

橡胶在销钉机筒挤出机中的流动分析

尹清珍, 宗殿瑞, 郭建章

(青岛化工学院, 山东 青岛 266042)

摘要: 建立了销钉机筒挤出机的非牛顿流体流动模型, 并计算出压力场、流动场和螺杆的特性曲线。结果表明, 随着流体非牛顿特性的增强, 螺杆的生产能力降低; 随着螺杆螺槽上切口的增多, 逆流增多, 挤出产量降低; 机筒上的销钉对挤出特性影响很小; 销钉式挤出机的挤出特性与螺杆上有切口的挤出机的挤出特性相似。

关键词: 销钉; 挤出机; 机筒; 切口螺杆; 流动模拟

中图分类号: T Q330. 4⁺4 文献标识码: A 文章编号: 1000-890X(2001)04-0218-04

销钉机筒挤出机, 尤其是 MEBGES, HARMS 和 HEGELE 等针对 SR 而发明的冷喂料销钉机筒挤出机, 对橡胶的加工产生了很大的影响^[1]。本工作在销钉机筒挤出机上努力模拟非牛顿流体, 并在试验中探索了胶料变化的影响因素。

1 流变模型

对橡胶/炭黑配合物剪切流变性能研究得到的大量试验数据表明, 它们具有很高的屈服值, 即在低应力下不流动, 在高剪切的作用下, 粘度随剪切速率的增大而减小, 遵守如下关系^[2]:

$$\sigma_{12} = Y + k\gamma^n \tag{1}$$

$$\sigma_{12} = Y + \frac{A\gamma}{1 + B\gamma^{1-n}} \tag{2}$$

式中 σ_{12} ——剪切应力;

γ ——剪切速率;

Y ——屈服应力;

k, n, A, B ——与模型有关的参数。

当剪切速率较高时, 式(1)和(2)可简化为

$$\sigma_{12} = k\gamma^n \tag{3}$$

式(3)即为幂律方程。总的来说, 在单螺杆挤出机中多发生高剪切速率时, 应使用式(3)。

在单螺杆挤出机中, 螺槽中剪切流动的速度分布可通过苗卡尔坐标的速度场表示为

$$\boldsymbol{V} = v_1(x_2)\boldsymbol{e}_1 + v_2(x_2)\boldsymbol{e}_2 + v_3(x_2)\boldsymbol{e}_3 \tag{4}$$

式中 $\boldsymbol{V}$ ——速度矢量;

下角标 1——螺杆槽方向;

下角标 2——螺槽深度方向;

下角标 3——横向流动方向;

v ——速度分量;

$\boldsymbol{e}$ ——单位矢量;

x_2 ——螺槽深度变量。

为了便于研究, 把式(3)和(4)的关系放在三维模型中, 得到三维应力方程^[3]:

$$\sigma_{12} = k \left[\left(\frac{\partial v_1}{\partial x_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_3}{\partial x_2} \right)^2 \right]^{(n-1)/2} \frac{\partial v_1}{\partial x_2} \tag{5}$$

$$\sigma_{32} = k \left[\left(\frac{\partial v_3}{\partial x_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_2} \right)^2 \right]^{(n-1)/2} \frac{\partial v_3}{\partial x_2} \tag{6}$$

如果忽略式(5)和(6)中的横向梯度 $\frac{\partial v_3}{\partial x_2}$, 则式(5)和(6)可以简化为式(3)。

2 运动方程

研究橡胶在螺槽里的流动的传统方法是: 在螺杆的根部建立一个坐标系, 并认为机身相对于螺杆运动。前提假设是螺杆与机筒是平行的。

根据力的平衡, 可从 1, 3 面上的应力方程求得这两个方向上的压力梯度。

作者简介: 尹清珍(1950-) 女, 山东德州人, 青岛化工学院副教授, 主要从事高分子机械和模具设计的教学及研究工作。

$$\frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_2} - \frac{\partial P}{\partial x_1} = 0 \quad (7a)$$

$$\frac{\partial \sigma_{32}}{\partial x_2} - \frac{\partial P}{\partial x_3} = 0 \quad (7b)$$

