskanie poprawnych wyników badań.

W niniejszym artykule zostaną przedstawione wyniki prac własnych dotyczących ustalenia wpływu konstrukcji przewężki formy wtryskowej na ocenę niektórych właściwości mechanicznych i cieplnych badanych próbek.

Właściwości wtryskiwanych wyprasek zależą od wielu czynników, z których najważniejsze to [2—6]:

— rodzaj przetwarzanego tworzywa (np. jego budowa chemiczna, wymiary ziaren materiału wejściowego, właściwości reologiczne, struktura, zawartość tworzywa wtórnego, wilgotność, jednorodność);

— typ wtryskarki (np. możliwości przetwórcze, stan techniczny, wyposażenie dodatkowe);

^{*)} Artykuł zawiera rozszerzony tekst wykładu przedstawionego w ramach IV Profesorskich Warsztatów Naukowych "Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych", Kazimierz Dolny, 15—18 czerwca 1999 r.

— konstrukcja oraz technologia wykonania i montażu formy wtryskowej (np. liczba i układ gniazd formujących, przebieg płaszczyzn podziału, rozwiązanie układu przepływowego tworzywa, a zwłaszcza typ, położenie i wymiary przewęzek, technika regulacji temperatury, sposób odpowietrzania, sposób ustalania zespołów formy, układ wypychania wypraski, rodzaj materiału formy i dokładność jej wykonania, stopień zużycia formy);

— warunki wtryskiwania (np. temperatura i ciśnienie wtryskiwania, temperatura i ciśnienie w formie, ciśnienie docisku, prędkość wtryskiwania, czasy wtryskiwania, docisku i ochładzania wypraski, czas przerw).

Wszystkie te czynniki decydują o konstytuowaniu się w procesie wtryskiwania właściwości i struktury danego wytworu. Spośród wymienionych czynników szczególną rolę odgrywa konstrukcja formy wtryskowej. Warunkiem uzyskania poprawnej wypraski jest laminarne wypełnienie gniazda formującego, na co wpływa sposób wprowadzania ciekłego tworzywa do gniazda, zwłaszcza zaś kształt i wymiary oraz umiejscowienie kanałów doprowadzających i przewęzek [2, 5–8].

KONSTRUKCJA PRZEWĘZEK FORM WTRYSKOWYCH

Działanie przewężki polega na przemieszczeniu ciekłego rdzenia tworzywa, przepływającego częścią środkową kanału doprowadzającego, bezpośrednio do gniazda formującego; po jego wypełnieniu następuje zakrzepnięcie uniemożliwiające powrót tworzywa do kanału doprowadzającego. Zmniejszony przekrój poprzeczny przewężki powoduje spadek ciśnienia i wzrost prędkości tworzywa przepływającego. Na skutek tarcia wewnętrznego w samym ciekłym tworzywie oraz jego tarcia o ścianki przewężki następuje wydzielanie się ciepła, czego rezultatem jest spadek lepkości tworzywa, ułatwiający przepływ do gniazda formującego.

Wybór rozwiązania konstrukcyjnego przewężki oraz jej wymiarów i umiejscowienia wiąże się z konstrukcją wtryskiwanego przedmiotu i formy wtryskowej, wymaganiami dotyczącymi wyglądu wypraski, tolerancji jej wymiarów oraz kształtu i położenia, rodzajem przetwarzanego tworzywa, obecnością napelnacza oraz czynnikami ekonomicznymi (kosztami oprzyrządowania, czasem cyklu wtryskiwania, dopuszczalną ilością odpadów technologicznych itp.) [9, 10]. Konstrukcja przewężki powinna zapewniać szybkie i równomierne wypełnienie gniazda formującego. Charakter przepływu tworzywa zależy w istotnym stopniu od jej kształtu i wymiarów (przekroju poprzecznego i długości). Przekrój poprzeczny przewężki zazwyczaj jest mniejszy od przekroju poprzecznego kanału doprowadzającego i przylegającej do przewężki ścianki wypraski, co ułatwia oddzielenie przedmiotu od odpadu i zapewnia pozostawienie mało widocznych śladów na wyprasce. Wypełnienie gniazda formującego może następować

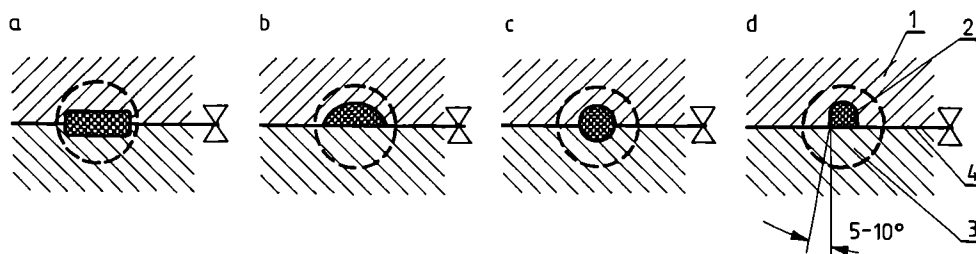
nawet w warunkach bardzo małego przekroju poprzecznego przewężki, a to ze względu na zmniejszoną lepkość ciekłego tworzywa. Jednak, gdy przekrój poprzeczny jest zbyt mały i równocześnie przewężka ma dużą długość, to na skutek znacznego tarcia może nastąpić nadmierny wzrost temperatury tworzywa i w konsekwencji niepożądane zjawiska degradacji cieplnej, objawiające się występowaniem na powierzchni wypraski ciemnych smug, odbarwień itp. W przypadku przewęzek o dużym przekroju poprzecznym, w których nagrzewanie spowodowane tarciami jest mniejsze, można zastosować mniejszą prędkość przepływu tworzywa i wyższe ciśnienie docisku; prowadzi to do większego stopnia uporządkowania strukturalnego tworzywa wypraski. Przewężki o dużych przekrojach poprzecznych są również konieczne wówczas, gdy jest wymagany mały skurcz przetwórczy i estetyczny wygląd wypraski.

