

UNTERSUCHUNG DES FESTSTOFFTRANSPORTS IM EXTRUDERSCHNECKENKANAL, I.

I. MONDVAI und L. HALÁSZ

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

Eingegangen am 30 April 1985
Vorgelegt von Prof. Dr. J. Varga

Summary

The paper deals with the factors affecting the solid material transport. It's important to know the density of the polymer as a function of the temperature and the pressure, which changes along the screw channel. The friction coefficient also depends on the temperature and the pressure, furthermore it's the function of the rate of slip, too.

Kennzeichnung von Polymer-Schüttgütern

In einer Schneckenplastiziereinheit verarbeitete Polymere können granuliert-, gries- oder pulverförmig sein. Aus der Sicht der Zuführung zu der Plastiziereinheit, der Bewegung des Materials, seines Überganges in Schmelzzustand sind die statischen und dynamischen Eigenschaften der Schüttgüter von Belang, nämlich: Dichte, Zusammendruckbarkeit, innerer Reibungskoeffizient (zwischen Polymer und Polymer) und äußerer Reibungskoeffizient (zwischen Polymer und Metallfläche). Wichtig sind weiterhin die thermischen Eigenschaften des Polymers: Wärmeübertragungszahl, Wärmeleitkoeffizient, spezifische Wärme, Schmelzwärme.

Schüttgüter enthalten Luftmengen verschiedener Größe. Zum Beispiel werden bei einem theoretisch aus Kugeln bestehenden Polymer 47% des Raumes durch festen Polymer, der Rest durch Luft eingenommen. Das ist die günstigste Form für Raumauffüllung, bei anderen geometrischen Formen ist die Luftmenge größer. Das Relativvolumen des Mediums wird durch die Beziehung

$$\varepsilon = \frac{V - V_p}{V} = 1 - \frac{\rho_s}{\rho} \quad (1)$$

gekennzeichnet. Dabei bedeuten V das Gesamtvolumen, V_p das Polymervolumen, ρ_s die Schüttdichte des Schüttgutes, ρ die Dichte des Polymers.

Das relative Porenvolumen im Polymer ändert sich während der Fortbewegung im Schneckenkanal. Sowohl Druck- als auch Temperaturerhöhung haben eine Verminderung des Porenraumteils zur Folge. Gleichzeitig ändert sich auch die Dichte des Polymers in Abhängigkeit von Temperatur

und Druck. In einem Abstand Z von dem Anfangspunkt des Schneckenkanals ist die Dichte des Polymers

$$\rho_Z = \rho \left(\frac{P_Z}{P_0} \right)^{a_1} \frac{\exp [b_P(P_Z - P_0)]}{\exp [b_T(T_Z - T_0)]} \{1 - \varepsilon_0 \exp [a_2(P_Z - P_0)]\} \quad (2)$$

Hierhin bedeuten: ε_0 den Porenraumteil bei einem Bezugsdruck P_0 und einer Bezugstemperatur T_0 , P_Z und T_Z den Druck und die Temperatur bei der Koordinate Z , a_1 , a_2 , b_P und b_T sind Konstanten.

Kraftwirkungen auf das Schüttgut

Bei der Förderung wirken auf das Schüttgut Kräfte, auf deren Wirkung es sich bewegt. Das Verhalten des Schüttgutes kann flüssigkeitsartig, feststoffartig oder durch die Teilchengrenzfläche beeinflußt sein. Im ersten Falle nimmt das Schüttgut die Form des Behälters an, übt Druck auf die Behälterwandung aus und fließt durch eine Öffnung aus. Im zweiten Falle bilden sich zwischen den Teilchen verhältnismäßig hohe Kohäsionskräfte heraus.

Auf Schubbelastungswirkung entstehen im Schüttgut Schubspannungen und Normalspannungen. Auf Wirkung einer Belastung vorgegebener Höhe erfolgt im Schüttgut Gleitung. Zu jedem Normalspannungswert gehört ein einziger Schubspannungswert, der die Gleitungsgrenze bedeutet. Diesen Wert im $\sigma - \tau$ Koordinatensystem dargestellt, erhält man die Mohrsche Spannungsgrenzkurve. Bei einem flüssigkeitsähnlichen Schüttgut, wo sich keine Kohäsionskräfte herausbilden, gilt für die Schubspannung

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \beta = \sigma \mu_i \quad (3)$$

wo σ die Normalspannung, β der lokale Reibungswinkel und μ_i der innere Reibungskoeffizient ist.

