





# Evaluarea performanțelor zonei de omogenizare termomecanică în vederea optimizării constructive a acesteia

COSMIN V. JINESCU\*

Universitatea Politehnica București, Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică, Splaiul Independenței, Nr. 313, 060042, București, România

The concept of thermal homogeneity efficiency,  $\eta_{ht}$ , was defined, giving an indication on the thermal homogeneity realised by a certain zone through the heat generated by internal friction. Its optimal value corresponds  $\eta_{ht} = 1$ . This concept was then applied to the calculus of thermal homogeneity at the flow of a power-law non-Newtonian polymer melt, through a rectangular slit, similar to the flow over the barrier flight  $f$ . The relationships obtained for temperature rise due to heat generated through internal friction allowed the calculus of  $\eta_{ht}$  in a given case.

Keywords: thermal homogeneity, internal friction, polymer melt

Una dintre cerințele cele mai importante ale unui extruder este de a asigura, la ieșirea din capul de extrudare, o topitură cu consistență uniformă și cu temperatură uniformă în secțiune. Calitatea produsului extrudat este adesea asociată cu gradul de neomogenitate termică  $g_n$  în secțiunea acestuia. Gradul de neomogenitate poate fi îmbunătățit prin utilizarea unor zone de omogenizare termomecanică în lungul melcului.

Rezolvarea problemei omogenizării termice numai pe cale experimentală înseamnă mult timp și mari cheltuieli materiale, având în vedere specificul procesului de extrudare a polimerilor. Pentru a evita aceasta se impune analiza teoretică a curgerii prin zona de omogenizare dispersivă (Maddock și Egan). Aceasta permite optimizarea zonelor de omogenizare prin calcul, fără a se recurge la testare directă decât eventual, pentru a verifica rezultatele teoretice.

*Analiza optimizării funcționale a zonelor de tip Maddock și Egan, din punct de vedere al omogenizării termice*

Zonele de tip Maddock și Egan, în general amplasate înaintea zonei cu topitură (fig. 1), sunt utilizate:

- ca *barieră* pentru a nu permite trecerea particulelor solide netopite sau a altor particule solide (pigmenți etc...); au deci rol de filtru;

- pentru *amestecare mecanică dispersivă*, în cazul unor aglomerate care trebuie "rupte" spre a evita diminuarea calității produsului finit (de exemplu, la produsele de grosime mică: filme și folii subțiri, filarea fibrelor etc.);

- pentru *omogenizare termomecanică*, îndeosebi datorită gradientului de viteză,  $\dot{\gamma}$ , foarte mare din interstițiul  $h_3$  de deasupra flancului barierei  $f$  (fig. 2, c). Uzual jocul

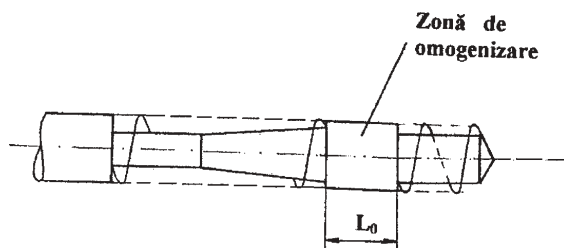


Fig. 1. Melc cu zonă de omogenizare

dintre flancul barierei  $f$  și cilindru este  $h_3 = 0,4-0,7$  mm (fig. 2, c).