式中 P 为压力。

对于应力场, 使用式(5)和(6), 则有

$$k \frac{\partial}{\partial x_2} \left[\left(\frac{\partial v_1}{\partial x_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_3}{\partial x_2} \right)^2 \right]^{\frac{n-1}{2}} \frac{\partial v_1}{\partial x_2} - \frac{\partial P}{\partial x_1} = 0 \quad (8a)$$

$$k \frac{\partial}{\partial x_2} \left[\left(\frac{\partial v_1}{\partial x_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_3}{\partial x_2} \right)^2 \right]^{\frac{n-1}{2}} \frac{\partial v_3}{\partial x_2} - \frac{\partial P}{\partial x_3} = 0 \quad (8b)$$

边界条件是螺杆与机筒之间没有滑移, 即

$$v_1(0) = v_3(0) = 0 \quad (9a)$$

$$v_1(H) = 0 \quad (9b)$$

$$v_3(H) = \pi DN \quad (9c)$$

式中 D —— 螺杆直径;

N —— 转数;

H —— 螺槽深度。

对于一个简单螺杆螺槽来说, 用式(8)和(9)作为其运动方程和边界条件就足够了。

3 计算步骤

解题的过程中直接引进变量 q_1 和 q_3 , q_1 和 q_3 可分别表示为

$$q_1(x_1, x_3) = \int_0^H v_1(x_2) dx_2 \quad (10a)$$

$$q_3(x_1, x_3) = \int_0^H v_3(x_2) dx_2 \quad (10b)$$

增加 Δx_1 和 Δx_2 , 平衡变量 q_3 , 平衡方程为

$$\begin{aligned} q_1(x_1, x_3) \Delta x_3 + q_3(x_1, x_3) \Delta x_1 = \\ q_1(x_1 + \Delta x_1, x_3) \Delta x_3 + q_3(x_1, x_3 + \Delta x_3) \Delta x_1 \end{aligned} \quad (11)$$

这是连续方程。当在两个相邻的销钉中没有物料进入时, 必须变更式(11)为

$$\begin{aligned} q_1(x_1 + \Delta x_1, x_3) \Delta x_3 + q_3(x_1, x_3 + \Delta x_3) \Delta x_1 - \\ q_1(x_1, x_3) \Delta x_3 - q_3(x_1, x_3) \Delta x_1 = \frac{\Delta v}{\Delta t} \end{aligned} \quad (12)$$

其中 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 表示流体所占的体积, 在销钉前面的形

式为 $\pi DN H(x_1, x_3) \Delta x_1$; 在销钉后面的形式为 $-\pi DN H(x_1, x_3) \Delta x_1$ 。对于熔体, q_1 和 q_3 用下列表达式:

$$q_1 = - \frac{H^3(x_1, x_3)}{12\eta} \frac{\partial P}{\partial x_1} F_{P_1} \quad (13a)$$

$$q_3 = \frac{\pi DN H}{2}(x_1, x_3) F_{D_1} - \frac{H^3(x_1, x_3)}{12\eta} \frac{\partial P}{\partial x_3} F_{D_3} \quad (13b)$$

式中 F_{P_1} , F_{D_1} 和 F_{D_3} —— Brzowski 参数^[4]。

式(13a)表示的是销钉机筒螺槽产生的截面剪应力, 它是依照牛顿流体理论计算出来的。

$$\eta = k \left[\left(\frac{\partial v_1}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_3} \right)^2 \right]^{(n-1)/2} \quad (14)$$

通过 Kim M H 和 White J L 法^[5] 近似测得的非牛顿粘度系数为

$$\eta = k \left[\left(\frac{5\pi DN}{3H} F_{D_3} - \frac{4q_3}{3H^2} \right)^2 + \left(\frac{3q_1}{H^2} F_{P_1} \right)^2 \right]^{\frac{n-1}{2}} \quad (15)$$

在式(15)中引用了 Brzowski 形式参数 F_{D_3} 和 F_{P_1} 。

4 计算

进行计算研究的挤出机有:

(1) 普通的双头螺旋挤出机(普通螺杆);

(2) 螺槽带切口的双头螺旋挤出机(切口螺杆);

(3) 销钉机筒挤出机(销钉机筒)。

螺杆直径 D 为 45 mm, 螺槽深度 H 为 9.09 mm, 宽度 W 为 17.867 mm, 销钉直径为 4 mm, 每周有 6 个销钉。对以上挤出机进行压力场、流动场和螺杆特征计算。

普通螺杆的压力场在螺槽内的压力呈线性增大; 切口螺杆的压力场虽在螺槽上与前者相似, 但是在切口周围有明显的不同, 存在一个较大的正压力梯度; 对销钉螺杆来说, 除了销钉所在的位置, 其压力场与切口螺杆相似。以上这些结果近似于用牛顿流体 Brzowski 模型所模拟的结论。

