

# **UNTERSUCHUNG DES FESTSTOFFTRANSPORTS IM EXTRUDERSCHNECKENKANAL, II.**

I. MONDVAI und L. HALÁSZ

Lehrstuhl für Kunststoff- und Gummiindustrie, Technische Universität,  
H-1521 Budapest

Eingegangen am 2 Juni 1985

## **Summary**

From the solid material transport models those were studied which dealt with the theory of motion of granules. In the constant channel depth feed section it's necessary to take into account the motion of granules in the axial direction on the surface of the barrel and the screw. The helix angle, the effective angle of friction and the dynamic coefficients of friction on the barrel and on the screw play an important role in the course of the process.

## **Theorie des Feststofftransports**

Die Feststofftransportzone erstreckt sich von dem Dosiertrichter bis zum Erscheinen der Schmelzschicht auf der Zylinderoberfläche. Es gibt verschiedene Modelle für die Untersuchung der Bewegung

1. des Granulats,
2. des eindimensionalen, isothermen Blockes (plug flow),
3. des zweidimensionalen, isothermen Blockes,
4. des nichtisothermen Blockes.

## **Modelle für die Untersuchung der Granulatbewegung**

Die Modelle für die Untersuchung der Granulatbewegung betrachten das Polymerschüttgut als flüssigkeitsartiges Kontinuum, im Gegensatz zu allgemeiner angewandten Modellen, die das Polymergranulat als elastisches, zusammendrückbares, festes Kontinuum behandeln. Es unterliegt keinem Zweifel, daß am Anfang der Feststofftransportzone die Granulatbewegung kennzeichnend ist. Später bewegt sich das Granulat in dem Schneckenkanal als Block.

Bei der Behandlung des Themas wurde die Feststofftransportzone in zwei Teile unterteilt: in den Teil mit konstanter Gangtiefe und in jenen mit abnehmender Gangtiefe (Kompressionszone). Der Annahme gemäß erfolgt im ersteren Teil kein Druckaufbau, dieser beginnt erst in dem zweiten Teil, gleichzeitig mit der Entstehung des Polymerblockes. Der entscheidende Teil des Druckaufbaues findet jedoch nach vollständigem Schmelzen des Polymers in der Meteringzone statt [1, 2].

### Feststofftransport im Teil des Schneckenkanals mit konstanter Gangtiefe

Den Schneckenengang in der Ebene abgewickelt, erhält man das Gangsteigungsdreieck. Der Zylinderumfang ist  $\pi D$ , wo  $D$  den Zylinderdurchmesser bedeutet. Der Umfang des Schneckenkerns:  $\pi(D - 2H)$ , mit der Gangtiefe  $H$ . Der Umfang des Kreises in der Mittellinie des Schneckenkanals:  $\pi(D - H)$ . Der Steigungswinkel bei der Zylinderfläche ergibt sich zu

$$\Theta_z = \text{arc tg} \{E/(\pi D)\} \quad (1)$$

bei dem Schneckenkern zu

$$\Theta_s = \text{arc tg} \{E/[\pi(D - 2H)]\} \quad (2)$$

bei der mittleren Entfernung zwischen Zylinderfläche und Schneckenkern zu

$$\Theta_m = \text{arc tg} \{E/[\pi(D - H)]\} \quad (3)$$

wo  $E$  die Schneckenangsteigung.

Abb. 1 zeigt die Bewegung der Polymerteilchen in Kontakt mit dem Schneckenkern. Auf Wirkung der Schneckendrehung bewegen sich die

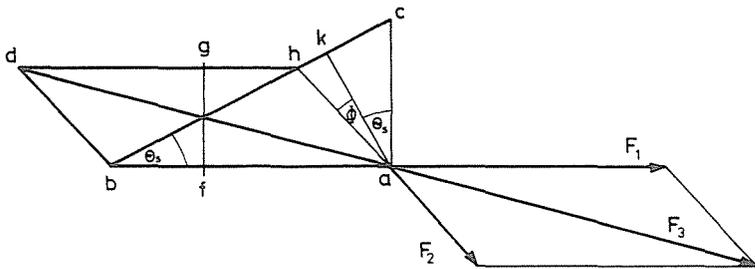


Abb. 1. Bewegung der Polymerteilchen auf dem Schneckenkern

Teilchen in  $\overline{ab}$ -Richtung, auf Wirkung der Schneckenflanke in Richtung  $\overline{ah}$ . Dementsprechend wirken auf den Schneckenkern die Reibungskräfte  $F_1$  und  $F_2$ , deren Resultierende  $F_3$  von der Teilchenbewegung entgegengesetzter Richtung ist.