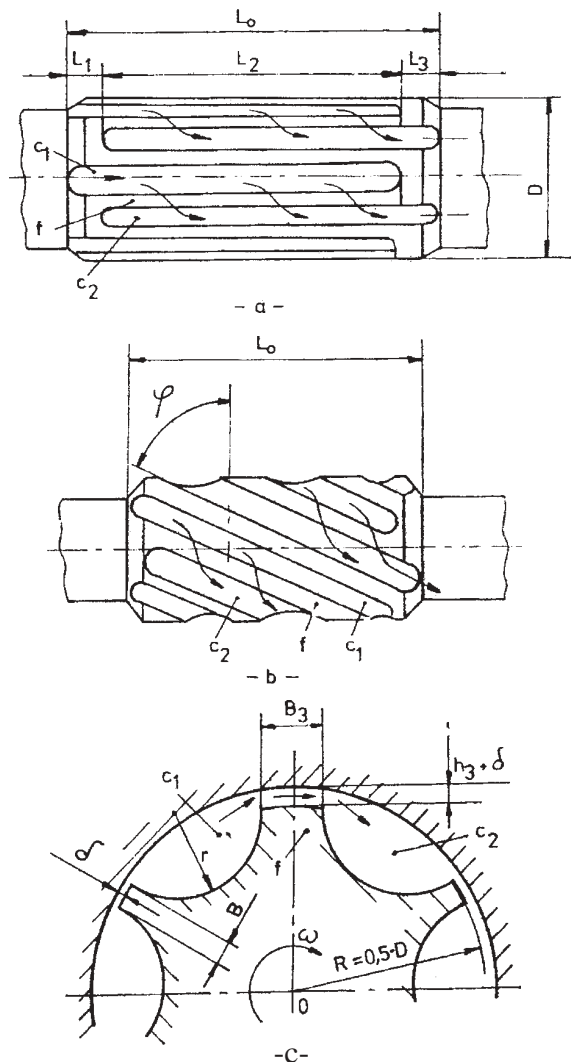


Fig. 2. Zona de omogenizare / amestecare de tip barieră în varianta Maddock (a) și Egan (b). Secțiune transversală prin zona de omogenizare (c)

\* Tel.: (+40) 0741039436

Simulările procesului de plastifiere în canalul melcului efectuate [1;2] nu au considerat și prezența - actualmente obligatorie - a unei zone de omogenizare termomecanică.

Calcul căderii de presiune și a variației temperaturii în lungul zonelor de omogenizare de tip Maddock și Egan au fost rezolvate recent în lucrările [3-5, 8, 9], în care s-au luat în considerare și variația temperaturii topiturii datorită încălzirii externe de la cilindru,  $\Delta T_e$ , datorită compresibilității topiturii,  $\Delta T_c$ , datorită frecării interne (vâscoase),  $\Delta T_{f,i}$  și frecării externe (polimer-melc și polimer-cilindru)  $\Delta T_{f,e}$ , astfel că variația totală a temperaturii este:

$$\Delta T = \Delta T_e + \Delta T_c + \Delta T_{f,i} + \Delta T_{f,e} \quad (1)$$

în care, uneori, pot fi neglijate  $\Delta T_c$  și  $\Delta T_{f,e}$ .

Din aceste motive, în continuare se cercetează posibilitatea optimizării acestor zone de omogenizare termomecanică, pornind de la ideea realizării unei omogenități termice maxime pe adâncimea canalului melcului.

În continuare se va stabili o relație pentru calculul eficienței omogenizării termice a zonei,  $\eta_{\psi}$ , căreia i se asociază variația presiunii în lungul zonei. Relația generală astfel obținută va fi aplicată în cazul topiturilor newtoniene de tip Ostwald - de Waele.

#### Evaluarea efectului de omogenizare termică al zonelor de tip Maddock și Egan

Din analiza curgerii materialului prelucrat prin canalele zonei de omogenizare termomecanică, se constată următoarele (fig. 2, a - c):

- curgerea prin canalul  $c_1$  are o mică influență asupra omogenității termice;

- la curgerea peste flancul bariera  $f$  de lățimea  $B_3$ , datorită interstițiului mic,  $h_s$ , se produce o forfecare foarte puternică a materialului prelucrat. Straturile mai reci ale materialului, care au vâscozitate mai mare, se încălzesc prin frecare mai mult decât straturile calde, ceea ce conduce la un efect de omogenizare termică.

S-a constatat experimental că într-un interstițiu  $h_s=0,1$  mm creșterea temperaturii materialului prelucrat poate ajunge la 100 grad [6].

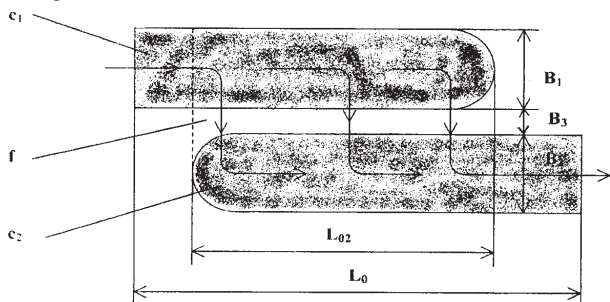


Fig. 3. Curgerea materialului în canalele de intrare ( $c_1$ ) și de evacuare ( $c_2$ ) peste flancul barieră  $f$

În canalul  $c_2$  se reunesc fluxurile de topitură, așa cum rezultă din figura 3, ceea ce conduce la o omogenizare mecanică suplimentară. Prin aceasta se îmbunătățește și omogenitatea termică. Dacă, de exemplu, aria secțiunii transversale,  $S_1$ , a canalului  $c_1$  se micșorează în sensul curgerii, iar aria secțiunii transversale  $S_2$ , a canalului  $c_2$  se mărește în sensul curgerii, atunci efectul de omogenizare termomecanică se accentuează.