Długość przewężki wpływa na spadek ciśnienia w gnieździe formującym. Przewężka powinna być możliwie krótka (długość 1,0–1,5 mm), przy czym należy uwzględnić wytrzymałość materiału formy [9, 11]. Autorzy opracowania [6] podają, że warunkiem zachowania drożności przewężki jest jej długość nie przekraczająca 1 mm. Taka długość zapewnia wystarczające nagrzanie się formy w obszarze przewężki i dostatecznie długi czas trwania fazy docisku.

Najczęściej przyjmuje się, że wysokość przewężki powinna wynosić od 50 do 80% grubości przylegającej do niej ścianki wypraski. W przypadku wyprasek oddzielanych ręcznie od odpadu technologicznego może być ona większa — nawet równa grubości ścianki wypraski; natomiast w razie oddzielania w formie powinna być mniejsza niż 80% grubości ścianki, ze względu na możliwość uszkodzenia wypraski podczas jej oddzielania od odpadu.

Przekrój poprzeczny przewężki zależy także od rodzaju przetwarzanego tworzywa. W przypadku tworzyw o strukturze bezpostaciowej, których skurcz objętościowy podczas przechodzenia z fazy ciekłej w stałą wynosi do 7%, przekrój poprzeczny przewężki powinien być mniejszy niż w odniesieniu do tworzyw o strukturze częściowo krystalicznej, charakteryzujących się skurczem do 18% [2]. Wypraski wykonane z tworzywa napelnionych włóknem również wymagają stosowania przewęzek o większym przekroju poprzecznym, aby zminimalizować możliwość uszkodzenia włókien podczas ich przepływu przez przewężkę [6].

Innym ważnym czynnikiem w konstrukcji przewężki jest jej zakończenie małym promieniem w gnieździe formującym. W chwili przepływania tworzywa z przewężki do gniazda formy, zewnętrzna warstwa ciekłego tworzywa odgina się na zaokrągleniu, co sprzyja wystąpieniu przepływu laminarnego; ze względu na lepkość sprężyste właściwości tworzywa następuje wówczas rozszerzenie strumienia. Gdy przewężka jest zakończona ostrymi krawędziami, to podczas rozszerzenia strumienia tworzywa zostaje przerwana jego war-

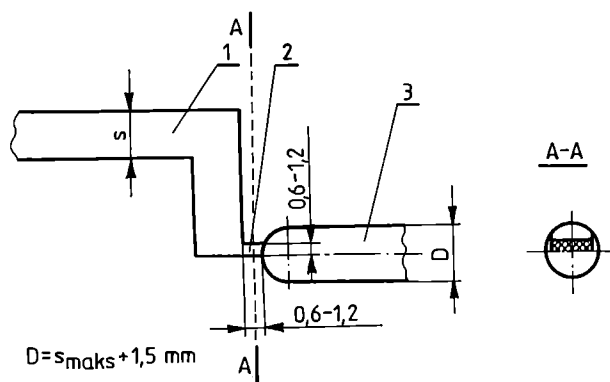


Rys. 1. Przekroje poprzeczne przewęzek punktowych: a) prostokątna, b) półokrągła, c) okrągła, d) okrągła pogłębiona w jednej części formy; 1 — płyta formująca, 2 — przewężka, 3 — kanał doprowadzający, 4 — płaszczyzna podziału formy [2]

Fig. 1. Pinpoint gate cross-section: (a) rectangular, (b) semicircular, (c) round, (d) round and deepened in one mold plate, 1 — mold plate, 2 — gate, 3 — runner, 4 — parting plane [2]

stwa zewnętrzna, a skutkiem tego może być przepływ nielaminarny [2, 10].

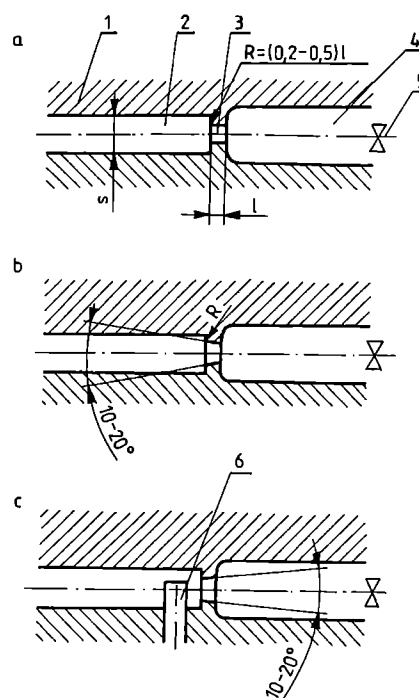
Przewężki można podzielić na dwie podstawowe grupy: punktowe i szczelinowe [2, 5, 7, 8]. Przewężki punktowe mogą mieć przekrój poprzeczny prostokątny, okrągły lub półokrągły, wykonany w obu częściach formy albo pogłębiony w jednej (rys. 1). Na rys. 2 podano wymiary przewęzek punktowych stosowanych w formach wielogniazdowych, zalecane przez autorów pracy [7].



Rys. 2. Wymiary (w mm) przewęzek punktowych stosowanych w formach wielogniazdowych: 1 — tworzywo zestalone w gnieździe formy, 2 — tworzywo zestalone w przewężce, 3 — tworzywo zestalone w kanale doprowadzającym, S — grubość ścianki wypraski, D — średnica kanału doprowadzającego [7]

Fig. 2. Multicavity mold pinpoint gate dimensions (mm): 1 — polymer solidified in cavity, 2 — polymer solidified in gate, 3 — polymer solidified in runner, S — molding wall thickness, D — runner diameter [7]

Przykłady kształtów przewęzek punktowych pokazuje rys. 3. W przewężkach walcowych odpowiednie wypływanie tworzywa osiąga się dzięki zaokrągleniu przejścia przewężki w gniazdo (rys. 3a). Przewężka rozbieżna (rys. 3b) również umożliwia właściwe rozprężanie strumienia tworzywa, natomiast zbieżna (rys. 3c) ułatwia odcięcie wypraski, ale wymaga podzielenia strumienia tworzywa, np. za pomocą specjalnie wprowadzonego trzpienia (6).



