

KRZYSZTOF WILCZYŃSKI,
ZBIGNIEW SZYMANIAK, ANDRZEJ NASTAJ

Politechnika Warszawska
Instytut Technologii Materiałowych
Zakład Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych
ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa

Badanie za pomocą systemu POLYFLOW wpływu warunków przepływu na rozszerzanie strugi polimerów

THE POLYFLOW SYSTEM STUDIES ON THE EFFECT OF FLOW CONDITIONS ON THE EXTRUDATE SWELL

Summary — The POLYFLOW techniques were applied to model the polymer stream (Barrus effect, free surface problem) that leaves the shaping channel, *e.g.*, an extruder head, in an isothermal viscous and in a viscoelastic flow. The viscous Newtonian and generalized Newtonian (in terms of Bird-Carreau's model) flows and the viscoelastic flow were modeled, the latter by using the differential Maxwell and the integral Kaye—Bernstein—Kearsley—Zapas (KBKZ) models. Extrudate swell was studied in relation to polymer flow rate, shaping-channel geometry, and material model (Figs. 6—9). Results were in fair agreement with experimental data. The simple (two-parameter) Maxwell equation proved to be the most suitable rheological equation to model the extrudate swell, except at high flow rates where some limitations arise.

Key words: viscous flow, viscoelastic flow, isothermal conditions, extrudate swell, modeling, POLYFLOW system.

Kształtowanie powierzchni swobodnych ma bardzo duże znaczenie w przetwórstwie tworzyw; występuje ono m.in. w procesach wytłaczania, wytłaczania z rozdmuchiwaniami lub formowania próżniowego. Jedną z metod wspomaganego projektowania tych procesów stanowi modelowanie komputerowe. Duże możliwości w tym zakresie ma system POLYFLOW [1].

Podstawy działania tego systemu oraz jego strukturę opisaliśmy w [2, 3]. W pracy [4] rozważyliśmy jeden z podstawowych problemów kształtowania powierzchni swobodnych, mianowicie modelowanie zjawiska rozszerzania strugi tworzywa wypływającej z kanału formującego, np. kapilary reometru, głowicy wytłaczarki itp. Problem ten rozpatrzyliśmy w odniesieniu do izotermicznego przepływu uogólnionych cieczy newtonowskich. W pracy [5] podjęliśmy temat modelowania problemu odwrotnego do zagadnienia rozszerzania strugi. Polega on na poszukiwaniu charakterystyki geometrycznej kanału formującego w odniesieniu do zadanej charakterystyki geometrycznej powierzchni swobodnej. Problem ten rozważyliśmy również w odniesieniu do izotermicznego przepływu uogólnionych cieczy newtonowskich.

W niniejszym artykule przedstawiliśmy wyniki symulacyjnego badania wpływu warunków przepływu tworzywa (natężenia przepływu, charakterystyki geometrycznej kanału formującego oraz modelu reologicz-

nego materiału) na zjawisko rozszerzania strugi. Problem ten rozważyliśmy w odniesieniu zarówno do przepływów lepkich, jak i lepkosprężystych, w warunkach izotermicznych.

ZJAWISKO ROZSZERZANIA STRUGI TWORZYWA

Zjawisko rozszerzania strugi tworzywa wypływającej z kanału formującego, np. głowicy wytłaczarskiej (zwane niekiedy efektem Barusa) ma bardzo duże znaczenie w przetwórstwie tworzyw [6]. Stopień występowania tego zjawiska jest, jak wiadomo, definiowany zwykle stosunkiem określonego wymiaru strugi do odpowiadającego mu wymiaru kanału i zależy m.in. od warunków przepływu. Na rozszerzanie strugi istotny wpływ wywierają właściwości lepkosprężyste materiału oraz ciężar cząsteczkowy i jego rozkład. Większe rozszerzanie obserwuje się w przypadku materiałów lepkosprężystych niż lepkich. Stopień rozszerzania zależy też od natężenia oraz warunków termicznych przepływu tworzywa, które w złożony sposób oddziałują na mechanizmy wywołujące omawiane zjawisko. Wreszcie, istotną rolę odgrywa tu też charakterystyka geometryczna kanału przepływu; w przypadku kanałów o małym stosunku długości kanału do średnicy rozszerzenie jest większe.

