

MECHANIKA

CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS

WYDAWNICTWO

POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1-M/2009

ZESZYT 3

ROK 106

ISSUE 3

YEAR 106

KRZYSZTOF WILCZYŃSKI, ADRIAN LEWANDOWSKI,
KRZYSZTOF J. WILCZYŃSKI*

UPLASTYCZNIANIE W PROCESACH PRZETWÓRSTWA TWORZYW POLIMEROWYCH

MELTING IN POLYMER PROCESSING

Streszczenie

Przedstawiono zagadnienie uplastyczniania tworzyw w procesach przetwórczych. Wskazano na ogólne podstawy zjawiska uplastyczniania, wynikające z zasad mechaniki ośrodków ciągłych. Przedstawiono wyniki badań własnych mechanizmu uplastyczniania, w odniesieniu do różnych odmian wytłaczania.

Słowa kluczowe: wytłaczanie, uplastycznianie tworzywa, modelowanie

Abstract

Problem of melting in polymer processing is discussed. Some general approach based on the continuum mechanics is presented to study the phenomenon. Results of melting mechanism experimentation are presented for single screw extrusion and twin screw extrusion.

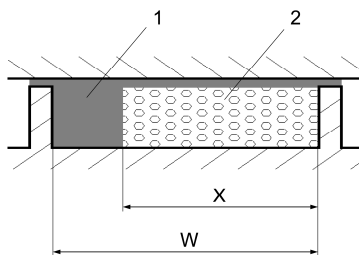
Keywords: extrusion, polymer melting, modeling

* Prof. dr hab. inż. Krzysztof Wilczyński, mgr inż. Adrian Lewandowski, mgr inż. Krzysztof J. Wilczyński, Zakład Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych, Wydział Inżynierii Produkcji, Politechnika Warszawska.

1. Wprowadzenie

W procesach przetwórstwa tworzyw polimerowych dobrze są opisane przepływy tworzywa w stanie uplastycznionym. Znacznie słabiej jest rozumiany i opisany transport tworzywa w stanie stałym, a zwłaszcza uplastycznianie tworzyw. Odpowiedni model uplastyczniania stanowi podstawę budowy całosciowego modelu procesu przetwórczego. W przypadku wytłaczania jednoślیمakowego dynamiczny rozwój teorii tego procesu nastąpił po opracowaniu przez Tadmora modelu uplastyczniania tworzywa. Na tej podstawie powstał pierwszy program komputerowy symulacji procesu wytłaczania jednoślیمakowego [1]. Wytłaczanie dwuślیمakowe, a zwłaszcza wytłaczanie dwuślیمakowe przeciwbieżne, jest procesem przetwórstwa znacznie mniej poznanym niż wytłaczanie jednoślیمakowe [2].

Upłastycznianie tworzyw w procesie wytłaczania jest ciągle zagadnieniem słabo poznanym. Jak dotąd, najlepiej jest rozpoznany mechanizm upłastyczniania w wytłaczarce jednoślیمakowej (ang. Contiguous Solids Melting, CSM), który polega na ciągłym upłastycznianiu utworzonej w strefie zasilania wytłaczarki warstwy stałej tworzywa (rys.1).



Rys. 1. Klasyczny mechanizm CSM upłastyczniania tworzywa w wytłaczarce jednoślیمakowej:
1-tworzywo upłastycznione, 2-warstwa stała,

X-szerokość warstwy stałej, W-szerokość kanału ślimaka

Fig. 1. The classic mechanism of CMS plastification process of the polymers in screw extrusion:
1 – plasticised material, 2 – constant layer, X – width of constant layer, W – screw channel width

2. Modelowanie upłastyczniania tworzywa

Analizę upłastyczniania tworzywa w różnego typu procesach wytłaczania można przeprowadzić na podstawie równania zachowania energii mechaniki ośrodków ciągłych [3,4]. To równanie dla materiałów ściśliwych ma następującą postać:

$$\rho (Du/Dt) = - \nabla \cdot \mathbf{q} - p(\nabla \cdot \mathbf{v}) - \boldsymbol{\tau} : \nabla \mathbf{v} \quad (1)$$

gdzie:

ρ - gęstość,

Du/Dt - pochodna zupełna energii wewnętrznej względem czasu,

t - czas,

∇ - operator Nabla,

$\mathbf{q} = -k\nabla T$ - strumień ciepła,

k - przewodność cieplna,
 T - temperatura,
 p - ciśnienie,
 v - prędkość,
 τ - tensor extra-naprężenia.