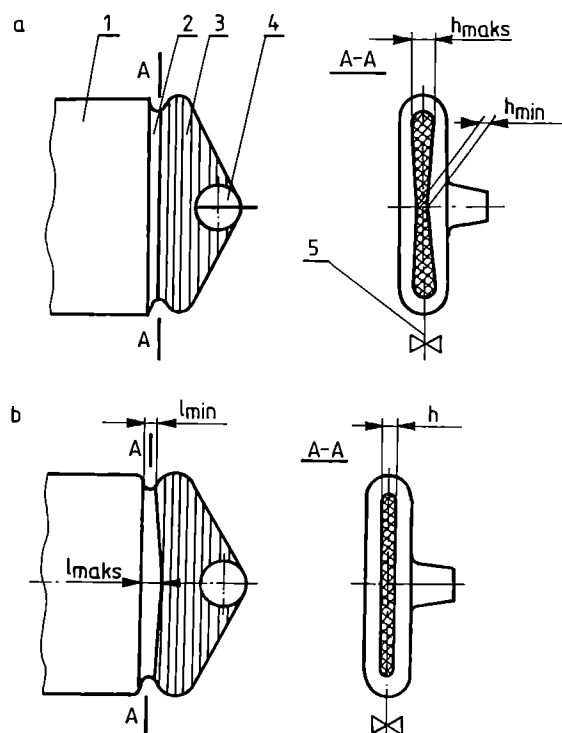
Rys. 3. Kształty przewęzek punktowych: a) walcowa, b) rozbieżna, c) zbieżna; 1 — płyta formująca, 2 — gniazdo formujące, 3 — przewężka, 4 — kanał doprowadzający, 5 — płaszczyzna podziału formy, S — wysokość gniazda formy, l — długość przewężki, R — promień przy przejściu przewężki w gniazdo [2]

Fig. 3. Pinpoint gate shapes: (a) — cylindrical, (b) divergent, (c) convergent; 1 — mold plate, 2 — mold cavity, 3 — gate, 4 — runner, 5 — parting plane, S — gate thickness, l — gate length, R — radius at gate-to-mold transition [2]

Przewężki szczelinowe, stanowiące drugą podstawową grupę, można podzielić na proste i pierścieniowe.

Przewężki szczelinowe proste stosuje się podczas wtryskiwania przedmiotów o dużych powierzchniach, wykazujących skłonność do odkształceń w przypadku wlewu bezpośredniego lub punktowego. Przykłady wyprasek uzyskanych z zastosowaniem takich przewęzek przedstawia rys. 4. Szerokość przewężki szczelinowej prostej jest zbliżona do szerokości wypraski. W

przypadku szerokich gniazd, w celu zapewnienia równomiernego ich wypełnienia, przewężka szczelinowa powinna mieć zmienną wysokość (rys. 4a) lub zmienną długość (rys. 4b). Może też mieć kształt dopasowany do kształtu obrzeża wypraski.



Rys. 4. Wypraski wtryskiwane z zastosowaniem przewężki szczelinowej prostej: a) o zmiennej wysokości (grubości), b) o zmiennej długości; 1 — wypraska, 2 — tworzywo zestalone w przewężce, 3 — tworzywo zestalone w kanale doprowadzającym, 4 — tworzywo zestalone w tulei wtryskowej, 5 — płaszczyzna podziału formy [2]

Fig. 4. Moldings produced by using film gates of (a) varying thicknesses, (b) varying lengths; 1 — molding, 2 — polymer solidified in gate, 3 — polymer solidified in runner, 4 — sprue, 5 — parting plane [2]

Przewężki szczelinowe pierścieniowe stosuje się do wtryskiwania wytworów typu rury, tulei, tarczy. Kanały doprowadzające mogą wówczas mieć kształt tarczy lub pierścienia. Wlew z kanałem tarczowym umożliwia równomierne wypełnienie gniazda, natomiast wlew pierścieniowy jest korzystniejszy w przypadku dużych wymiarów wyprasek, ze względu na mniejsze zużycie tworzywa.

W procesie wtryskiwania wyprasek powstaje odpad technologiczny, który stanowi tworzywo zestalone w kanałach przepływowych formy, tj. w kanale tulei wtryskowej, kanałach doprowadzających i przewężce. Odpad oddziela się od wypraski, przy czym proces ten może polegać bądź na przecięciu tworzywa zestalonego poza formą (za pomocą noża, obcęgow, piłki lub wykrojnika), bądź też na ścięciu albo oderwaniu two-

rywa zestalonego w przewężce, podczas otwierania formy lub wypychania wypraski [2, 9].

Rysunek 5 pokazuje wypraski wykonywane w formach wtryskowych z przewężkami o różnej konstrukcji, oddzielane od odpadu ręcznie, poza formą. Wypraski wtryskiwane w formach z automatycznym ścinaniem lub zrywaniem tworzywa zestalonego w przewężce, podczas otwierania formy lub wypychania wypraski, pokazano na rys. 6.

Oddzielnym zagadnieniem jest konstrukcja przewężek w formach z kanałami gorącymi, co zostało omówione m.in. w pracach [2, 3, 7–14]. Przewężki spełniają wówczas rolę zaworu odcinającego dopływ ciekłego tworzywa do gniazda formy. Rysunek 7 ilustruje przykłady konstrukcji takich przewężek.

Przedstawione informacje wskazują na konieczność uwzględnienia konstrukcji przewężek zarówno podczas projektowania formy wtryskowej, jak i oceny wtryskiwanej wypraski. W literaturze brak jest wyników badań dotyczących wpływu wymiarów przewężki na właściwości wyprasek, w związku z czym niniejsza praca dotyczy tego właśnie zagadnienia.