Obserwowany w przypadku polimerów stopień rozszerzania strugi (B) jest bardzo duży. Zwykle mieści się on w przedziale $B = 1,5\text{--}2,5$, chociaż niekiedy może osiągać wartości $B = 4$, a nawet większe.

Mechanizm powstawania zjawiska rozszerzania strugi polimerów oraz wpływ różnych czynników na wartość B jest bardzo złożony i został opisany w pracy [4]. Tutaj przypomnimy tylko, że możemy wyróżnić w tym zjawisku cztery podstawowe mechanizmy: rozszerzanie newtonowskie, natychmiastowe powrotne odkształcenie sprężyste, odkształcenie niesprężyste wynikające z warunków cieplnych oraz odkształcenie wynikające z relaksacji naprężeń. Tak więc można zapisać, że:

$$B_{\infty} = B_{\text{newot}} + B_{\text{spr}} + B_{\text{nspr}} + B_{\text{rel}} \quad (1)$$

gdzie: B_{∞} — stopień rozszerzania strugi w stanie równowagi ($t = \infty$), t — czas, B_{newot} — składowa newtonowska, B_{spr} — składowa sprężysta, B_{nspr} — składowa niesprężysta (termiczna), B_{rel} — składowa relaksacji naprężeń.

METODYKA MODELOWANIA

Jak to już przedstawiliśmy w [2], system POLYFLOW składa się z kilku wzajemnie zależnych programów (modułów) służących do wprowadzania danych, wykonywania obliczeń i prezentowania wyników. Ogólnie biorąc, modelowanie za pomocą tego systemu polega na zdefiniowaniu charakterystyki geometrycznej rozpatrywanego przepływu i założeniu siatki elementów skończonych (moduły POLYMESH_2D i POLYMESH_3D), następnie — na wprowadzeniu danych dotyczących właściwości materiału i warunków przepływu: brzegowych oraz początkowych (moduł POLYDATA), i w końcu — na wykonaniu obliczeń (moduł POLYFLOW) oraz przetworzeniu i prezentowaniu wyników (moduły POLYPLOT i 3D_CROSS).

Powtórzmy za [4], że podstawowym modulem modelowania w systemie POLYFLOW jest moduł POLYDATA, w którym opisuje się rozpatrywany problem. Modelowanie polega tutaj na określeniu warunków brzegowych i początkowych dotyczących równania ruchu i równania energii. Zasady ogólnego definiowania problemu są wspólne dla różnych typów przepływu, natomiast reguły określania warunków brzegowych i początkowych zmieniają się w zależności od rozpatrywanego zagadnienia.

Metodykę modelowania zjawiska rozszerzania strugi przedstawiliśmy w pracy [4]. Tutaj przypomnimy tylko, że podstawą modelowania tego zjawiska jest wyróżnienie w rozpatrywanym obszarze przepływu dwóch podobszarów: ustalonego i ruchomego. W obszarze ruchomym jedna z granic — powierzchnia swobodna — nie jest zdefiniowana i stanowi część rozwiązania zadania.

Rozpatrywany problem jest ograniczony pięcioma granicami i jego rozwiązanie wymaga określenia pięciu różnych warunków brzegowych na tych granicach, tj. na:

- wlocie do kanału,
- wylocie z kanału,

- ściance kanału,
- powierzchni swobodnej oraz
- płaszczyźnie symetrii (lub osi symetrii w przypadku problemu osiowosymetrycznego).

Warunki brzegowe odnoszące się do równania ruchu zostały zdefiniowane w pracy [5].