- Równanie wskazuje na trzy źródła, które mogą zwiększyć energię wewnętrzną tworzywa
- a) $(-\nabla \cdot \mathbf{q})$ - zmiana energii wewnętrznej wskutek przewodzenia ciepła,
 - b) $p(\nabla \cdot \mathbf{v})$ - zmiana energii wewnętrznej w wyniku ściskania,
 - c) $(-\tau : \nabla \mathbf{v})$ - zmiana energii wewnętrznej w rezultacie przepływu i deformacji.

Tworzywa są w zasadzie materiałami nieściśliwymi, dlatego też człon (b) równania energii ma znaczenie jedynie przy bardzo wysokich wartościach ciśnienia, które występują np. w procesie wtryskiwania.

Analizę zmian energii w wyniku deformacji materiału należy przeprowadzić odrębnie dla tworzywa w stanie uplastycznionym i tworzywa w stanie stałym. W pierwszym przypadku człon (c) równania energii wyraża zmianę energii w wyniku lepkiego rozpraszania energii (ang. Viscous Energy Dissipation, VED). W drugim przypadku można mówić o generacji ciepła w wyniku plastycznej deformacji cząstek tworzywa (ang. Plastic Energy Dissipation, PED) oraz w wyniku tarcia między tymi cząstkami (ang. Frictional Energy Dissipation).

W przypadku klasycznego mechanizmu uplastyczniania tworzywa w wyłaczarce jednoślیمakowej (CSM), uplastycznianie można opisać na podstawie następujących równań energii, odnoszących się do warstwy stałej tworzywa i przepływu tworzywa uplastycznionego:

$$\rho c_s (DT_s/Dt) = k_s \nabla^2 T_s \quad (2)$$

$$\rho c_m (DT_m/Dt) = k_m \nabla^2 T + \tau : \nabla \mathbf{v} \quad (3)$$

gdzie indeks „s” odnosi się do tworzywa w stanie stałym, a indeks „m” do tworzywa w stanie płynnym.

W przypadku innych odmian wyłaczania, zwłaszcza wyłaczania dwuślیمakowego przeciwbieżnego, czy też wyłaczania jednoślیمakowego z dozowaniem, opis uplastyczniania nie jest już tak oczywisty, gdyż nie w pełni jest poznany mechanizm zjawiska.

Podsumowując można zapisać ogólne równanie, opisujące uplastycznianie tworzywa w różnych procesach przetwórstwa (w tym wyłaczania i wtryskiwania), którego postać szczegółowa będzie się zmieniać w zależności od procesu przetwórczego i warunków przetwórstwa:

$$\rho (Du/Dt) = -\nabla \cdot \mathbf{q} + PED + FED + VED \quad (4)$$

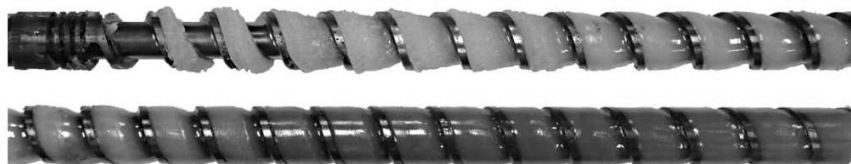
gdzie: PED, FED, VED – różne formy zmiany energii zachodzące w wyniku deformacji.