流动场与压力场之间的关系可用式(13)描述。在螺槽切口处的压力梯度导致了很强的漏流和回流, 销钉的进入对此也影响很小(见图

1)。回流随着流体非牛顿性的增强而增强。
螺杆挤出机的螺杆特性曲线(见图 2)表明了挤出速率 Q^* 和压力梯度 ΔP^* 的关系。

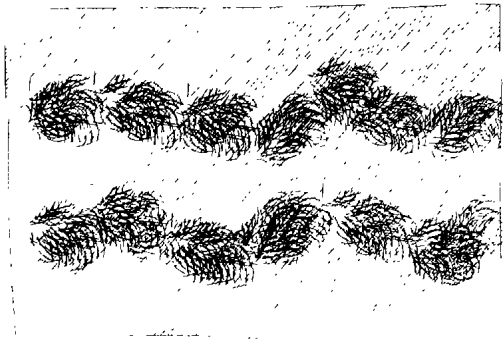


图 1 销钉机筒的流动场

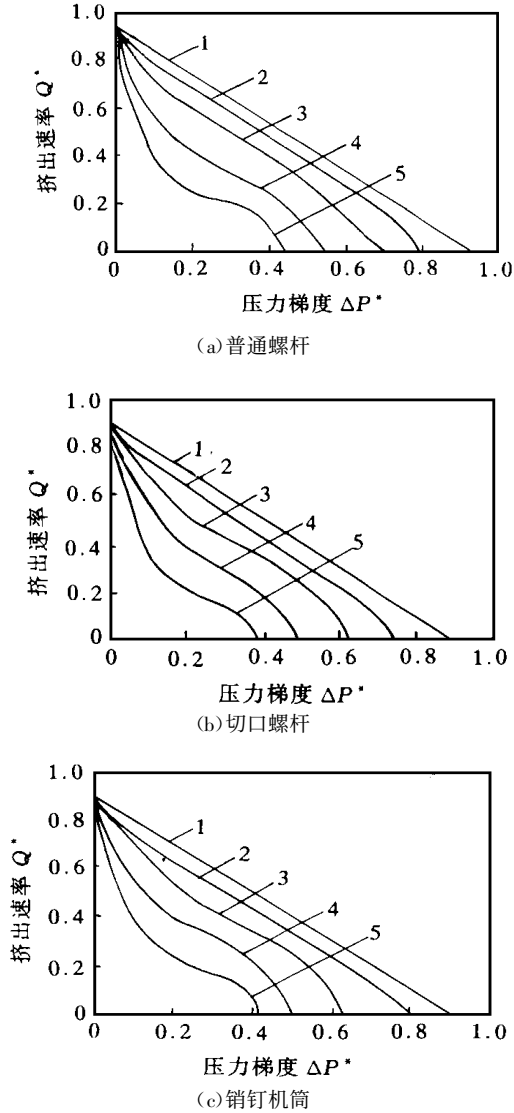


图 2 螺杆特性曲线

幂律指数 n : 1—1.0; 2—0.8; 3—0.6; 4—0.4; 5—0.2

挤出速率 Q^* 和压力梯度 ΔP^* 可表示为:

$$Q^* = \frac{2Q}{\pi DNH \cos \theta} \tag{16a}$$

$$\Delta P^* = \frac{H^{n+1}(\Delta P/L)}{6k(\pi DNH \cos \theta)} \tag{16b}$$

式中 Q^* ——挤出速率, 量纲为 1;
 Q ——挤出量;
 ΔP^* ——压力梯度, 量纲为 1;
 ΔP ——压力差;
 θ ——螺旋角;
 L ——螺槽的计算长度。