BADANIE WYBRANYCH PRZEPŁYWÓW LEPKICH I LEPKOSPŘĘŻYSTYCH

Program badań

Program badań obejmował badanie przepływów lepkich i lepkosprężystych w różnych warunkach przepływu. Warunki te były określone przez:

- model materiału,
- charakterystykę geometryczną kanału,
- natężenie przepływu.

Modele materiału

Rozpatrzono cztery modele materiału [1]:

a) Model newtonowski:

$$\tau = \eta_0 \cdot 2D \quad (2)$$

gdzie: τ — tensor ekstra-naprężenia, η_0 — lepkość newtonowska, D — tensor prędkości odkształcenia.

W badaniach przyjęto wartość lepkości wynoszącą $\eta_0 = 700 \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

b) Uogólniony model newtonowski (tzn. o lepkości zależnej od szybkości ścinania) Birda—Carreau^{*)}:

$$\tau = \eta(\dot{\gamma}_D) \cdot 2D \quad (3)$$

$$\eta(\dot{\gamma}_D) = \eta_0 [1 + (\lambda \dot{\gamma}_D)^2]^{(n-1)/2} \quad (4)$$

gdzie: τ — tensor ekstra-naprężenia, $\eta(\dot{\gamma}_D)$ — funkcja lepkości, $\dot{\gamma}_D$ — uogólniona szybkość ścinania, η_0 — lepkość zerowa, λ — stała czasowa, n — wykładnik.

W badaniach przyjęto następujące wartości parametrów modelu:

$$\eta_0 = 5200 \text{ Pa} \cdot \text{s}, \lambda = 0,32 \text{ s}, n = 0,64.$$

c) Różniczkowy model lepkosprężysty Maxwella:

$$\tau + \lambda \overset{\nabla}{\tau} = \eta_0 \cdot 2D \quad (5)$$

gdzie: τ — tensor ekstra-naprężenia; $\overset{\nabla}{\tau}$ — wyższa pochodna konwekcyjna Oldroyda tensora τ ; λ , η_0 — odpowiednio, stałe parametry materiałowe czasu relaksacji i lepkości zerowej; D — tensor prędkości odkształcenia.

W badaniach przyjęto następujące wartości parametrów modelu^{**)}: $\eta_0 = 700 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $\lambda = 1 \text{ s}$.

^{*)} W programie POLYFLOW [1] równanie (4) nosi nazwę równania Birda—Carreau. Równanie to zostało zaproponowane przez Carreau i pod taką nazwą funkcjonuje ono też w części literatury.

^{**)} W modelach (a)—(c) stałe materiałowe przyjęto arbitralnie.

d) Całkowy model lepkosprężysty KBKZ (Kaye-Bernstein-Kearsley-Zapas)^{*)}:

$$\tau = \int_{-\infty}^t M(t-t') S(t') dt' \quad (6)$$

$$M(t-t') = \sum_{k=1}^n \frac{\eta_k}{\lambda_k^2} \exp\left(-\frac{t-t'}{\lambda_k}\right) \quad (7)$$

$$S(t') = \varphi(I_1, I_2) C^{-1} \quad (8)$$

$$\varphi(I_1, I_2) = \frac{a}{(a-3) + bI_1 + (1-b)I_2} \quad (9)$$

gdzie: τ — tensor ekstra-naprężenia; $M(t-t')$ — funkcja pamięci; $S(t')$ — tensorowa funkcja odkształcenia; t — czas aktualny; t' — czas bieżący; η_k — współczynnik lepkości; λ_k — czas relaksacji; $\varphi(I_1, I_2)$ — funkcja tłumienia; I_1, I_2 — pierwsze niezmienniki tensorów odkształcenia Cauchy i Fingera; C^{-1} — tensor odkształcenia Fingera; a, b — parametry funkcji tłumienia.