BADANIA WŁASNE

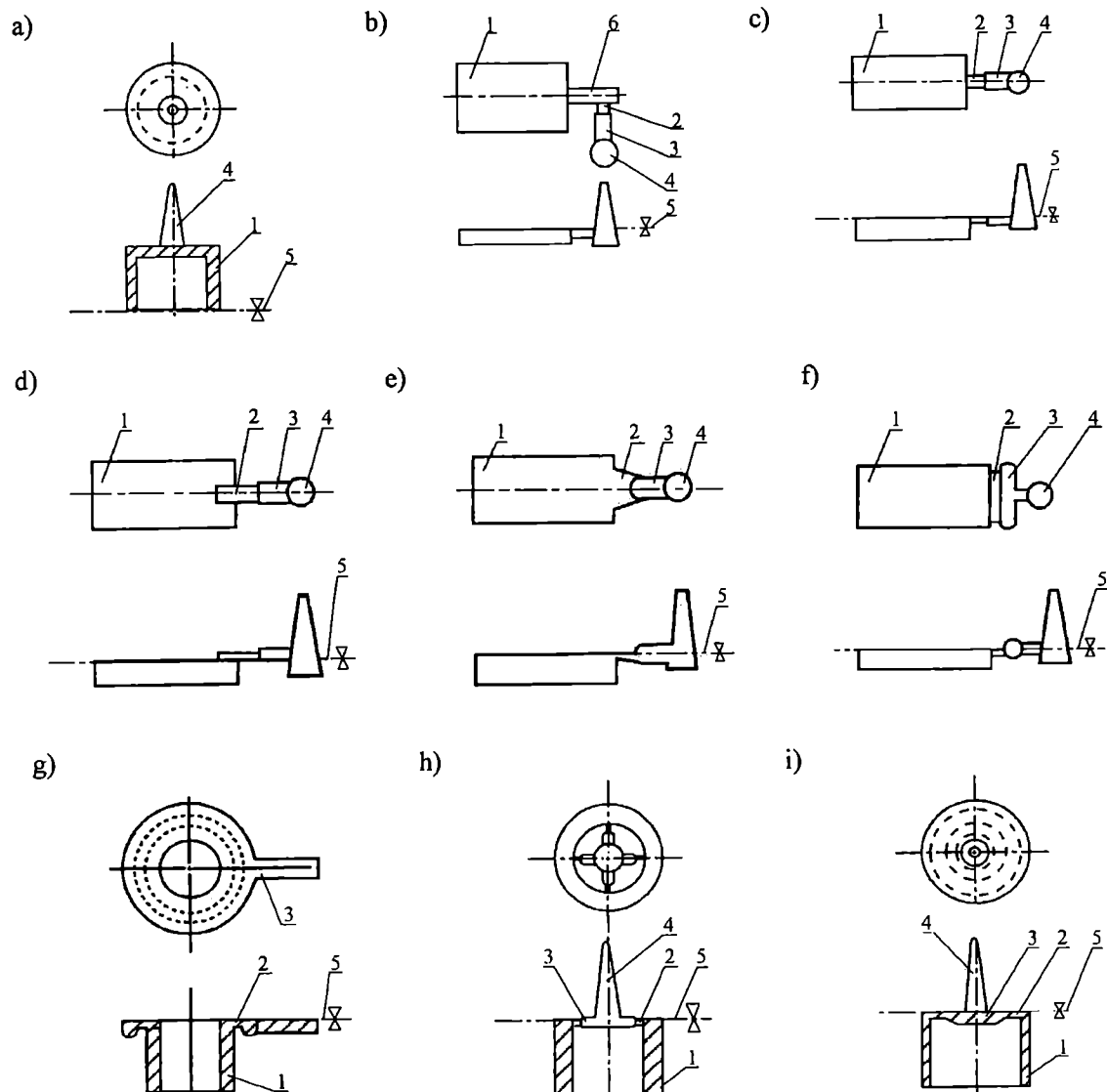
Sposób postępowania

Celem badań doświadczalnych było określenie wpływu konstrukcji przewężki szczelinowej na niektóre właściwości mechaniczne i cieplne próbek polietylenowych, uzyskiwanych metodą wtryskiwania.

Próbki do badań wtryskiwano za pomocą dwugniazdowej formy wtryskowej skonstruowanej i wykonanej we własnym zakresie, zgodnie z zaleceniami normy ISO 294-1:1996. Schemat tej formy przedstawia rys. 8. Jest ona zbudowana z korpusu (7), z układem wypychaczy (9). W korpusie, w części ruchomej, montuje się wymienną wkładkę formującą — matrycę (1), a w części nieruchomej — wkładkę formującą płaską (2).

T a b e l a 1. Dane techniczne wtryskarki KM65-160C1
T a b l e 1. Technical specification of the KM65-160C1 injection molding machine

Układ zamykania	
Siła zamykania	650 kN
Wymiary płyty mocowania formy	610 x 610 mm
Prześwit między kolumnami	405 x 405 mm
Droga otwierania formy	500 mm
Wysokość zamontowania formy	250 mm
Układ wtryskiwania	
Średnica ślimaka	30 mm
Stosunek L/D	23
Ciśnienie wtryskiwania	202,5 MPa
Objętość skokowa	74 cm ³
Ciężar wypraski (z PS)	68 g



Rys. 5. Wypraski uzyskiwane w formach wtryskowych z różnymi przewężkami, oddzielane od odpadu technologicznego ręcznie, poza formą: a) wlew bezpośredni, b) przewężka doprowadzona do nadlewu, c) krawędziowa, d) doprowadzona nad krawędź wypraski, e) wachlarzowa, f) szczelinowa z kanałem doprowadzającym tarczowym, g) szczelinowa z kanałem doprowadzającym pierścieniowym, h) krzyżowa (4-punktowa), i) szczelinowa prosta; oznaczenia 1—5 jak na rys. 4; 6 — nadlew [9]
 Fig. 5. Moldings manually trimmed out of the mold equipped with (a) direct gate, (b) tab gate, (c) edge gate, (d) overlap gate, (e) fan gate, (f) disk gate, (g) ring gate, (h) spoke gate, (i) film gate; see Fig. 4 for designations 1—5; 6 — tab [9]

Uchwyt (5) umożliwia łatwą i szybką wymianę wkładki formującej (1) poprzez jej wysunięcie z prowadnic (3), a dzięki temu niekłopotliwą zmianę typu wtryskiwanej próbki badawczej. W badaniach stosowano wkładkę formującą z gniazdam do wtryskiwania próbek typu 2 wg PN-EN ISO527:1998, w których montowano wymienne wstawki (4) z przewężkami różnej wysokości. Forma była termostatowana.

