

锥形双螺杆实现原料粘度测量的新方法

童风华

(武汉工程大学机电工程学院,湖北 武汉 430074)

摘 要:针对目前高分子原料粘度测量的常规方法,如细管法、旋转法和平板法等不能实现高分子材料成型过程中熔体粘度在线检测的难题,提出了一种在微型锥形双螺杆挤出机上检测高分子原料粘度的新方法:在微型锥形双螺杆挤出机的特定段设计一个导程的全啮合区,通过该啮合区的 C 形腔室容积而获得原料的流量这一重要的参数,同时,设置一回程直圆流道并在其上安置压力和温度传感器从而获得流经该流道的压力差。最后,根据非牛顿流体的力学原理和获得的相关数据即可计算出流经该流道的高分子原料的粘度。与目前常用的其他检测方法比较,该方法可以实现高分子原料在成型过程中的在线检测。

关键词:锥形双螺杆;测量;流量;C 形腔室

中图分类号:TB324

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2013.02.017

0 引 言

粘度是指在流体中流体抵抗其不可逆位置变化的能力,是对流体内部流动阻力的一种度量。粘度测量被广泛应用在石油、化工、纺织、国防、医学等行业。在高分子材料成型领域,高分子原料的粘度特征,是工程技术人员了解材料特性最主要参数之一,对科学选用成型方法和技术参数非常必要。粘度测量的方法有细管法、旋转法和平板法等,这些测量方法一般都设计成专用的测量仪器对高分子材料熔体粘度进行测量,不能实现高分子材料成型过程熔体粘度的在线检测。

锥形双螺杆挤出机是一种高效的混炼、挤出成型设备,具有剪切速率小,物料不易分解,塑化混炼均匀,质量稳定,产量高,适用范围广,使用寿命长等特点^[1-2]。市场上有一种实验室用的微型锥形双螺杆挤出机,通过它可进行样品挤出成型加工,然后对样品进行抗拉、抗压等力学性能实验,从而获得材料的力学性能。下面介绍一种既能进行样品挤出成型加工又能进行高分子原料粘度在线检测的锥形双螺杆挤出机及实施原。

1 实施原理

如图 1 所示,高分子原料从进料口进入锥型双螺杆啮合区,物料被强行向前输送的同时,在加热器和摩擦热的共同作用下逐步塑化,当塑化的

物料到达 C 形腔室处时,此时螺杆处于全啮合状态,塑化且充满型腔的高分子物料呈正位移移动形式,在确定 C 形腔室容积和螺杆转速的条件下,即可获得高分子物料流量这一重要参数。当换向阀的凸台指向 A 处时,原料将从主流道流出并在样品成型机内成型所需样品。当换向阀的凸台指向 B 处时,原料将随回程流道流回到进料口,将回程流道设计成直圆管流道,同时其上装有压力传

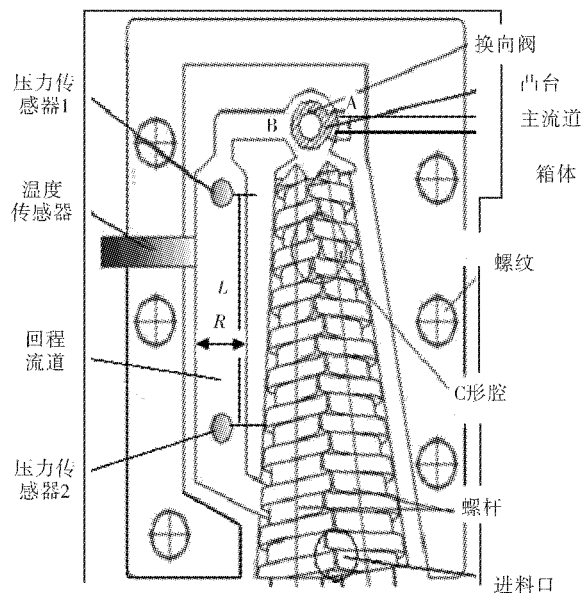


图 1 在线检测高分子材料粘度原理图

Fig. 1 The schematic diagram of on-line detecting to viscosity of the polymer materials

收稿日期:2012-10-30

基金项目:武汉市科技攻关项目(201010621223)