W badaniach przyjęto następujące wartości parametrów modelu:

$\eta_1 = 529 \text{ Pa}\cdot\text{s}$	$\lambda_1 = 0,002688 \text{ s}$
$\eta_2 = 1059 \text{ Pa}\cdot\text{s}$	$\lambda_2 = 0,01593 \text{ s}$
$\eta_3 = 3009 \text{ Pa}\cdot\text{s}$	$\lambda_3 = 0,08661 \text{ s}$
$\eta_4 = 6665 \text{ Pa}\cdot\text{s}$	$\lambda_4 = 0,4837 \text{ s}$
$\eta_5 = 12\,448 \text{ Pa}\cdot\text{s}$	$\lambda_5 = 2,773 \text{ s}$
$\eta_6 = 33\,027 \text{ Pa}\cdot\text{s}$	$\lambda_6 = 20,2 \text{ s}$
$a = 14,38$	$b = 0,018$

Charakterystyka geometryczna kanału

Badania przeprowadzono w odniesieniu do przepływu przez kanał cylindryczny o różnych stosunkach długości do średnicy, mianowicie: $L/D = 0,6$; $L/D = 6,0$ lub $L/D = 18,0$.

Natężenie przepływu

W badaniach przyjęto następujące wartości natężenia przepływu^{**)}:

$Q = 1 \text{ cm}^3/\text{s}$	$(\dot{\gamma} \cong 0,1 \text{ s}^{-1})$
$Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$	$(\dot{\gamma} \cong 1 \text{ s}^{-1})$
$Q = 100 \text{ cm}^3/\text{s}$	$(\dot{\gamma} \cong 10 \text{ s}^{-1})$

Sformułowanie problemu badań

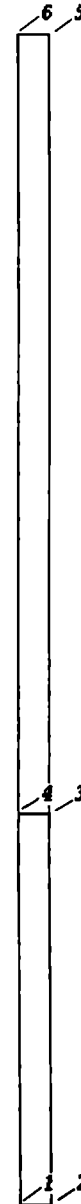
Odpowiednio do przedstawionego programu badań, sformułowaliśmy cztery różne problemy badań, zdefiniowane w następujący sposób:

- ustalony, 2D osiowosymetryczny, izotermiczny, przepływ newtonowski (Newtona, N);
- ustalony, 2D osiowosymetryczny, izotermiczny,

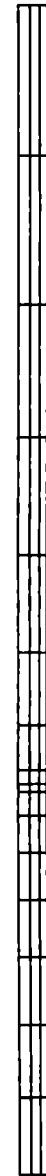
uogólniony przepływ newtonowski (Birda—Carreau, BC);

c) ustalony, 2D osiowosymetryczny, izotermiczny, przepływ lepkosprężysty różniczkowy (Maxwella, M);

d) ustalony, 2D osiowosymetryczny, izotermiczny, przepływ lepkosprężysty całkowy (KBKZ).



Rys. 1



Rys. 2

Rys. 1. Charakterystyka geometryczna przepływu osiowosymetrycznego i warunki brzegowe, w odniesieniu do kanału o stosunku $L/D = 6$: 1, 2 — wlot; 2, 3 — ścianka kanału; 1, 4, 6 — płaszczyzna symetrii; 3, 5 — powierzchnia swobodna; 5, 6 — wylot

Fig. 1. The geometry of axisymmetric flow and the boundary conditions of a $L(\text{length})/D(\text{iameter}) = 6$ channel: 1, 2 — inflow, 2, 3 — channel wall, 1, 4, 6 — symmetry plane, 3, 5 — free surface, 5, 6 — outflow

Rys. 2. Początkowa siatka elementów skończonych
Fig. 2. The finite-element initial mesh

*) W programie POLYFLOW [1] równanie KBKZ występuje w postaci (6)—(9), zaproponowanej przez Papaniastasiou, Scrivena i Macosko. Równanie to jest obszernie opisane w fundamentalnej pracy Birda i innych [7].