Formę zainstalowano we wtryskarce typu KM65—160C1 (firmy Krauss Maffei), która umożliwiała dokładne ustalenie i rejestrację warunków wtryskiwania. Ważniejsze dane techniczne wtryskarki zawiera tabela 1.

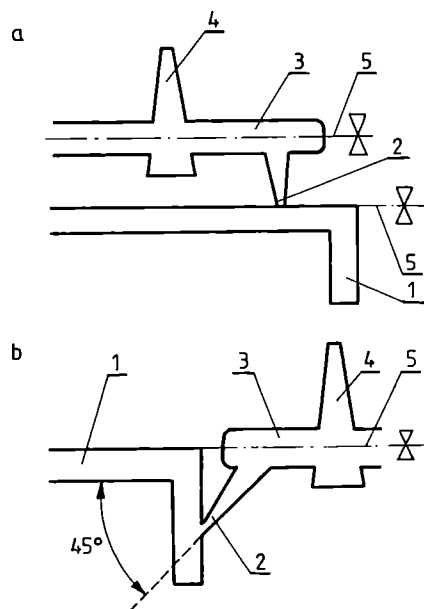
Próbki wykonano z polietylenu dużej gęstości PE-HD, firmy Borealis. Tworzywo jest oznaczone przez

producenta symbolem HE 2494 i charakteryzuje się następującymi właściwościami:

- masowy wskaźnik szybkości płynięcia (temp. 190°C/5,0 kg) 0,35 g/10 min,
- gęstość 953 kg/m³,
- zawartość wody 0,009%.

Warunki wtryskiwania próbek badawczych były następujące:

- temperatura wtryskiwania 220°C,
- ciśnienie wtryskiwania 120 MPa,
- ciśnienie docisku 80 MPa,
- temperatura formy 40°C,
- czas docisku 20 s,
- czas ochładzania 20 s,
- czas cyklu wtryskiwania 45 s,



Rys. 6. Wypraski uzyskiwane w formach z automatycznym oddzielaniem odpadu od wypraski, z przewężką a) trzpieniową, b) tunelową; oznaczenia 1—5 jak na rys. 4 [9]

Fig. 6. Molded pieces automatically trimmed in the mold equipped with (a) pin gate, (b) tunnel gate; see Fig. 4 for designations 1—5 [9]

— prędkość wtryskiwania 70 mm/s.

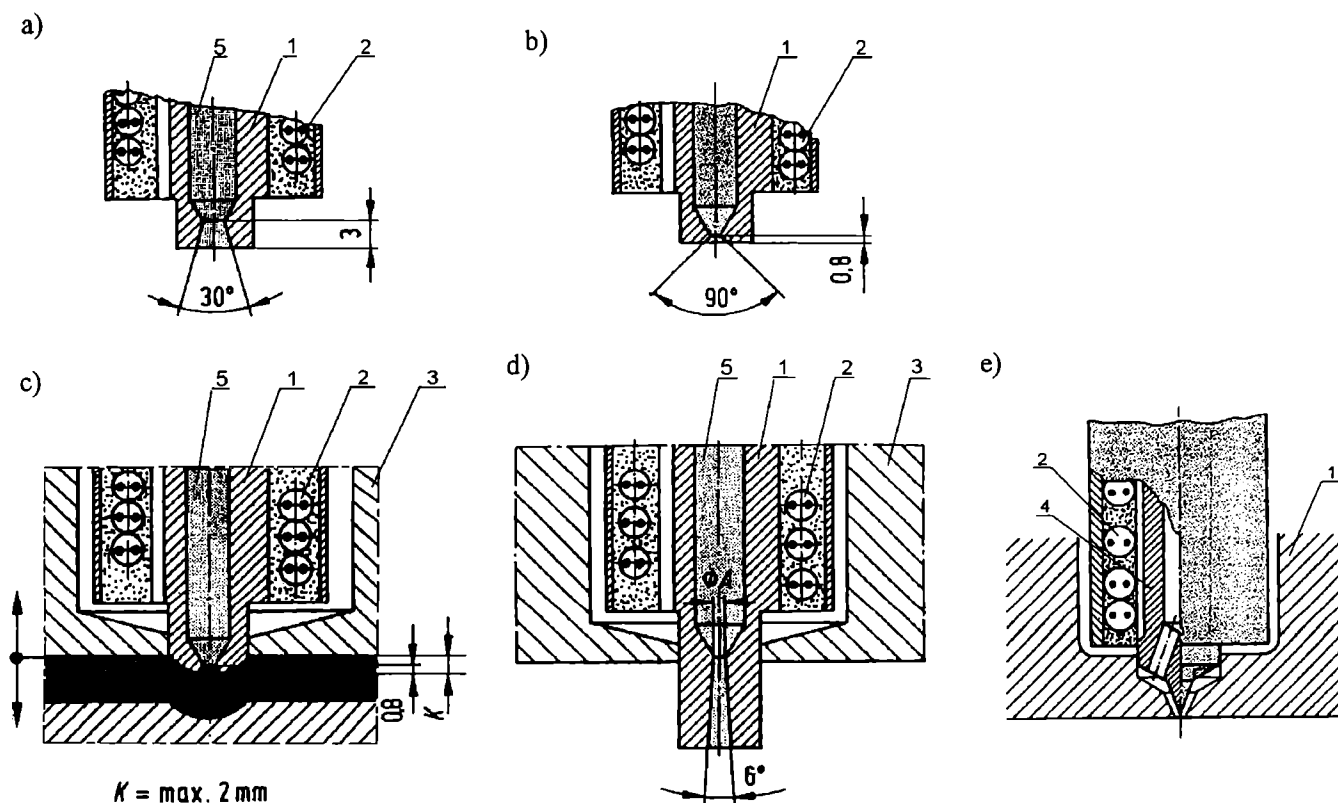
Po wtryskiwaniu próbki przetrzymywano w powietrzu o temp. $23 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej $50 \pm 5\%$, w ciągu co najmniej 16 h.