作者简介:童风华(1968-),男,湖北仙桃人,讲师,硕士,研究方向:高分子材料成型。

感器1和压力传感器2和温度传感器,可获得两压力传感器间压力差。这样,在确定了流量、压力差及直圆管几何参数的情况下,依据非牛顿流体力学特性,即可获得高分子原料的粘度。

2 力学原理

塑化的高分子原料呈非牛顿流体特征,当其通过直圆管流道区域作层流流动,即流场中每一物质点均承受剪切速率的简单剪切形变,流体的粘度等于流体元承受的剪切应力除以剪切速率。

2.1 剪切应力

假设在半径为 R 的圆管中,不可压缩流体在两端压力差为 ΔP 的作用下,以等温轴向层流方式流动。在无限长的管道中取半径为 r 及长度为 l 的液柱。如图2所示,那么所取圆柱流体所受的合力是相互平衡的,即在半径为 r 的圆柱面上熔体粘性流动的阻力与压力差作用在其上的推力相等,其关系式为

$$\tau_w \cdot 2\pi \cdot r \cdot l = \Delta P \cdot \pi \cdot r^2 \quad (1)$$

于是,剪切应力为

$$\tau_w = \frac{\Delta P}{2l} \cdot r \quad (2)$$

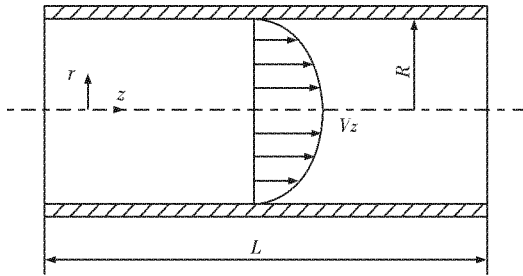


图2 直圆管流道的几何特征

Fig. 2 The geometric characteristics of the cylindrical channel

2.2 表观粘度

将流经直圆管的流体视为牛顿流体,求出其表观剪切速率 γ_a , 然后根据具体物料的性质 (τ_w 与 γ_a 的本构关系), 求得非牛顿流体管壁处的真实粘度。

根据粘度定义, 牛顿流体的表观剪切速率为

$$\gamma_a = -\frac{dV_z}{dr} = \frac{\tau_w}{\eta_a} = \frac{\Delta P}{2\eta_a \cdot l} \cdot r \quad (3)$$

当 $r=R$ 时, 管壁上的表观剪切速率为

$$\gamma_a = \frac{\Delta P}{2\eta_a \cdot l} \cdot R \quad (4)$$

流体在直圆管通道中的轴向速度为

$$V_z = \frac{\Delta P}{4\eta_a \cdot l} \cdot (R^2 - r^2) \quad (5)$$

单位时间通过直圆管流道端面的流量为

$$Q = \int_0^R 2\pi \cdot r \cdot V_z dr =$$

$$\int_0^R 2\pi \cdot r \cdot \frac{\Delta P}{4\eta_a \cdot l} \cdot (R^2 - r^2) dr = \frac{\pi \cdot \Delta P}{8\eta_a \cdot l} \cdot R^4 \quad (6)$$

所以, 管壁表观粘度与流量关系为

$$\eta_a = \frac{\pi \cdot \Delta P}{8l \cdot Q} \cdot R^4 \quad (7)$$

得到管壁表观剪切速率与流量关系为

$$\gamma_a = \frac{4Q}{\pi \cdot R^3} \quad (8)$$

2.3 真实粘度

根据 Rabinowich-Mooney 方程, 非牛顿流体管壁处的真实剪切速率与表观剪切速率存在如下关系, 应校准为

$$\gamma_w = \frac{3n+1}{4n} \gamma_a \quad (9)$$

式(9)中 n 为非牛顿指数。

$$n = \frac{d \ln \tau_w}{d \ln \gamma_a} \quad (10)$$

由此获得真实粘度为

$$\eta = \frac{\tau_w}{\gamma_w} = \frac{\pi \cdot n \cdot \Delta P}{2(3n+1) \cdot l \cdot Q} \cdot R^4 \quad (11)$$

2.4 流量 Q 与 C 形腔室容积 V

从以上力学分析来看, 在确定了直圆流道的几何参数和压力差的情况下, 要获得非牛顿流体原料的粘度, 还必须获得流量这一关键参数。

利用锥形双螺杆处于全啮合状态时, 螺杆旋转一周, C 形腔室向前移动一个导程 S , 当螺杆的转速和全啮合状态下 C 形腔室形参确定时, 就可获得流体在流道中的流量。