2. Wynik badań

Badanie przebiegu uplastyczniania tworzywa wykonano przy zastosowaniu techniki bezpośredniej obserwacji próbek tworzywa, zdjętych ze ślimaka wyłaczarki, po jej zatrzymaniu i gwałtownym ochłodzeniu (ang. “Screw Pulling-out Technique”). Na rys. 1-3

pokazano przykładowe wyniki w odniesieniu do wytłaczania jednoślindakowego (ze ślimakiem klasycznym i mieszającym) oraz wytłaczania dwuślindakowego przeciwbieżnego.

Zasadnicza różnica w przebiegu uplastyczniania tworzywa przy różnych odmianach wytłaczania przejawia się w stopniu wypełnienia kanału ślimaka oraz mechanizmie uplastyczniania. W przypadku klasycznego wytłaczania jednoślindakowego, z niekontrolowanym zasilaniem (ang. Flood Feeding) zaobserwowano typowy mechanizm CSM, zarówno w przypadku zastosowania klasycznego ślimaka (rys. 2), jak i ślimaka mieszającego (rys. 3). W przypadku wytłaczania jednoślindakowego z dozowanym zasilaniem (ang. Starve Feeding) ten mechanizm nie występuje. Zachodzi potrzeba zdefiniowania mechanizmu uplastyczniania tworzywa w tej odmianie wytłaczania, a następnie budowy odpowiedniego opisu matematycznego tego zjawiska. Wstępna analiza wskazuje, że właściwym może być tutaj dyspersyjny model uplastyczniania (ang. Dispersed Solids Mechanizm, DSM).



Rys. 2. Wytłaczanie jednoślindakowe - ślimak klasyczny

Fig. 2. Single screw extrusion - conventional screw

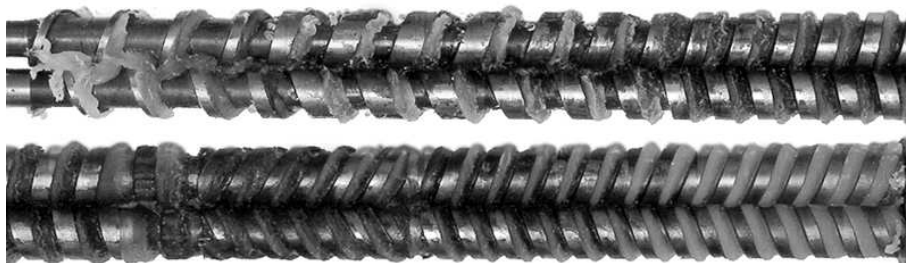


Rys. 3. Wytłaczanie jednoślindakowe - ślimak mieszający

Fig. 3. Single screw extrusion - mixing screw

W przypadku wytłaczania dwuślindakowego przeciwbieżnego potwierdzono mechanizm zaproponowany ostatnio w literaturze [5, 6]. Zgodnie z tym mechanizmem uplastycznianie zachodzi głównie w szczelinie międzywalcowej ślimaków, wskutek generacji ciepła tarcia.

Na rys.4 pokazano układ ślimaków przeciwbieżnych w widoku z dołu. Widać wyraźnie, że uplastycznianie zachodzi stosunkowo szybko w porównaniu z uplastycznianiem w wytłaczalce jednoślindakowej z niekontrolowanym dozowaniem.



Rys. 4. Wytłaczanie dwuślimakowe przeciwbieżne

Fig. 4. Counter-rotating twin screw extrusion

Literatura

- [1] Tadmor Z., Klein I., *Engineering Principles of Plasticating Extrusion*, Van Nostrand Reinhold Company, New York 1970.
- [2] Wilczyński K., *Mechanik* 78, 2005, s.515.
- [3] Wilczyński K.: *Reologia w przetwórstwie tworzyw sztucznych*, WNT, Warszawa 2001.
- [4] Tadmor Z., Gogos C., *Principles of Polymer Processing*, Wiley, New York 2006.
- [5] Wilczyński K., White J.L., *Int. Polym. Process.* 16, 2001, 257.
- [6] Wilczyński K., White J.L., *Polym. Eng. Sci.* 43, 2003, 1715.