Die axiale Verschiebung der Teilchen auf Wirkung einer einzigen Schneckenumdrehung  $L_{\lambda,s}$  ist gleich der halben Höhe  $\overline{fg}$  des Parallelograms  $\overline{abd}$ , wie es aus Abb. 1 ersichtlich ist. Der durch die Geraden  $\overline{ak}$  und  $\overline{ac}$  gebildete Winkel gleich dem Gangsteigungswinkel  $\Theta_s$ . Der durch die Geraden  $\overline{ak}$  und  $\overline{ah}$  gebildete Winkel ist der Förderwinkel  $\varphi$ .

Nach Abb. 1 folgt, daß

$$\begin{aligned} \overline{fg} &= \overline{ah} \cos(\Theta_a + \varphi) = \frac{\overline{ak} \cos(\Theta_s + \varphi)}{\cos \varphi} = \\ &= \frac{\overline{ac} \cos \Theta_s \cos(\Theta_s + \varphi)}{\cos \varphi} \end{aligned} \quad (4)$$

Also kann angeschrieben werden, daß

$$L_{\lambda,s} = \frac{E \cos \Theta_s \cos(\Theta_s + \varphi)}{2 \cos \varphi} \quad (5)$$

Auf der Zylinderfläche wirken die Reibungskräfte  $F_4$  und  $F_5$ , deren Resultierende  $F_6$  ist. Die Bewegung  $L_{\lambda,z}$  der Teilchen in Schneckenachsenrichtung auf Wirkung einer Schneckenumdrehung entspricht der Entfernung  $\overline{fg}$  in

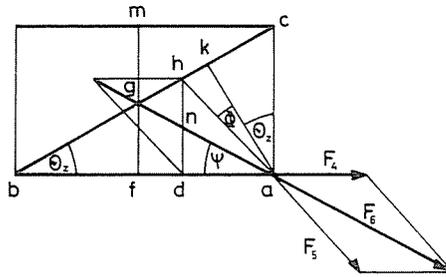


Abb. 2. Bewegung der Polymerteilchen auf der Zylinderfläche

Abb. 2. Nach der Abbildung folgt, daß

$$L_{\lambda,z} = \frac{E \operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg} \psi + \operatorname{tg} \Theta_z} \quad (6)$$

Weiterhin

$$L_{\lambda,z} = \frac{E \cos \Theta_z \cos(\Theta_z + \varphi)}{\cos \varphi + \sin \Theta_z \sin(\Theta_z + \varphi)} \quad (7)$$

Sind die Reibungskoeffizienten an der Zylinderfläche und an der Schneckenoberfläche gleich, d. h.  $\mu_z = \mu_s$ , ergibt sich in dem Schneckenkanal eine relative Axialbewegung

$$L_{\lambda,r} = \frac{L_{\lambda,s} + L_{\lambda,z}}{2E} \quad (8)$$

also der Mittelwert aus den Gleichungen (5) und (7). Das Schneckenkanalvolumen je Gangsteigung beträgt

$$V = \frac{\pi(D^2 - [D - 2H]^2)(E - e)}{4} \quad (9)$$

wo  $e$  die axiale Schneckenflankenbreite bedeutet.

Der Massendurchsatz ergibt sich aus den Gleichungen (5), (7), (8) und (9) zu

$$M = VN\bar{\rho}_s \left\{ \frac{\cos\Theta_s \cos(\Theta_s + \varphi)}{2 \cos \varphi} + \frac{\cos\Theta_z \cos(\Theta_z + \varphi)}{\cos \varphi + \sin \Theta_z \sin(\Theta_z + \varphi)} \right\} \quad (10)$$

In der Gleichung (10) hat  $M$  die Dimension  $\text{g min}^{-1}$  bei einer Umdrehungszahl  $N$  von  $\text{min}^{-1}$ , die Schüttdichte  $\bar{\rho}_s$  die Dimension  $\text{g cm}^{-3}$ , sämtliche geometrische Daten sind in  $\text{cm}$  angegeben.