W badaniach stosowano wstawki do formy wtryskowej z przewężką szczelinową stałej szerokości 16 mm i długości 1 mm oraz zmiennej wysokości: 0,2; 0,7; 1,2; 1,7; 2,2; 2,7 i 3,2 mm.

W próbie jednoosiowego rozciągania próbek badawczych wyznaczano wytrzymałość na rozciąganie σ_M , naprężenie rozciągające przy odkształceniu 1% $\sigma_{1\%}$, moduł sprężystości przy rozciąganiu E , oraz wydłużenie względne przy maksymalnym naprężeniu rozciągającym ε_M zgodnie z normą PN-EN ISO527:1998. Twardość H określano metodą wciskania kulki, pod obciążeniem 132,4 N, wg PN-93/C-89030. Udamność z karbem a_k badano stosując próbki z karbem typu A (PN-81/C-89029). Temperaturę mięknięcia T_m oznaczano metodą Vicata (PN-93/C-89024).

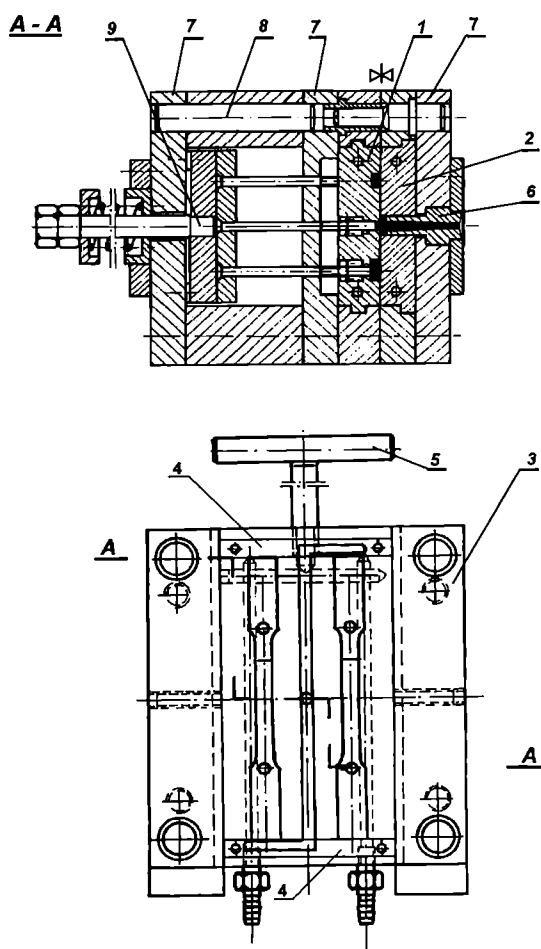
Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki badań przedstawione na rys. 9—15 wskazują na to, że wysokość przewężki wywiera istotny wpływ na właściwości PE-HD typu HE 2494.



Rys. 7. Przewężki stosowane w formach z doprowadzającymi kanałami gorącymi: a), b) przewężki punktowe stożkowe w dyszach otwartych, c) przewężka wpuszczona w zagłębienie w gnieździe formy, d) przewężka wydłużona, dostosowana do kształtu formy, e) końcówka dyszy igłowej ze stożkową przewężką punktową; 1 — obudowa z przewężką, 2 — grzejnik, 3 — korpus, 4 — tuleja zakończona igłą zamykającą, 5 — ciekłe tworzywo [7]

Fig. 7. Hot runner gates: (a, b) tapered pinpoint gates used in open nozzles, (c) gate sunk in cavity pocket, (d) elongated gate adjusted to mold shape, (e) needle nozzle with tapered pinpoint gate; 1 — housing and gate, 2 — heater, 3 — frame, 4 — bush ended with shut-off needle, 5 — polymer melt [7]

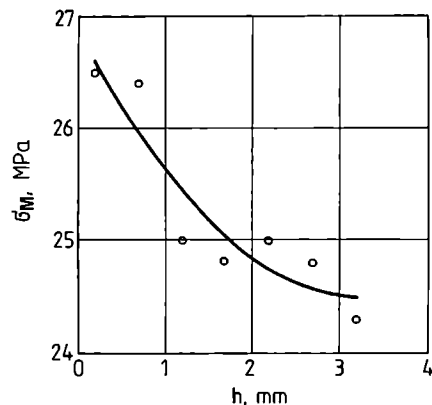


Rys. 8. Forma wtryskowa z wymiennymi wkładkami do wykonywania różnych typów próbek: 1 — wkładka formująca (matryca), 2 — wkładka formująca płaska, 3 — płyta mocująca wkładkę formującą, 4 — wstawki wymienne z przewężkami o różnej konstrukcji, 5 — uchwyt wkładki formującej, 6 — tuleja wtryskowa, 7 — płyty korpusu, 8 — elementy prowadzące (tuleje i kolumny), 9 — elementy mechanizmu usuwania wypraski (objaśnienia w tekście)

Fig. 8. Injection mold with interchangeable cavity plates for preparing test specimens of various types: 1 — cavity plate, 2 — mirror plate, 3 — mounting plate, 4 — interchangeable gate inserts, 5 — cavity plate holder, 6 — nozzle bush, 7 — moldbase plates, 8 — guide parts, 9 — ejectors (see main text for explanations)