Profilul temperaturii pe adâncimea canalului melcului înaintea zonei de omogenizare se caracterizează prin temperatura maximă,  $T_{\max}$ , și temperatura minimă,  $T_{\min}$  (fig. 4a), iar după ieșirea din zona de omogenizare prin

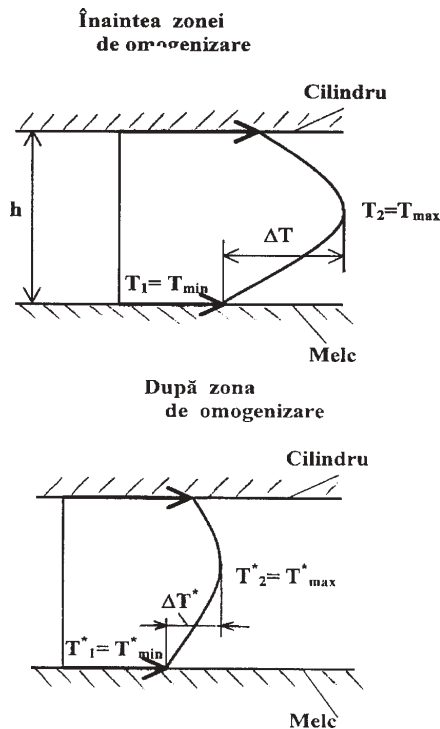


Fig. 4. Profilul temperaturii pe adâncimea canalului melcului plin cu topitură, înaintea zonei de omogenizare (a) și după zona de omogenizare (b)

temperatura maximă  $T_{\max}^*$  și temperatura minimă  $T_{\min}^*$  (fig. 4b).

Variația temperaturilor minimă și maximă, în secțiune, pe lungimea zonei de omogenizare, este reprezentată în figura 5.

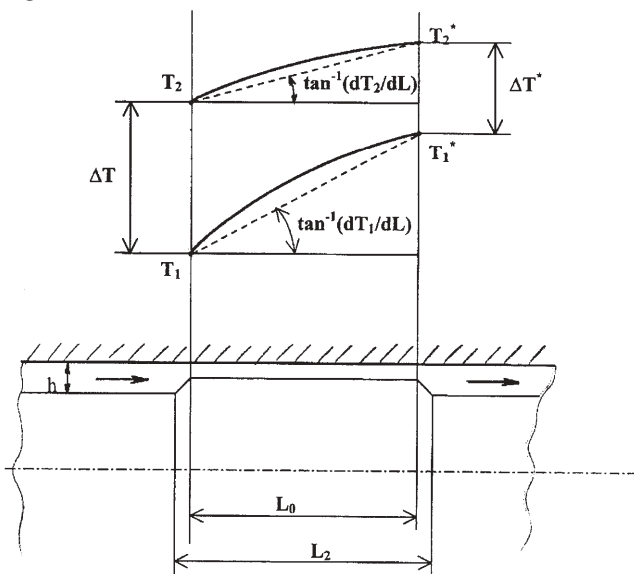


Fig. 5. Variația temperaturii topiturii în lungul zonei de omogenizare

Temperaturile minimă,  $T_1^*$  și maximă,  $T_2^*$ , la ieșirea din zona de omogenizare, au expresiile:

$$\left. \begin{aligned} T_1^* &= T_1 + \left( \frac{dT_1}{dL} \right) \cdot L_0 \\ T_2^* &= T_2 + \left( \frac{dT_2}{dL} \right) \cdot L_0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

sau, în general,

$$T^* = T + \int_0^{L_0} \left( \frac{dT}{dL} \right) \cdot dL$$

Parametrul omogenizării termice (fig. 5) se definește prin următoarea relație propusă în lucrarea [7]:

$$\eta_{ht} = \frac{(T_2 - T_1) - (T_2^* - T_1^*)}{T_2 - T_1}$$

sau:

$$\eta_{ht} = 1 - \frac{\Delta T^*}{\Delta T} \quad (3)$$

în care s-au notat:

$$\left. \begin{aligned} \Delta T &= T_2 - T_1 \\ \Delta T^* &= T_2^* - T_1^* \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Din relațiile (2) și (3) rezultă:

$$\Delta T^* = \Delta T + \left( \frac{dT_2}{dL} - \frac{dT_1}{dL} \right) \cdot L_0 \quad (5)$$

Cu aceasta, eficiența omogenizării termice devine:

$$\eta_{ht} = \left( \frac{dT_1}{dL} - \frac{dT_2}{dL} \right) \cdot \frac{L_0}{\Delta T} \quad (6)$$

Deoarece  $h_3 > h_1$  și  $h_3 > h_2$  în care  $h_1$  și  $h_2$  sunt adâncimile canalelor  $c_1$  și  $c_2$ , rezultă că acestea din urmă au o influență mică asupra omogenizării termice, în comparație cu flancul barierei  $f$ . Se neglijează contribuția canalelor  $c_1$  și  $c_2$  la valoarea lui  $\eta_{ht}$ .