由图 2 可见, 增强的非牛顿特性降低了螺杆的挤出能力, 对于很大的机头压力来说, Q^* 为零。

图 3(a)描述了牛顿流体的流动特性, 图 3(b)描述了典型的 $n=0.2$ 的幂律流体的流动特性。

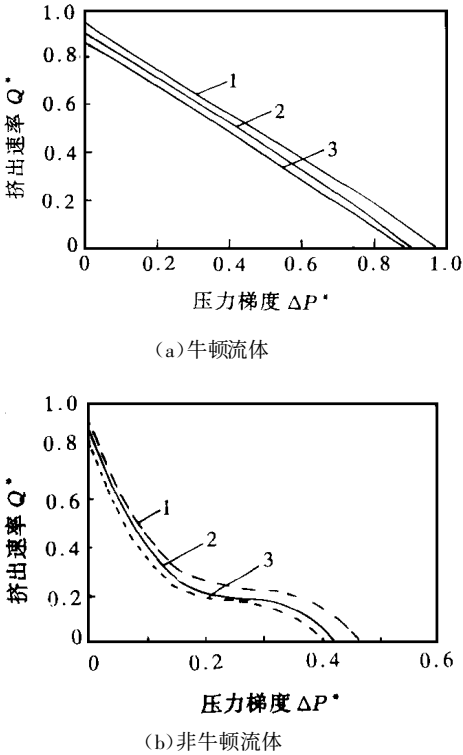


图 3 不同螺杆的特性曲线

1—普通螺杆; 2—销钉机筒; 3—切口螺杆

由图 3 可见, 两种情况下螺槽切口均降低了螺杆的挤出能力。带切口的螺杆和销钉式螺杆有相似的特性, 它们的挤出能力比普通螺杆要差。

5 结论

螺杆螺槽上的切口产生的回流和漏流使挤出机生产能力大大降低;机筒上的销钉对挤出机挤出特性影响很小;而增强非牛顿流动,即剪切粘度减小,会使剪切速率增大,反而使生产能力迅速下降。在早期的挤出流动模型中也都是这样描述的。当粘度较低、剪切速率较高、有回流和漏流产生时,其生产能力就大大降低。销钉挤出机由于在机身上引进了销钉,使物料加速混合,挤出物分散更加均匀。

参考文献:

- [1] White J L. Rubber Processing: Technology, Materials and Principles[M]. Hanser; Munich, 1995. 20-23.
- [2] White J L. Twin Screw Extrusion: Technology and Principles[M]. Hanser; Munich, 1990. 65-66.
- [3] Rauwendeal C. Polymer Extrusion[M]. Hanser; Munich, 1985. 192.
- [4] Brzoskowski R, Kumazawa T, White J L. Engineering principles of plasticating extrusion[J]. Int. Polymer Process 1990 (5): 191.
- [5] Kim M H, White J L, Non-nent J. Fluid Mech. [M]. Hanser; Munich, 1982. 37.

收稿日期: 2000-10-15

Simulation for non-Newtonian flow of rubber compound in pin barrel extruder

YIN Qing-zhen, ZONG Dian-rui, GUO Jian-zhang

(Qingdao Institute of Chemical Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: A model for simulating the non-Newtonian flow of rubber compound in pin barrel extruder was established. The characteristic curves of pressure field, flow field and screw were obtained by calculating with the model. The results showed that the extruder productivity decreased as the non-Newtonian fluid characteristics of rubber compound strengthened and the backward fluxes resulted from the cuts on the screw channel increased; the pins on the barrel had little effect on the extrusion behavior; and the extrusion behavior of the pin barrel extruder was similar to that of the extruder with cut screw.

Keywords: pin; extruder; barrel; cut screw; flow simulation

先进分析技术在胶料开发中的应用

中图分类号: TQ330.7+2 文献标识码: D

经济全球化趋势使得目前的工业形势与10年前大不相同。市场竞争变得更加激烈,用户要求高质量、低价格的产品。所有这些因素创造了工业部门将开发优质、低价新产品的趋势。橡胶工业也面临着类似的竞争。为了满足不断出现的新要求,橡胶工业需要缩短产品开发周期。由于高级分析技术和信息技术的发展,通过对最佳产品的分析,橡胶工业可以建立一个数据库,它将有助于在很短的开发周期内以有竞争力的价格开发出一系列新产品。

有许多技术可以用于胶料分析。本文试图评价所有先进的分析技术,例如热分析仪(用于

测定胶料中的聚合物、低挥发分、炭黑、无机残余物)、傅立叶变换红外微量分析仪(FTIR)、热解气相色谱(用于测定胶料中聚合物的百分比,特别是对BR/SBR并用胶的鉴定分析)、原子吸收光谱(有机残余物的微量分析)、表面积分析仪(炭黑品种分析)、薄层色谱、高性能液相色谱、气相色谱/质谱(分析低挥发分)、碳氢氮硫元素(CHNS)分析仪、X射线仪(XRF)、声光FTIR(用以测定阴离子)。还应用某些分析工具进行了实际数据和理论数据之间差异的分析。将差异分析获得的差异进行校正和微调,可以获得实际配方。本文还包括某些研究实例。

(涂学忠译自“IRC 2000论文集”摘要-A14)