为便于计算, 以中锥角为顶角形成的圆锥体为计算的模型基准, 且假设螺棱侧壁垂直于螺槽底面及螺棱间隙、径向间隙、四面体间隙及侧间隙大小忽略不计, 依据 Janssen 的计算公式计算出流量, C 形腔室的体积拟从某一长度空料筒的体积减去相应长度螺杆的体积求出, 再进行一个导程长度的计算, 即可得出 m (螺纹头数) 个腔室的体积。一个导程长度上半个料筒的体积为^[3]:

$$V_1 = \left[\left(\pi - \frac{\alpha}{2} \right) R^2 + \left(R - \frac{H}{2} \right) \sqrt{\left(R \cdot H - \frac{H^2}{4} \right)} \right] S \quad (12)$$

式(12)中 $\alpha = 2 \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\sqrt{R \cdot H - H^2/4}}{R - H/4} \right]$ 。

一个导程上螺杆根径所构成的圆柱体的体积为

$$V_2 = \pi(R-H)^2 S \quad (13)$$

一根螺棱的体积为

$$V_3 = 2\pi \left((R \cdot H - \frac{H^2}{2})B + (R \cdot H^2 - \frac{2}{3}H^3) \tan \phi \right) \quad (14)$$

则一个 C 形小室的体积为

$$V = \frac{V_1 - V_2 - m \cdot V_3}{m} \quad (15)$$

流量 Q 为

$$Q = V \cdot m \cdot n \cdot \rho \quad (16)$$

其中: R 为螺杆的外径; H 为 C 形腔室的深度; B 为外径处在轴线方向的螺棱宽度; m 为螺纹头数; S 为螺纹导程; ϕ 为螺纹的侧面角; n 为螺杆转速; ρ 为流体的密度。

3 结 语

以上阐述了在一种在微型锥形双螺杆上设置一个导程的全啮合区,通过该啮合区 C 形腔室容积而获得原料的流量这一重要的参数,同时,通过设置一回程直圆流道并在上安置压力和温度传感器而获得流经该流道而引起的压力差,根据非牛

顿流体的力学原理即可获得流经该流道聚合物的粘度.在现有锥形双螺杆试验机上增加了实时测量聚合物粘度功能提升了实验机的应用效率,同时又提出一种测量聚合物粘度的新方法.

采用微型锥形双螺杆挤出机在线测量聚合物粘度的新方法应到工程实际要需解决一下难题:一是提高试验机各零部件的设计、制造精度以及安装精度达到提高实验机的运行精度,另外,建立起引起系统误差的数学模型,通过误差补偿,修正实际粘度的计算模型,提高测量粘度的准确性.

致谢

感谢武汉市科技局给予的经费支持.

参考文献:

- [1] 柳和生,黄文伟.异向旋转双螺杆啮合几何学研究[J].塑料开发,1991,18(3):163-167.
- [2] 陈怡,刘廷华.螺杆挤出装备技术现状及其进展[J].挤出设备,2002(3):3-9.
- [3] Mjanssen L P B.双螺杆挤出[M].耿孝正,译.北京:轻工业出版社,1986.

New method of detecting viscosity of polymer materials with miniature conical twin screw extruder

TONG Feng-hua

(School of mechanical engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: A new method of detecting viscosity of the polymer materials with miniature conical twin screw extruder was investigated. The new method was achieved by the following three steps: Firstly, volume of the C-shaped chamber was ascertained by setting a full engagement region in one miniature conical twin screw extruder during one lead. and flow rate was obtained by the volume of the C-shaped chamber and other known parameters. Secondly, one backhaul cylindrical channel was set inside the miniature conical twin screw extruder. Pressure difference and temperature of the backhaul cylindrical channel were detected with corresponding sensors. Thirdly, the viscosity of the polymer materials was worked out as per Robinowich-Mooney equation and all known parameters. Compared with the present traditional methods of detecting viscosity of the polymer materials, online detecting can be achieved merely by the new method.

Key words: conical twin screw; viscosity measurement; flow; c-shaped chamber

本文编辑:陈小平