

胶料挤出口型膨胀预测

Thomas M D H 等著 谢 立摘译 瞿光明校

摘要 描述了预测挤出口型膨胀的方法。应用口型出口几何形状的形心轴变化和模拟简单几何结构的粘弹性流动来预测最终的口型膨胀。这里提出的流动模拟分析与其它的程序很吻合。通过随后进行的实际结果与预测口型膨胀的比较能够修正口型设计。这项预测是在相对廉价的硬件上进行的, 从而使其有可能成为一种工业上实用的工具。

关键词 挤出, 口型膨胀, 粘弹性, 形心轴, 光谱元件

挤出膨胀的产生是口型出口处速度曲线的重新调整和物料在流动过程中因粘弹特性而形成的应力松弛共同作用的结果。

关于口型设计, 博学的专业人员已有经验之谈, 此实践被称为黑色技术。大型公司都有大功率的计算机和昂贵的软件包以帮助其设计口型。流体复杂的三维粘弹特性妨碍了西门子公司硬件的使用, 一些流动模型是在较小功率的计算机上演示的, 但只是模型的粘滞流动, 完全妨碍了挤出口型膨胀预测。

这里所报告的工作包括运用一个合适的几何模型和一个描述性的粘弹性流动模型进行分析。该系统在个人电脑上工作, 这种设计辅助程序舍弃了工艺过程的数值判定, 取而代之以可靠理论为基础的科学预测。

1 基本模型试验

KBKZ 型或 Rivlin-Sawyer 型基本组合模型(统一体)已显示了挤出口型膨胀预测的某些成功标志。在此描述的模型中的大量经实验确认的该系列模型已为 Wagner 所采用。

在流体中, 总应力(σ)分成一个附加应力(T)和一个各向同性的压力项:

$$\sigma = T - pI \tag{1}$$

式中的 I 表示单位张量, 附加应力 T 用模型表达为先前应变历程的积分, 它按照下面两项衰减:

(1) 记忆核 $m(s)$, 它完全符合单调记忆衰减;

(2) 阻尼函数 $H(I_1, I_2)$, 是两个应变不变式 I_1 和 I_2 的函数, 两者都与时间有关, 直接控制模型的拉伸粘度与应变的关系曲线。它也控

制流体的切变衰减性能。

更准确地说, 附加应力张量 T 用模型表述为:

$$T = \int_{-\infty}^t m(t-t') H(I_1, I_2) C^{-1}(t') dt' \tag{2}$$

式中 I_1 为曲线 C^{-1} ; I_2 为曲线 C , C 是 Cauchy-Green 应变张量, 它的倒数 C^{-1} 叫作 Finger 张量, t 是当前时间, t' 是所有过去经历的时间。 C^{-1} 可以从变形梯度张量计算出。

记忆核 $m(s)$ 由下式给出:

$$m(s) = \sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\lambda_i} \exp(-\frac{s}{\lambda_i}) \tag{3}$$

式中的 g_i 是与松弛时间谱 λ_i 有关的模量。设定 $(g_i, \lambda_i)_{i=1}^n$ 是物料离散的松弛谱, 在线性粘弹性状态下, 方程式(2)反应了作为一系列 n 模式 Maxwell 物料的响应曲线。

如果方程式(2)中 $H=1$, 综合方程式(2)和(3), 便给出了一种 n 模式 Maxwell 流体(不考虑可以被忽略的各向同性项)。在非线性粘弹性状态下, 这样的模型响应曲线要剧烈得多, 没有切变衰减并且拉伸粘度在一定的应变下达到无穷大。

引入阻尼函数 $H \leq 1$, 使我们得出更逼真的非线性响应。最常用的阻尼函数(Wagner)是:

$$H = \exp(-k\sqrt{I}) \tag{4}$$

$$I = \beta I_1 + (1-\beta) I_2 - 3 \tag{5}$$

参数 k 是控制剪切衰变和拉伸粘度的阻尼系数, 可以通过比较剪切粘度的有效公式得到:

$$\eta(\gamma)=\sum_i \frac{g_i\lambda_i}{(1+k\gamma\lambda_i)^2} \tag{6}$$

离散的松弛谱 $\{g_i, \lambda_i\}$ 通过调整到贮存模量 $G'(\omega)$ 和损耗模量 $G''(\omega)$ 的摆动剪切测量结果的松弛来确定。

$$\begin{aligned} G''(\omega_j) &= \sum_{i=1}^n g_i \frac{\omega_j \lambda_i}{(1+\omega_j^2 \lambda_i^2)} \\ G'(\omega_j) &= \sum_{i=1}^n g_i \frac{\omega_j^2 \lambda_i^2}{(1+\omega_j^2 \lambda_i^2)} \end{aligned} \tag{7}$$