**) W nawiasach podano wartości newtonowskiej szybkości ścinania na ścianie kanału $\dot{\gamma}_N = 4Q/\pi R^3$, gdzie R — promień kanału.

Wyniki

Charakterystykę geometryczną rozpatrywanego przepływu osiowosymetrycznego i warunki brzegowe



Rys. 3

Rys. 3. Siatka wynikowa (zdeformowana) dotycząca kanału o stosunku $L/D = 0,6$ w warunkach natężenia przepływu $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Fig. 3. The finite-element final mesh (deformed) for an $L/D = 0,6$ channel at flow rate $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$



Rys. 4

Rys. 4. Siatka wynikowa (zdeformowana) dotycząca kanału o stosunku $L/D = 6$ w warunkach natężenia przepływu $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Fig. 4. The finite-element final mesh (deformed) for an $L/D = 6$ channel at flow rate $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$



Rys. 5

Rys. 5. Siatka wynikowa (zdeformowana) dotycząca kanału o stosunku $L/D = 18$ w warunkach natężenia przepływu $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Fig. 5. The finite-element final mesh (deformed) for an $L/D = 18$ channel at flow rate $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Rys. 5. Siatka wynikowa (zdeformowana) dotycząca kanału o stosunku $L/D = 18$ w warunkach natężenia przepływu $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Fig. 5. The finite-element final mesh (deformed) for an $L/D = 18$ channel at flow rate $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Rys. 5. Siatka wynikowa (zdeformowana) dotycząca kanału o stosunku $L/D = 18$ w warunkach natężenia przepływu $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Fig. 5. The finite-element final mesh (deformed) for an $L/D = 18$ channel at flow rate $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Rys. 5. Siatka wynikowa (zdeformowana) dotycząca kanału o stosunku $L/D = 18$ w warunkach natężenia przepływu $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Fig. 5. The finite-element final mesh (deformed) for an $L/D = 18$ channel at flow rate $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Rys. 5. Siatka wynikowa (zdeformowana) dotycząca kanału o stosunku $L/D = 18$ w warunkach natężenia przepływu $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Fig. 5. The finite-element final mesh (deformed) for an $L/D = 18$ channel at flow rate $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Rys. 5. Siatka wynikowa (zdeformowana) dotycząca kanału o stosunku $L/D = 18$ w warunkach natężenia przepływu $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

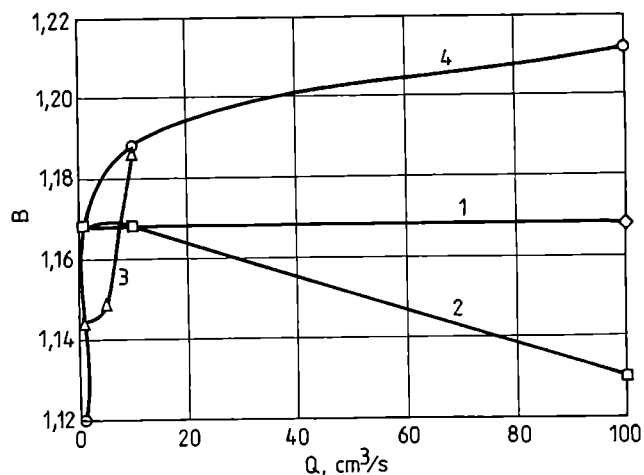
Fig. 5. The finite-element final mesh (deformed) for an $L/D = 18$ channel at flow rate $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Rys. 5. Siatka wynikowa (zdeformowana) dotycząca kanału o stosunku $L/D = 18$ w warunkach natężenia przepływu $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

Fig. 5. The finite-element final mesh (deformed) for an $L/D = 18$ channel at flow rate $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$