Prin considerarea numai a efectului flancului barierei  $f$ , aflat la adâncimea  $h_3$  și având lățimea  $B_3$ , asupra omogenizării termice, expresia eficienței  $\eta_{ht}$  devine:

$$\eta_{ht} \approx \left( \frac{dT_1}{dB_3} - \frac{dT_2}{dB_3} \right) \cdot \frac{B_3}{\Delta T} \quad (7)$$

Variația temperaturii în lungul flancului barierei,  $B_3$  se datorează frecării interne ( $\Delta T_{fi}$ ), frecării externe ( $\Delta T_{fe}$ ), încălzirii de la exterior prin transfer termic de la cilindru ( $\Delta T_e$ ) și compresibilității topiturii ( $\Delta T_c$ ). În medie:

$$\frac{dT}{dB_3} = \frac{\Delta T_{f,i} + \Delta T_{f,e} + \Delta T_e + \Delta T_c}{B_3}$$

iar

$$\eta_{ht} = \frac{(\Delta T_{f,i} + \Delta T_{f,e} + \Delta T_c)_1 - (\Delta T_{f,i} + \Delta T_{f,e} + \Delta T_c)_2}{\Delta T} \quad (8)$$

în care s-a neglijat diferența  $(\Delta T_{c,1}) - (\Delta T_{c,2})$ , neimportantă în comparație cu celelalte diferențe de temperaturi. Indicele 1 se referă la variația temperaturii minime  $T_1$ , iar indicele 2 se referă la variația temperaturii maxime,  $T_2$ .

Deoarece atât pentru straturile mai reci, cât și pentru cele mai calde, variația presiunii pe lățimea flancului barierei este aceeași, se poate neglija diferența  $(\Delta T_{c,2}) - (\Delta T_{c,1})$ .

Efectul frecării externe, în comparație cu cel al frecării interne este mic, ceea ce permite neglija diferența  $(\Delta T_{f,e,2}) - (\Delta T_{f,e,1})$ .

În consecință, pentru calcule practice, relația (8) devine, cu aproximație:

$$\eta_{ht} = \frac{(\Delta T_{f,i})_1 - (\Delta T_{f,i})_2}{\Delta T} \quad (9)$$

Sunt posibile, practic, mai multe cazuri, și anume:

$\Delta T^* = 0$  (fig. 6, a), caz în care  $\eta_{ht} = 1$ ;

$\Delta T^* = T_2^* - T_1^* < \Delta T$  (fig. 6, b), caz în care  $0 < \eta_{ht} < 1$ ;

$\Delta T^* < 0$  (fig. 6, c), caz în care  $\eta_{ht} > 1$ . În acest ultim caz, căldura dezvoltată prin frecare în topitura mai rece este cu  $\Delta T$  mai mare decât cea dezvoltată în topitura mai caldă,  $\Delta T_{fi,1} > \Delta T + \Delta T_{fi,2}$ .

Omogenitatea termică maximă se obține pentru  $T_1^* = T_2^*$ , respectiv  $\Delta T^* = 0$ . În acest caz, din relația (3) rezultă  $\eta_{ht} = 1$  (fig. 6, a).

Secțiunea de omogenizare este cu atât mai eficientă, din punct de vedere termic, cu cât  $\eta_{ht}$  este mai apropiat de 1.0.