Ist der Reibungskoeffizient an der Schneckenoberfläche gleich Null, wird auch die Reibungskraft  $F_1$  in Abb. 1 gleich Null sein. Damit wird die Axialbewegung der Teilchen auf Wirkung einer Schneckenumdrehung gleich der Entfernung  $\bar{f}g$  sein. Strebt der Reibungskoeffizient an der Schneckenoberfläche gegen unendlich, wird die Reibungskraft  $F_1$  gleichfalls gegen unendlich streben. In diesem Falle drehen sich die Teilchen mit der Schnecke und ihre Axialbewegung ist gleich Null. Im praktischen Falle, wo der Reibungskoeffizient an der Schneckenoberfläche kleiner als jener an der Zylinderfläche ist,

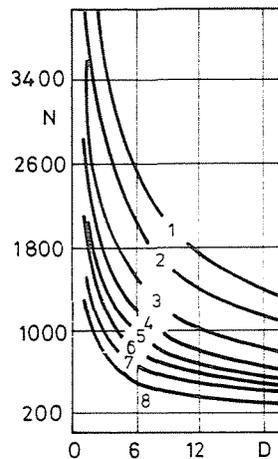


Abb. 3. Die kritische Schneckenumdrehungszahl in Abhängigkeit von dem Zylinderdurchmesser.

$E = 0,5 D$ ; 1 :  $\mu_s = 0,3$ , 2 :  $\mu_s = 0,4$ , 3 :  $\mu_s = 0,6$ , 4 :  $\mu_s = 0,8$ .

$E = D$ ; 5 :  $\mu_s = 0,3$ , 6 :  $\mu_s = 0,4$ , 7 :  $\mu_s = 0,6$ , 8 :  $\mu_s = 0,8$ . [1]

wird auch die Reibungskraft  $F_1$  kleiner als in Abb. 1 sein. Infolgedessen wird die Teilchenverschiebung in Axialrichtung größer sein als die Hälfte der Entfernung  $fg$ , und zwar der Verminderung des Reibungskoeffizienten an der Schneckenoberfläche proportional. So nimmt die Gleichung (5) die Form

$$\frac{L_{\lambda,s}}{E} = \frac{\cos \Theta_s \cos (\Theta_s + \varphi)}{(1 + \mu_r) \cos \varphi} \quad (11)$$

an, wo  $\mu_r = \mu_s / \mu_z$ . Der Massendurchsatz ergibt sich zu

$$M = VN\rho_s \left\{ \frac{\cos \Theta_s \cos (\Theta_s + \varphi)}{(1 + \mu_r) \cos \varphi} + \frac{\cos \Theta_z \cos (\Theta_z + \varphi)}{\cos \varphi + \sin \Theta_z \sin (\Theta_z + \varphi)} \right\} \quad (12)$$

Die Extruderleistungen nehmen mit höheren Umdrehungszahlen nur bis zum Erreichen der kritischen Umdrehungszahl zu. Bei der kritischen Umdrehungszahl wird der Transportprozess instationär, der Massendurchsatz nimmt ab. Abb. 3 zeigt die kritische Umdrehungszahl in Abhängigkeit von dem Zylinderdurchmesser, der Gangsteigung und dem Reibungskoeffizienten an der Schneckenoberfläche.

### **Feststofftransport im Teil des Schneckenkanals mit abnehmender Gangtiefe (Kompressionszone)**

In der Kompressionszone nehmen der Volumendurchsatz ab, die Antriebsleistung und der Druck zu. Wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit der Polymere wandelt sich die eingesetzte mechanische Energie größtenteils in Wärme um, die Temperatur der verarbeiteten Substanz steigt an, Elastizitätsmodul und Festigkeitsgrenze vermindern sich. Bei der Verarbeitung von Polymeren mit höherem Erweichungspunkt (PS, PMM, PC) beobachtet man, daß sich der Volumendurchsatz in der Kompressionszone stark vermindert, was oft eine nur teilweise Ausfüllung des Förderzonenteils mit konstanter Gangtiefe verursacht.

### **Literatur**

1. SILIN, W. A.: Dynamik der Kunststoffverarbeitung in Extrudern, Isd. Maschinotr. Moskau, 1972
2. GAWSKI, W. A.: Chim. Masch. 3, 31 (1965)

Dr. Imre MONDVAI }  
Dr. László HALÁSZ } H-1521 Budapest