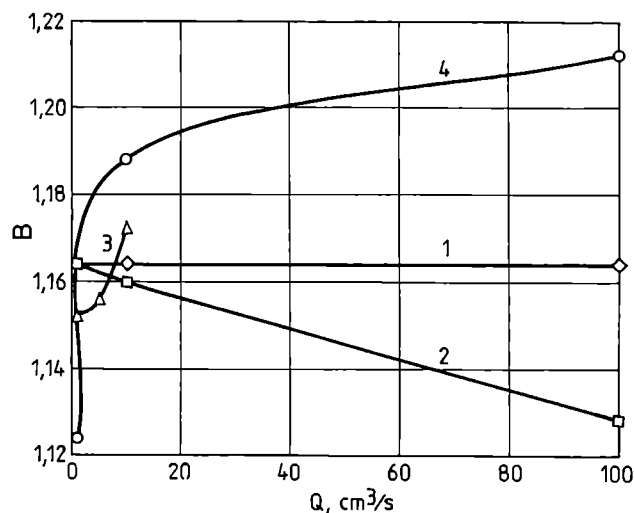
przedstawiliśmy na rys. 1 w odniesieniu do kanału o stosunku $L/D = 6$. Na rysunku 2 pokazaliśmy początkową siatkę elementów skończonych tego kanału.

Rysunki 3—5 przedstawiają siatki wynikowe (zdeformowane) stanowiące rezultaty obliczeń i dotyczące trzech rozpatrywanych przez nas charakterystyk geo-



Rys. 6. Wpływ natężenia przepływu Q na stopień rozszerzenia strugi B podczas przepływu przez kanał o stosunku $L/D = 0,6$ w odniesieniu do różnych modeli materiału: 1 — model Newtona, 2 — model Birda—Carreau, 3 — model Maxwella, 4 — model KBKZ

Fig. 6. The extrudate swell (B) in the flow through an $L/D = 0,6$ channel in relation to flow rate (Q), as evaluated with various material models: 1 — Newton, 2 — Bird—Carreau, 3 — Maxwell, 4 — KBKZ

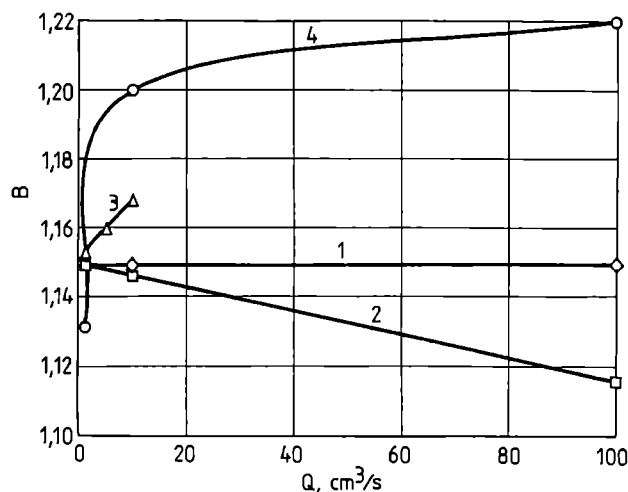


Rys. 7. Wpływ natężenia przepływu Q na stopień rozszerzenia strugi B podczas przepływu przez kanał o stosunku $L/D = 6$ w odniesieniu do różnych modeli materiału; oznaczenie krzywych jak na rys. 6

Fig. 7. The extrudate swell (B) in the flow through an $L/D = 6$ channel in relation to flow rate (Q), as evaluated with various models (curve symbols as in Fig. 6)

metrycznych: $L/D = 0,6$; $L/D = 6$ i $L/D = 18$ (w warunkach natężenia przepływu Q wynoszącego $10 \text{ cm}^3/\text{s}$).