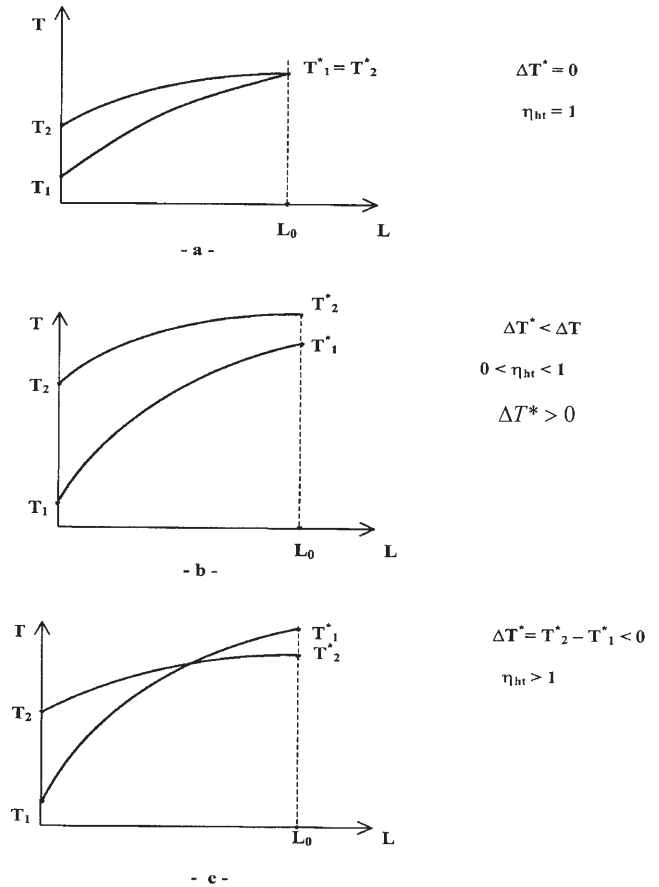


Fig. 6. Evoluția temperaturii în lungul zonei de omogenizare pentru straturile de topitură care au la intrare temperatura minimă,  $T_1$  și respectiv maximă,  $T_2$ : a - la ieșirea din zonă cele două straturi au aceeași temperatură  $T_1^* = T_2^*$ ; b - la ieșirea din zonă cele două straturi au temperaturile ( $T_1^* < T_2^*$ ); c - la ieșirea din zonă cele două straturi au temperaturile ( $T_1^* > T_2^*$ )

### Analiza eficienței omogenizării termice la un polimer cu comportarea newtoniană

Se consideră comportarea topiturii conform legii Ostwald - de Waele:

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^v \quad (10)$$

în care:

- $\tau$  este tensiunea de forfecare;
- $\dot{\gamma}$  - reopantă (gradientul de viteză);
- $K, v$  - constante reologice.

Puterea disipată prin frecare internă, pe unitatea de volum ( $W/m^3$ ), are expresia:

$$N_f = \tau \cdot \dot{\gamma} = K \cdot \dot{\gamma}^{v+1} \quad (11)$$

La două temperaturi diferite,  $T_1$  și  $T_2$ , dacă  $\dot{\gamma}$  și  $v$  sunt aceleași:

$$\frac{N_{f,1}}{N_{f,2}} = \frac{K_1}{K_2} \quad (12)$$

în care, după cum se știe:

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= K_0 \cdot \exp[a_p(p_1 - p_0) - b_T(T_1 - T_0)] \\ K_2 &= K_0 \cdot \exp[a_p(p_2 - p_0) - b_T(T_2 - T_0)] \end{aligned} \right\}$$

în care:

$p_1$  și  $p_2$  sunt presiunile corespunzătoare topiturii aflată la cele două temperaturi ( $h_1$  și  $h_2$ );  
 $a$  și  $b_T$  - constante de material;  
 $K^p$  - valoarea lui  $K$  din relația (10) la presiunea  $p_i$  și temperatura de referință  $p_0$  și  $T_p$ .  
 Puterea mecanică pe unitatea de volum  $N_f$  (11) se transformă în putere termică pe unitatea de volum, încât:

$$K \cdot \dot{\gamma}^{\nu+1} = (T^* - T) \cdot \frac{c_v}{t} \quad (13)$$

în care:

$c_v$  - este căldura specifică volumetrică ( $J/(m^3 \cdot \text{grad})$ );  
 $t$  - timpul în care topitura parcurge lățimea  $B_3$ .

Din această relație se obține temperatura la ieșirea din interstițiul de înălțime  $h_3$ :

$$T^* = T + \frac{K \cdot \dot{\gamma}^{\nu+1} \cdot t}{c_v} \quad (14)$$

în care  $t$  poate fi calculat din expresiile debitului peste flancul barieră  $f$ .

În primă aproximație:

$$t = \frac{\rho_3 \cdot B_3 \cdot h_3 \cdot L_2}{G_{m1}} \quad (15)$$

în care:

$G_{m1} = \frac{G_m}{n_z}$  este debitul masic prin canalul  $c_1$ ;

$n_z$  - numărul perechilor de canale ( $c_1 + c_1$ );  
 $G_m$  - debitul masic al melcului.

Din relația (14) se obține diferența  $T^* - T = \Delta T_{f,i}$  care se scrie pentru temperaturile extreme  $T_1$  și  $T_2$ , (fig. 5):

$$\left. \begin{aligned} (\Delta T_{f,i})_1 &= \frac{K \cdot \dot{\gamma}_1^{\nu+1}}{c_{v,1}} \cdot t_1 \\ (\Delta T_{f,i})_2 &= \frac{K \cdot \dot{\gamma}_2^{\nu+1}}{c_{v,2}} \cdot t_2 \end{aligned} \right\} \quad (14.1)$$

în care:

$t_1$  este timpul de reținere în stratul de topitură a cărei temperatură variază între  $T_1$  și  $T_p$ ;

$t_2$  - timpul de reținere în stratul de topitură a cărei temperatură variază între  $T_2$  și  $T_p$ ;

$\nu_1$  și  $\nu_2$  - valorile exponentului  $\nu$  la temperaturile medii  $0,5 \cdot (T_1$  și  $T_p)$  și  $0,5 \cdot (T_2$  și  $T_p)$ .