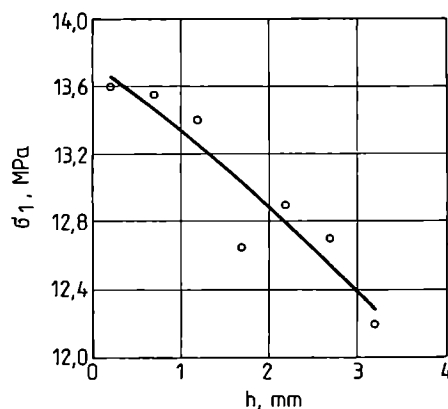
Ze wzrostem wysokości przewężki maleje więc wytrzymałość na rozciąganie (rys. 9). Próbkę wtryskiwaną z zastosowaniem najwyższej przewężki ($h = 3,2$ mm) charakteryzowały się mniejszą o ok. 9% wartością wytrzymałości na rozciąganie w porównaniu z próbkami wykonanymi przy użyciu przewężki wysokości 0,2 mm. Naprężenie rozciągające przy odkształceniu 1% również zmniejsza się ze wzrostem wysokości przewężki — od wartości 13,6 MPa w przypadku przewężki 0,2 mm do 12,2 MPa, gdy wysokość przewężki wynosi 3,2 mm (rys. 10).

Z rys. 11 widać natomiast, że wydłużenie względne przy maksymalnym naprężeniu rozciągającym ma w przypadku wyższych przewężek większą wartość:



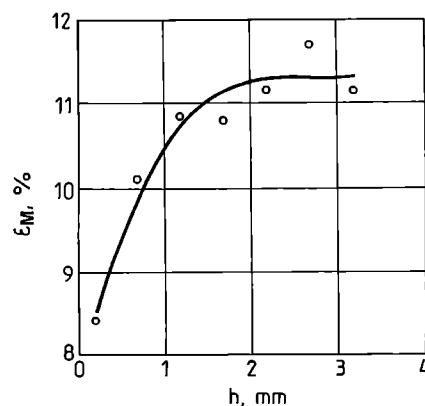
Rys. 9. Zależność maksymalnego naprężenia rozciągającego (σ_M) PE-HD od wysokości (h) przewężki

Fig. 9. HDPE tensile strength (σ_M) in relation to gate thickness (h)



Rys. 10. Zależność naprężenia przy umownej granicy plastyczności (σ_1) PE-HD od wysokości (h) przewężki

Fig. 10. HDPE yield stress (σ_1) in relation to gate thickness (h)



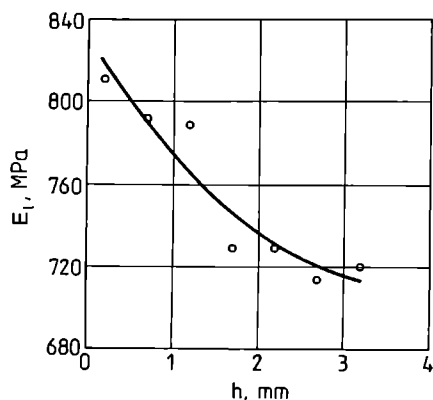
Rys. 11. Zależność wydłużenia względnego przy maksymalnym naprężeniu rozciągającym (ϵ_M) PE-HD od wysokości (h) przewężki

Fig. 11. HDPE unit strain at maximum tensile stress (ϵ_M) in relation to gate thickness (h)

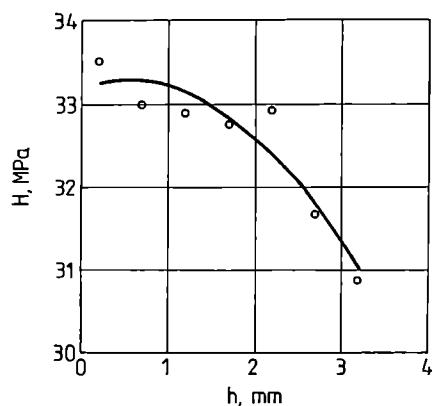
wydłużenie to wzrasta od 8,42% do 11,70% ze zwiększeniem wysokości przewężki odpowiednio od 0,2 mm do 3,2 mm.

Rysunek 12 ilustruje zmianę modułu sprężystości przy rozciąganiu. Wynika z niego, że mniejszej wysokości przewężek odpowiadają większe wartości tego modułu: próbki wtryskiwane za pomocą przewężki 3,2 mm mają moduł sprężystości przy rozciąganiu mniejszy o ponad 12% niż próbki uzyskane przy użyciu przewężki 0,2 mm.

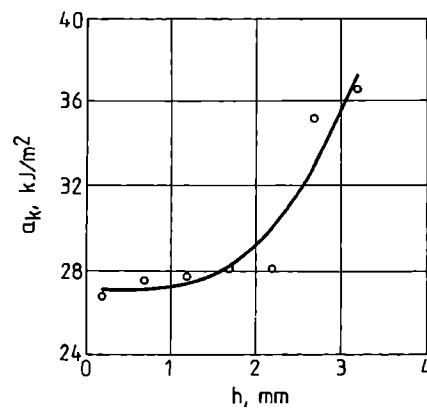
Ze wzrostem wysokości przewężki następuje zmniejszenie twardości próbek (o ok. 8% w całym zbadanym zakresie wysokości przewężki) oraz zwiększenie udarności z karbem o ok. 35% (odpowiednio, rys. 13 i 14). W badaniach udarności próbki nie pękały całkowicie, lecz ulegały zagięciu z częściowym przerwaniem spójności materiału. Warto zauważyć, że w przypadku mniejszych wysokości przewężek (w zakresie od 0,2 do



Rys. 12. Zależność współczynnika sprężystości wzdłużnej (E_1) PE-HD polietylenu od wysokości (h) przewężki
Fig. 12. Young's modulus (E_1) of HDPE in relation to gate thickness (h)