已开发一种非线性回归码(程序)用于此目的。参数 β 是拉伸流动的另一个附加阻尼系数,由应力-应变实验结果估算。这种流体被当作一种没有多少惯性效应的非压缩性材料来处理,这种材料的区域方程式为:

$$\text{div } u=0(\text{物理守恒}) \tag{8}$$

$$\text{dir } \sigma=0(\text{动量守恒}) \tag{9}$$

方程式(2)、(8)和(9)应作为一个耦连系统的积分微分联立方程组来解。

在三维空间中,这意味着带有 10 个物理变量的 10 个方程式。这 10 个变量是速度 $u=(u_1, u_2, u_3)$ 、压力 P 和附加应力 T 。

$$T=\begin{Bmatrix} T^{xx} & T^{xy} & T^{xz} \\ T^{xy} & T^{yy} & T^{yz} \\ T^{xz} & T^{yz} & T^{zz} \end{Bmatrix}$$

先前的流动模型主要适用于平面流动或轴对称流动,高序数光谱元件的利用降低了自由度,因此减少了在 PC 兼容机上 CPU 的运算时间和程序。

2 复杂口型

原则上说,在相对简单的口型上模拟挤出膨胀并不难,例如圆形口型和长槽式口型。由于口型和挤出制品做得越来越复杂,数字化模拟膨胀的难度也增大了,不只是考虑解决一个简单问题需要时间,为了使口型设计人员有效地(定量地)处理问题,还需做下列观测。

在平面长槽式口型出口处的膨胀代表预期的最大值,该膨胀局限在一维。与此类似,在圆形口型出口处的膨胀为预期的最小值,由于它均匀地分布在二维空间上,对于更复杂的口型,预期其膨胀值居中,考虑的方法就是从膨胀的两个极值推导出复杂口型膨胀的可能性。这样

一个算法纯粹是几何计算,因此在确定适当的几何变化和确认此技术后,不需要大量的计算资源。此外,“相反的”问题也能够通过简单的反向换算来解决。

这样,有必要以一种严格定义的方式量化口型近似值的程度,局部可按照平面几何或与轴线对称的几何学原理考虑。为此,应相应考虑带长轴 a 和短轴 b 的椭圆。短轴与长轴之比(α)可以当作物体轴对称的测量标准。 $\alpha=1$ 即为一个圆, $\alpha=0$ 基本上对应为一无穷大的缝。因此,如果一个椭圆与球形口型局部有联系,则该椭圆的高宽比可以用作该区域口型如何轴对称的测量标准。

采用这种近似算法开发了一种程序,该程序使用“滚球法”研制出确定口型出口形状的“形心轴”(见图 1)。

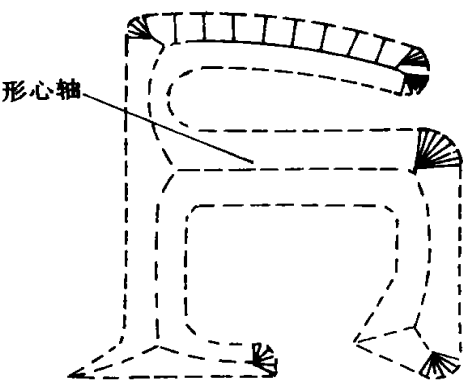


图 1 口型的形心轴

3 材料特性

模拟所需要的粘弹性数据是在 Weissenberg 流变仪上测得的,方程式(7)中的 G' 和 G'' 用含有离散松弛谱的非线性回归法确定,参看表 1。

表 1 NBR/SBR/BR 胶料的粘弹谱

松弛时间/s	模量/k Pa
5.892×10 ⁻³	435.153 16
0.196	78.144 58
0.815	68.858 44
58.43	59.651 92

注:温度为 130℃。

4 模型证实

图 2 和 3 显示出了 Tanner, Coleman, Caswell 和 Crochet 的理论预测和使用第 2 节概述的理论预测的比较结果, 口型膨胀变化曲线为 Weissenberg 数的函数。