Timpul de reținere este invers proporțional cu viteza, astfel că în cazul de față:

$$t_r = \frac{B_3}{w}$$

Viteza de deplasare sub presiune printr-o fantă dreptunghiulară (fig. 7) scrisă pentru cazul de față are expresia [1]:

$$w = \left( \frac{1}{K} \cdot \frac{dp}{dx} \right)^{\frac{1}{\nu}} \cdot \frac{\nu}{1+\nu} \cdot \left[ y^{\frac{1}{\nu}+1} - \left( \frac{h_3}{2} \right)^{\frac{1}{\nu}+1} \right] \quad (16)$$

Se constată că viteza  $w$  este invers proporțională cu  $(K)^{1/\nu}$ .

S-a notat cu  $t_1$  - durata trecerii peste flancul barieră a topiturii aflate la temperatura  $T_1$  și cu  $t_2$  - a celei la temperatura  $T_2$ . Rezultă că:

$$t_i \sim (K)^{1/\nu}$$

astfel încât:

$$\frac{t_1}{t_2} = \left( \frac{K_1}{K_2} \right)^{\frac{1}{\nu}} = \exp \left[ - \frac{b_T \cdot (T_1 - T_2)}{\nu} \right] \quad (17)$$

unde s-a neglijat influența presiunii,  $dp/dx$  fiind același.

Pe de altă parte, din relațiile (14.1):

$$\frac{\Delta T_{f,i,1}}{\Delta T_{f,i,2}} \approx \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{t_1}{t_2} \cdot \left( \frac{\dot{\gamma}_1}{\dot{\gamma}_2} \right)^{\nu+1} \quad (18)$$

în care s-a considerat că pe intervalul de temperatură  $T_1$  și  $T_2$ ,  $\nu_1 \approx \nu_2 = \nu$  și  $c_{v,1} \approx c_{v,2} = c_v$ .

Din relațiile anterioare rezultă că:

$$\frac{\Delta T_{f,i,1}}{\Delta T_{f,i,2}} \approx \left( \frac{\dot{\gamma}_1}{\dot{\gamma}_2} \right)^{\nu+1} \cdot \left( \frac{K_1}{K_2} \right)^{\nu+1} \quad (19)$$

sau, cu considerarea expresiilor lui  $K_1$  și  $K_2$  pentru  $p_1 \approx p_2$ :

$$\frac{\Delta T_{f,i,1}}{\Delta T_{f,i,2}} \approx \left( \frac{\dot{\gamma}_1}{\dot{\gamma}_2} \right)^{\nu+1} \cdot \left\{ \exp[-b_T \cdot (T_1 - T_2)] \right\}^{\frac{1}{\nu}+1} \quad (20)$$

Reopanta prin fanta dreptunghiulară se consideră în primă aproximație ca sumă a reopantelor determinate de curgerea sub presiune,  $\dot{\gamma}(\Delta p)$ , și de curgerea de antrenare,  $\dot{\gamma}(w)$ . Aceste reopante au următoarele expresii [5]:

$$\dot{\gamma}(\Delta p) = \frac{2(2\nu+1)}{\nu} \cdot \left( \frac{G_m}{\rho \cdot n_z} \right) \cdot \frac{\sin \varphi}{L_{02} \cdot h_3^2} \cdot \left( \frac{2y}{h_3} \right)^{\frac{1}{\nu}} \quad (21)$$

$$\dot{\gamma}(w) = \frac{w_c \cdot \sin \varphi}{h_3} = \frac{\pi}{60} \cdot \left( \frac{D}{h_3} - 2 \right) \cdot n \cdot \sin \varphi \quad (22)$$

în care:

$w_c = \pi \cdot (D - 2h_3) \cdot n/60$  este viteza periferică a melcului,  
 $\varphi$  - înclinarea flancului barieră.

În general, topitura cu vâscozitate mică curge prin centrul curentului de fluid, la  $y=0$  (fig. 7, b), astfel încât:

$$\dot{\gamma}_2 = \dot{\gamma}_2(w) \quad (23)$$

deoarece aici  $\dot{\gamma}(\Delta p) = 0$ .