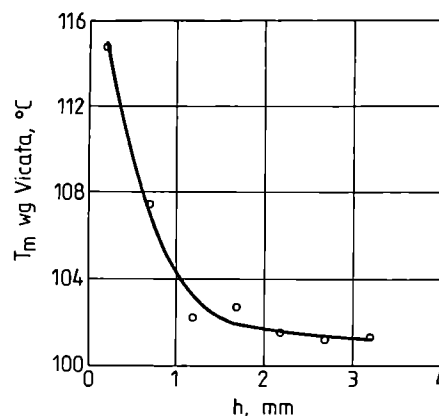
Rys. 13. Wpływ wysokości (h) przewężki na twardość (H) PE-HD
Fig. 13. HDPE hardness (H) in relation to gate thickness (h)



Rys. 14. Wpływ wysokości (h) przewężki na udarność z karbem (a_K) PE-HD

Fig. 14. Notched impact strength (a_K) of HDPE in relation to gate thickness (h)

2,2 mm) wpływ na obydwie omawiane właściwości jest niewielki, natomiast w przypadku wyższych przewężek (2,7 i 3,2 mm) następuje wyraźne zmniejszenie twardości oraz zwiększenie udarności próbek.



Rys. 15. Wpływ wysokości (h) przewężki na temperaturę mięknięcia wg Vicata (T_m) PE-HD

Fig. 15. Vicat softening temperature (T_m) of HDPE in relation to gate thickness (h)

Rysunek 15 przedstawia wpływ wysokości przewężki na temperaturę mięknięcia wg Vicata próbek PE-HD. Wartość temperatury mięknięcia próbek wtryskiwanych z zastosowaniem przewężki 3,2 mm była mniejsza o ok. 10% niż w przypadku przewężki 0,2 mm. Można też tutaj wyróżnić dwa zakresy zależności — w razie zastosowania wyższych przewężek (od 1,2 do 3,2 mm) — temperatura mięknięcia zmienia się w małym stopniu, natomiast w zakresie małych wysokości przewężek T_m przybiera znacznie wyższe wartości.

PODSUMOWANIE

Literatura dotycząca zagadnień konstrukcji form wtryskowych jest obszerna, jednak zawiera przede wszystkim dane potrzebne w procesie projektowania i wykonywania form, w tym również przewęzek, bez uzasadnienia fizykalnego lub też z podaniem niewystarczających informacji.

Wyniki przedstawione w niniejszym artykule wskazują na to, że próbki PE-HD mają lepsze właściwości mechaniczne i cieplne oraz gorsze właściwości plastyczne wówczas, gdy są wykonane przy użyciu przewęzek o mniejszej wysokości. W przypadku przewęzek o bardzo małej wysokości, co zapewnia łatwe oddzielenie wypraski od odpadu, występuje większe zaburzenie przepływu tworzywa i wzrasta prawdopodobieństwo jego degradacji mechanicznej. Skutkiem tego może być wzrost tarcia i temperatury oraz zmiany strukturalne: tworzywo staje się sztywniejsze i twardsze oraz bardziej odporne na podwyższoną temperaturę. Gdy więc od wytworów z tworzyw wymaga się dobrej udarności, wówczas podczas wtryskiwania korzystniejsze jest stosowanie wyższych przewęzek.

W przypadku przewęzek o dużych przekrojach poprzecznych, przechłodzona warstwa przyścienna tworzywa z kanału doprowadzającego przemieszcza się do gniazda formującego, ponieważ nie napotyka ona na dostatecznie dużą powierzchnię styku w dnie kanału. Efektem tego może być niejednorodność tworzywa wypraski i pogorszenie właściwości wytrzymałościowych.

Wpływ wysokości przewężki na właściwości polietylenu może również wynikać ze zmiany prędkości i ciśnienia tworzywa ciekłego podczas przepływu przez przewężkę do gniazda formującego oraz ze zmian w strukturze tworzywa. Zagadnienia te są tematem dalszych badań.

Odniesienie omówionych wyników doświadczalnych do danych z literatury jest na razie niemożliwe, ponieważ nie znaleziono odpowiednich danych. W literatu-

rze natrafiono jedynie na ogólne stwierdzenia świadczące o istotnym wpływie kształtu i wymiarów przewężki na właściwości wyprasek.

LITERATURA

1. Bociąga E.: *Polimery* 1999, **44**, 198.
2. Zawistowski H., Frenkler D.: "Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych", WNT, Warszawa 1984, str. 393.
3. Praca zbiorowa: "TS-1. Podstawy konstrukcji nowoczesnych form wtryskowych", Plastech, Warszawa 1992, str. 296.
4. Sikora R.: "Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych", WE, Warszawa 1993, str. 528.
5. Smorawiński A.: "Technologia wtrysku", WNT, Warszawa 1989, str. 460.
6. Poppe E. A., Leidig K., Schirmer K.: *TS Raport* 1999, **9**, 38.
7. Menning G.: "Werkzeuge für die Kunststoff-Verarbeitung", Carl Hanser Verlag, Monachium — Wiedeń 1995.
8. Stoeckhert K.: "Werkzeugban für die Kunststoff-Verarbeitung", Carl Hanser Verlag, Monachium — Wiedeń 1979.
9. "C-MOLD Design Guide. A Resource for Plastics Engineers", C-MOLD Ithaca, Nowy Jork 1998, str. 336.
10. Zbiór referatów: "Anguss- und Anschnitt Probleme beim Spritzgiessen", VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1975.
11. Bown J.: "Injection Moulding of Plastic Components. A Guide to Efficiency, Fault Diagnosis and Cure", McGraw-Hill, Londyn 1979.
12. Frenkler D., Zawistowski H.: "Gorące kanały w formach wtryskowych", Plastech, Warszawa 1998, str. 236.
13. Braun P.: *Kunststoffe* 1998, **88**, 2002.
14. Wippenbeck P.: *Kunststoffe* 1999, **89**, 111.