Na rysunkach 6—8 przedstawiliśmy wpływ natężenia przepływu Q na stopień rozszerzenia strugi B podczas przepływu przez kanały o różnym stosunku L/D . Niezależnie od wartości tego stosunku, charakter zależności stopnia rozszerzenia strugi od natężenia przepływu jest w odniesieniu do określonego modelu



Rys. 8. Wpływ natężenia Q na stopień rozszerzania strugi B podczas przepływu przez kanał o stosunku $L/D = 18$ w odniesieniu do różnych modeli materiału; oznaczenie krzywych jak na rys. 6

Fig. 8. The extrudate swell (B) in the flow through an $L/D = 18$ channel in relation to flow rate (Q), as evaluated with various models (curve symbols as in Fig. 6)

cieczy niezmienny.

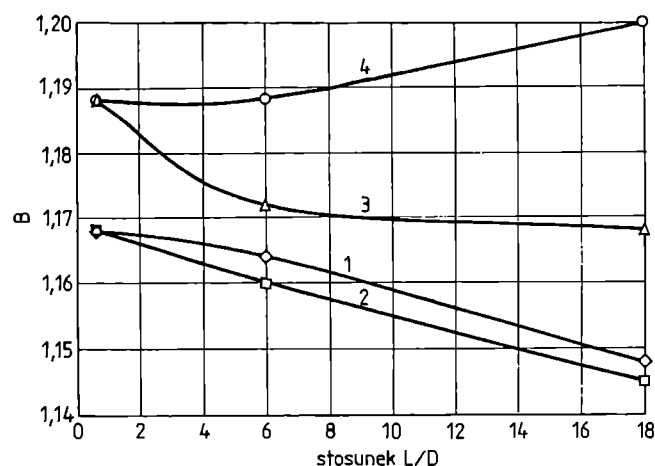
W przypadku cieczy newtonowskiej (N — krzywe 1) nie obserwuje się wpływu natężenia przepływu na stopień rozszerzania strugi. Jest to zgodne z oczekiwaniami, gdyż w przypadku takich cieczy wartość B zależy od liczby Reynoldsa, która tutaj zawsze jest bardzo mała, a więc, praktycznie biorąc, nie wywiera wpływu na B .

Uzyskane w wyniku symulacji wartości B zmierzają w przypadku większego stosunku L/D do wartości bliższych oczekiwanym, tzn. $B = 1,13$ [4]; w odniesieniu do $L/D = 18$ otrzymano $B(L/D = 18) \approx 1,15$.

Ciecze Birda—Carreau (BC — krzywe 2) charakteryzują się spadkiem wartości B ze zwiększaniem Q , co jest dosyć nieoczekiwane, chociaż należy pamiętać, że ciecze pseudoplastyczne (rozrzedzane ścinaniem) wykazują mniejszy stopień rozszerzania strugi od cieczy newtonowskich [4].

Ciecze lepkosprężyste Maxwella (M — krzywe 3) i KBKZ (krzywe 4) wykazują zgodnie z oczekiwaniami wzrost wartości B ze zwiększaniem natężenia przepływu. Nie udało się wykonać większej liczby badań modelu Maxwella ze względu na niestabilność używanych rozwiązań.

Rysunek 9 ilustruje wpływ stosunku L/D na stopień rozszerzania strugi (w warunkach natężenia przepływu $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$). Zgodnie z oczekiwaniami, w przypadku modeli N , M i BC (krzywe 1—3) ze wzrostem tego stosunku maleje wartość B . Ponadto, rozszerzanie cieczy lepkiej rozrzedzanej ścinaniem (BC , krzywa 2) jest mniejsze od rozszerzania cieczy newtonowskiej (krzy-



Rys. 9. Wpływ stosunku L/D na stopień rozszerzania strugi B (natężenie przepływu $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$) w odniesieniu do różnych modeli materiału; oznaczenie krzywych jak na rys. 6
Fig. 9. The extrudate swell (B) at flow rate $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{s}$ in relation to L/D ratio, as evaluated with various models (curve symbols as in Fig. 6)

wa 1). Przebieg krzywej 4 odnoszącej się do modelu KBKZ jest na tyle zaskakujący, że wymaga wykonania dodatkowych badań.