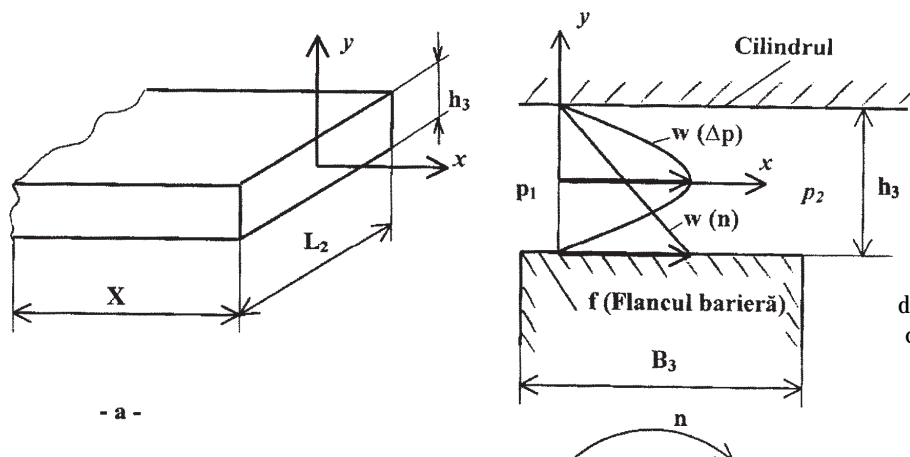


Fig. 7. Curgerea topiturii în interstițiul  $h_3$  datorită presiunii ( $\Delta p = p_1 - p_2$ ) și antrenării de către suprafața superioară a flancului barieră

Topitura mai rece se află la perete, ( $y = h_3 / 2$ ) unde:

$$\dot{\gamma}_1 = \dot{\gamma}_1(\Delta p) + \dot{\gamma}_1(w) \quad (24)$$

În general,  $\dot{\gamma}_2(w) \approx \dot{\gamma}_1(w)$ , iar  $\dot{\gamma}_1(\Delta p)$  se calculează cu relația (21), în care  $y = h_3 / 2$ .

În consecință, raportul reopantelor în filmul de topitură de temperatură  $T_2$  și respectiv  $T_1$ :

$$\frac{\dot{\gamma}_2}{\dot{\gamma}_1} \approx \frac{\dot{\gamma}_2(w)}{\dot{\gamma}_1(w) + \dot{\gamma}_1(\Delta p)} \quad (25)$$

Se exemplifică, în continuare, modul de utilizare a relațiilor stabilite. În acest scop se consideră un melc cu zonă de omogenizare intensă, cu următoarele dimensiuni:

$$D = 63,5 \text{ mm};$$

$$\delta = 0,08 \text{ mm -interstițiul dintre spira melcului și cilindru;}$$

$$L_{02} = 2D = 127 \text{ mm};$$

$$\varphi = 45^\circ;$$

$$B_3 = 0,15D;$$

$$n_z = 3;$$

$$h_3 = 0,5 \text{ mm.}$$

Debitul mașinii este  $G_3 = 84 \text{ kg/h}$  la o turație a melcului  $n = 100 \text{ rot/min.}$

La intrarea în zona de omogenizare, temperatura maximă a topiturii este  $T_2 = 190^\circ\text{C}$ , iar temperatura minimă  $T_1 = 170^\circ\text{C}$  (fig. 4, a).

Materialul prelucrat este polietilenă de înaltă densitate ( $\rho = 960 \text{ kg/m}^3$ ), cu următoarele caracteristici fizice la temperatura de prelucrare:

$$\rho = 770 \text{ kg/m}^3;$$

$$c_p = 2604 \text{ J/kg} \cdot \text{K};$$

$$v_p = 0,5;$$

$$K_o = 4,754 \cdot 10^5 \text{ K}^{-1};$$

$$b_{\tau} = 0,01093 \text{ K}^{-1}.$$

Din relația (22) se obține:

$$\begin{aligned} \dot{\gamma}_2 = \dot{\gamma}_2(w) &= \frac{\pi}{60} \cdot \left( \frac{D}{h_3} - 2 \right) \cdot n \cdot \sin \varphi = \\ &= \frac{\pi}{60} \cdot \left( \frac{63,5}{0,5} - 2 \right) \cdot 100 \cdot \sin 45^\circ = 462,64 \text{ s}^{-1}. \end{aligned}$$

În relația (24),  $\dot{\gamma}_1(w) \approx \dot{\gamma}_2(w)$ , conform relației (21), cu  $y = 0,5h_3$ :

$$\dot{\gamma}_1(\Delta p) = \frac{2(2 \times 0,5 + 1)}{0,5} \cdot \left( \frac{84}{3600 \cdot 770 \cdot 3} \right) \cdot \frac{\sin 45^\circ}{0,127 \cdot (0,5)^2 \cdot 10^{-6}} \approx 1800 \text{ s}^{-1}$$

astfel încât:

$$\dot{\gamma}_1 = 1800 + 462,64 = 2262,64 \text{ s}^{-1}$$

Din relația (20):

$$\frac{\Delta T_{f,i,2}}{\Delta T_{f,i,1}} \approx \left( \frac{462,64}{2262,64} \right)^{0,5+1} \cdot \{ \exp[-0,01093 \cdot (190 - 170)] \}^3 \approx 0,048$$

de unde:

$$\Delta T_{f,i,1} = 20,833 \cdot \Delta T_{f,i,2}$$

ceea ce arată că la perete (straturi reci) creșterea temperaturii este cu mult mai mare decât în centrul curentului de topitură (straturi calde la începutul forfecării).