Bei einem feststoffähnlichen Schüttgut, wo sich zwischen den Teilchen verhältnismäßig große Kohäsionskräfte herausbilden, wurde beobachtet, daß auf Druckwirkung die innere Festigkeit zunimmt. In einem solchen Falle ist die das Gleiten verursachende Last druck- und zeitabhängig. Zu einem gegebenen Druck und zu gegebenen Zeiten gehört eine gewisse Spannungsgrenzkurve. Die Schubspannung ist

$$\tau = \operatorname{tg} \beta (\sigma + \sigma_0) = C + \sigma \operatorname{tg} \beta \quad (4)$$

Dabei bedeuten σ_0 die scheinbare Schubfestigkeit, den Wert der auf $\tau=0$ extrapolierten Normalspannung. Den Kohäsionsbeiwert C erhält man aus:

$$C = \sigma_0 \operatorname{tg} \beta \quad (5)$$

Reibungsverhältnisse der Schüttgüter

Nach der klassischen Definition gilt für den Reibungskoeffizienten

$$\mu = \frac{F}{P} \quad (6)$$

wo F die Reibungskraft, P der auf die Fläche senkrechte Druck (Normaldruck) ist. Nach der klassischen Theorie sind

1. die Reibungskraft der Normalkraft proportional,
2. der Reibungskoeffizient von der Reibungsflächengröße unabhängig,
3. der unter statischen Verhältnissen gemessene Reibungskoeffizient stets größer als der unter kinetischen Verhältnissen gemessene,
4. der Reibungskoeffizient von der Gleitgeschwindigkeit unabhängig.

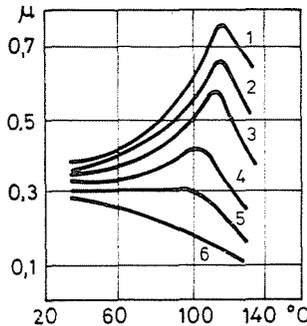


Abb. 1. Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten von der Temperatur [1]. Belastung 1: 2,5 bar, 2: 5 bar, 3: 10 bar, 4: 20 bar, 5: 40 bar, 6: 80 bar

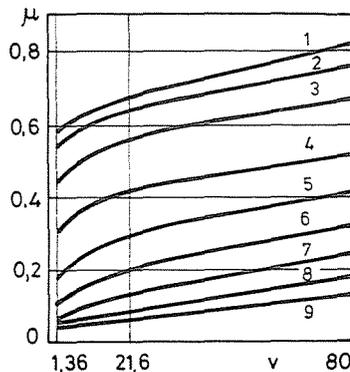


Abb. 2. Abhängigkeit des Reibungskoeffizienten von der Gleitgeschwindigkeit [1]. Temperatur 1: 20 °C, 2: 40 °C, 3: 60 °C, 4: 80 °C, 5: 100 °C, 6: 120 °C, 7: 140 °C, 8: 160 °C, 9: 180 °C.

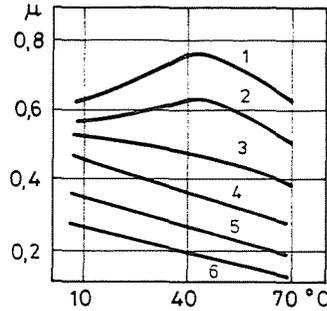


Abb. 3. Abhängigkeit des inneren Reibungskoeffizienten von der Temperatur [1]. Gleitgeschwindigkeit 6 cm/s. Belastung 1: 2,5 bar, 2: 5 bar, 3: 10 bar, 4: 20 bar, 5: 40 bar, 6: 80 bar.

Die obigen Ausführungen gelten nur annähernd für Polymer-Schüttgüter und Polymerschmelzen. Die in der Fachliteratur veröffentlichten Daten sind voneinander stark abweichend.

Die Abb. 1 zeigt die äußeren Reibungskoeffizienten von Niederdruckpolyäthylen auf Stahl, bei einer Gleitgeschwindigkeit 80 cm/s. Die Reibungskoeffizienten hängen von der Temperatur und der Belastung stark ab. Ebenso die äußeren Reibungskoeffizienten zeigt die Abb. 2 von Weich-PVC auf Stahl, bei einer Belastung 20 bar. Die Reibungskoeffizienten hängen von der Gleitgeschwindigkeit und der Temperatur ab. In Abb. 3 ist des inneren Reibungskoeffizienten von Hochdruckpolyäthylen in Abhängigkeit von der Temperatur zu sehen.

Bei Messungen der Reibungskoeffizienten kommt der Sauberkeit metallischer Reibungsflächen eine besondere Bedeutung zu. Bei Messungen an gereinigten Metallflächen und an „eingeriebenen“ Metallflächen, die sich lange Zeit an Polymer gerieben haben, wurden stark abweichende Ergebnisse erhalten [2].

Thermische Kennwerte von Schüttgütern

Die spezifische Wärme von Schüttgütern unterscheidet sich nicht von der spezifischen Wärme fester Polymerkontinua. In der Nähe der Schmelztemperatur nimmt die spezifische Wärme erheblich zu.

Die Wärmeübertragungszahl beträgt in der Feststofftransportzone 12 bis 23 $\text{Wm}^{-2} \text{K}^{-1}$ [3]. Der Wärmeleitkoeffizient ist im allgemeinen bei Schüttgütern kleiner als bei Polymerkontinua. Die Verminderung wird durch die Multiplikation $\lambda \varepsilon$ berücksichtigt, λ ist der Wärmeleitkoeffizient des Kontinuums.

Literatur

1. SILIN, W. A.: Dynamik der Kunststoffverarbeitung in Extrudern, Isd. Maschinotr. Moskau, 1972
2. SCHNEIDER, K.: Dissertation RWTH Aachen, 1968
3. LUKATSCH, Ju. E.: Chim. Masch. 3, 31 (1965)

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