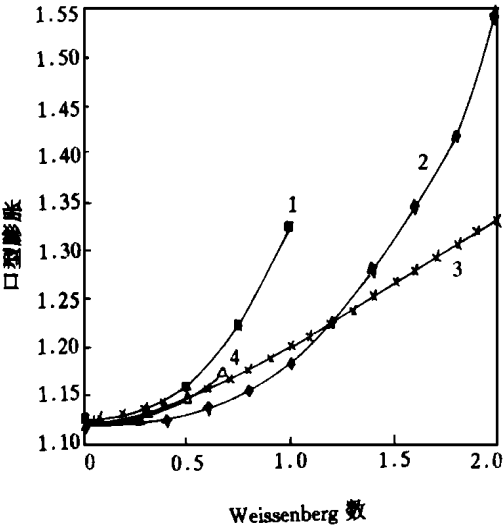


图 2 毛细管口型预测的比较

1—Caswell 的工作; 2—目前的工作; 3—Tanner 的工作; 4—Crochet 的工作

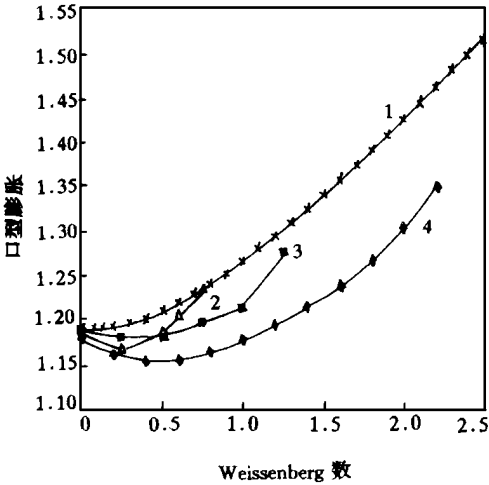


图 3 长槽式口型预测的比较

1—Tanner 的工作; 2—Crochet 的工作; 3—Coleman 的工作; 4—目前的工作

采用的几何形状为圆杆和长槽口。曲线显示出口型膨胀随着 Weissenberg 数的增大而增大, 即随着剪切率和弹性效应的增大而增大。进一步看, 预测模型和 Tanner 的方程式吻合较好, 目前的工作利用个人电脑进行, 并正与 CPU 集中工作站上的模型相比较。

5 模型的实际应用

使用表 1 所述的数据, 经过图 1 所示的口型, 已预测到了图 4 所示的口型膨胀。材料和口型温度为 130 °C, 出胶速率为 525 cm³·s⁻¹。

使用合适的的数据控制程序可以显示出膨胀后的断面形状, 可定量分析膨胀度, 把口型修正合适。凸出的外轮廓见图 4, 显现的膨胀形状可与原来的口型相比较。相反, 从膨胀后的形状也可以反推预测口型的形状(参见图 5)。

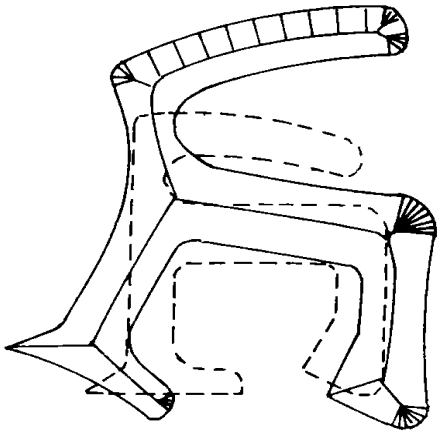


图 4 口型膨胀预测

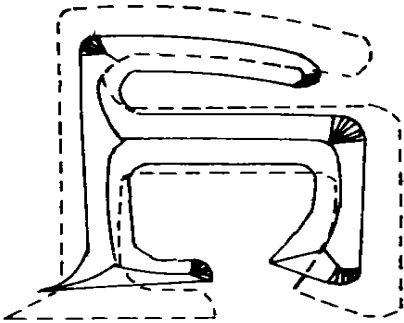


图 5 口型的反推预测

6 结语

这篇文章描述了挤出口型膨胀的基础理论, 论证了采用体现此膨胀理论的用户友好界面软件包的优越之处。口型膨胀的预测现在可以供经验有限的人员使用, 基于有限经验的此软件能够在计算机上优化口型设计, 同时降低成本, 而且最省时间。

译自 德国“Kautschuk Gummi Kunststoffe”,
50[12], 900~902(1997)