PODSUMOWANIE

Przedstawiliśmy metodykę modelowania za pomocą systemu POLYFLOW problemu kształtowania strugi tworzywa wypływającej z kanału formującego, np. głowicy wytłaczarskiej (ang. *extrudate swell problem*) w odniesieniu do przepływów lepkich i lepkosprężystych w warunkach izotermicznych. Z tego punktu widzenia dokonaliśmy analizy modelu newtonowskiego, uogólnionego modelu newtonowskiego (Birda—Carreau) oraz dwóch modeli lepkosprężystych (różniczkowego Maxwella i całkowego KBKZ).

Określiśmy wpływ warunków przepływu (natężenia przepływu tworzywa, charakterystyki geometrycznej kanału formującego oraz typu modelu reologicznego materiału) na przebieg zjawiska rozszerzania strugi. Wyniki na ogół odpowiadają znanym obserwacjom doświadczalnym. W ich świetle stwierdziliśmy, że najbardziej odpowiednim równaniem reologicznym służącym do modelowania zjawiska rozszerzania strugi jest stosunkowo proste (dwuparametrowe) równanie Maxwella. Ograniczenie w tym przypadku stanowi zakres natężenia przepływu, w którym model ten można stosować. Trzeba dodać, że warunkiem dokładniejszej analizy zjawiska rozszerzania strugi jest m.in. rozważenie go jako problemu nieizotermicznego. Dalszych badań wymaga modelowanie z zastosowaniem modelu KBKZ.

Przedstawiona metodyka modelowania może znaleźć zastosowanie do analizy przepływów w kanałach o różnej, w zasadzie dowolnie złożonej charakterystyce geometrycznej. Stanowiąc więc ona może użyteczne narzędzie projektowania, np. głowic wytłaczarskich. Zwłaszcza istotny jest problem odpowiedniego doboru równania konstytutywnego materiału do tego typu analizy.

LITERATURA

1. Crochet M. J. i in.: „System komputerowego modelowania procesów przetwórstwa tworzyw sztucznych — POLYFLOW“, Polyflow s.a., Louvain-la-Neuve 1993, Belgia.
2. Wilczyński K., Tyszkiewicz A.: *Polimery* 1996, **41**, 107.
3. Wilczyński K., Łaczyński B., Czaplarski A.: *Polimery* 1998, **43**, 115.
4. Wilczyński K., Łaczyński B., Szymaniak Z.: *Polimery* 1999, **44**, 683.
5. Wilczyński K., Szymaniak Z., Nastaj A.: *Polimery* 2000, **45**, 631.
6. Sikora R.: *Polimery* 1997, **42**, 50.
7. Bird R. B., Armstrong R. C., Hassager O.: „Dynamic of Polymeric Liquids“, John Wiley, Nowy Jork 1987.

Otrzymano 20 XI 2000 r.

W kolejnym zeszycie ukazać się następujące artykuły:

- Katalizatory polimeryzacji olefin
- Termodynamiczne równania stanu polimerów a procesy przetwórcze
- Pulweryzacja materiałów polimerowych metodą wytłaczania ścinającego w stanie stałym
- Wpływ niektórych warunków polimeryzacji na morfologię monolitycznych kopolimerów styren/diwinylobenzen (*wersja angielska*)
- Badania nad syntezą małowcząsteczkowej żywicy epoksydowej
- Multiblokowe kopoliestry alicykliczno-alifatyczne. Ocena wrażliwości polimeru na degradację enzymatyczną (*wersja angielska*)
- Wpływ wartości kąta ostrza noża granulatora na efektywność konstrukcyjną procesu wytłaczania z granulowaniem polietylenu
- Charakterystyka fizykochemicznych właściwości nieorganicznych składników mieszanin polimerowych o budowie "jądro-powłoka". Część II. Układy zawierające krzemionkę pirogeniczną