Se poate scrie că:

$$\Delta T_{f,i,1} - \Delta T_{f,i,2} = 19,833 \cdot \Delta T_{f,i,2}$$

Eficiența omogenizării termice, conform relației (9), devine:

$$\eta_{ht} = \frac{19,833}{20} \cdot \Delta T_{f,i,2}$$

$\Delta T_{f,i,2}$  se calculează cu relația (14.1), în care:

$$K_2 = K_o \cdot \exp[-b_{\tau}(T_2 - T_o)] = 4,754 \times 10^4 \cdot \exp[-0,01093 \times 463] = 3014,9 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{B_3 \cdot h_3 \cdot L_2}{\left( \frac{G_m}{n_z \cdot \rho_3} \right)} = \frac{9,525 \times 10^{-3} \times 0,5 \times 10^{-3} \times 0,127}{\left( \frac{84}{3600 \times 3 \times 770} \right)} \cdot \sin \varphi = \\ &= \frac{0,6048 \times 10^{-6}}{1,0101 \times 10^{-5} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}} = 0,085 \text{ s.} \end{aligned}$$

În consecință, din relația (14.1) cu  $cv = \rho \cdot c_p = 770 \cdot 2604 \text{ J/(m}^3 \cdot \text{K)}$  rezultă:

$$\Delta T_{f,i,2} = \frac{3014,9 \times (462,64)^{1,5}}{(770 \times 2604)} \times 0,085 \approx 1,27 \text{ grad}$$

După înlocuirea lui  $\Delta T_{f,i,2}$  în relația lui  $\eta_{ht}$  se obține:

$$\eta_{ht} = \frac{19,833}{20} \times 1,27 = 1,26$$

ceea ce înseamnă că suntem în cazul ilustrat de figura 6, c.

Pentru a ajunge la cazul ideal  $\eta_{ht} = 1$ , trebuie micșorată diferența  $\Delta T_{f,i,1} = \Delta T_{f,i,2}$ , ceea ce se poate obține, de exemplu, prin mărirea lui  $h_3$  sau micșorarea lui  $L_2$ .

## Concluzii

Din analizarea zonelor de omogenizare dispersivă de tip Maddock și de tip Egan, au rezultat elemente esențiale în legătură cu efectul lor de omogenizare termică.

S-a definit conceptul de *eficiența omogenizării termice*,  $\eta_{ht}$  (9), a cărei valoare dă indicații despre omogenitatea termică realizată de această zonă, prin intermediul căldurii dezvoltate prin frecare internă (fig. 6). Valoarea optimă corespunde lui  $\eta_{ht} = 1$ .

S-a aplicat acest concept la calculul omogenității termice la curgerea unei topituri polimerice cu comportare newtoniană funcție de putere (rel. 10), printr-o fantă dreptunghiulară, asemănătoare curgerii peste flancul barierei  $f$  (fig. 2, a). Expresiile obținute (14.1 și 20) pentru creșterea de temperatură datorate căldurii dezvoltate prin frecare internă au permis calculul lui  $\eta_{ht}$  într-un caz concret dat.

## Bibliografie

1. TADMOR, Z., GOGOS, C., Principles of Polymer Processing, Wiley, New York, 1979
2. WILCZYNSKI, K., Polym. Plast. Technol. Eng. **35**, nr. 3, 1996, p. 449
3. KLASON, C., JINESCU, V.V., PO<sup>a</sup>TOACĂ, I, Kautschk Gummi Kunststoffe **52**, 1999, p. 501
4. JINESCU, V.V., PO<sup>a</sup>TOACĂ, I, TEODORESCU, N., CHIRIȚĂ, R., Mat. Plast., **38**, nr. 1, 2001, p. 22
5. KLASON, C., JINESCU, V.V., PO<sup>a</sup>TOACĂ, I, Intern. Polymer Processing **XV**, nr. 1, 2000, p. 3
6. RIABININ, D.D., LUCACI, I.U. E., Cerviacinâe mașină de prelucrare plastică din masă de rezină și smesă, Izd. Mașinostroenie, Moskva, 1965
7. MARTIN, G., Industrie Anzeiger **14**, 1971, p. 2651
8. TEODORESCU, N., Mat. Plast. **30**, nr. 4, 1993, p. 294
9. TEODORESCU, N., GĂRDUS, V., Mat. Plast. **31**, nr. 3, 1994, p. 206

Întriat în redacție: 17.10.2007

















