

注塑工艺参数对聚丙烯塑料熔体表观黏度的影响

权 非*, 曹阳根, 张 涛, 宁 丹, 杨尚磊

(上海工程技术大学 材料工程学院, 上海 201620)

摘 要:为了研究注塑工艺参数对表观黏度的影响,利用内置在阿基米德螺旋线模具中的 Kistler 压力传感器,采集聚丙烯(PP)塑料注塑过程中的数据信号,通过 CoMo Injection 软件处理数据,得到熔体填充曲线。分析熔体填充曲线,利用压力差和时间差计算 PP 塑料熔体在假塑性区的表观黏度和表观剪切速率。结果显示,表观黏度随剪切速率的提高而降低,有明显的剪切变稀现象。熔体温度增加,模具温度升高和注塑压力加大同样能够降低表观黏度。

关 键 词:注塑工艺;聚丙烯;表观黏度;假塑性

中图分类号:TH162 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2015)03-0014-03

Effect of Injection Process Parameters on PP Plastic Melt Apparent Viscosity

QUAN Fei*, CAO Yanggen, ZHANG Tao, NING Dan, YANG Shanglei

(School of Material Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: In order to study the influence of the injection molding process parameters on the apparent viscosity, collected the data signals in the process of PP plastic injection molding by using the pressure sensor built-in the Archimedes spiral mould, obtained the melt filling curve by CoMo Injection software. The apparent viscosity and shear rate were calculated by analyzing the pressure difference and time difference in pseudoplastic area. The result shows the apparent viscosity decreases with the increase of shear rate, shear becomes thinning obviously. Increasing melt temperature, mold temperature and injection pressure can also reduce the apparent viscosity.

Key words: injection process; polypropylene (PP); apparent viscosity; pseudoplastic

聚丙烯(PP)属于结晶性高聚物,有着质轻、无毒、价廉、耐高温等优点,在医药、食品、汽车和化工等领域中有着广泛的用途^{[1]10}。PP 是典型的热塑性塑料之一,自从米兰理工大学的 G. Natta 教授发现等规聚丙烯以来,全球的聚丙烯工业迅速发展,现今产量仅次于聚乙烯^{[1]3}。注塑成型能够一次成型外形复杂、尺寸精确或带有嵌件的塑料制品,是塑料加工的主要方法之一。塑料熔体的表观黏度可以指导拟定注塑工艺,也能够指导模具型腔设计和优化流道浇注系统^[2]。

研究熔体表观黏度一般有实验测定与注射成型 CAE 技术 2 种方法,这些方法都有各自的优点与局限性^{[3]180}。根据实际注射生产过程中出现的数据,分析塑料表观黏度的方法就显得尤为必要,因此文章从 PP 注塑工艺出发,讨论了注塑工艺参数对表观黏度的影响。

1 实验部分和表观黏度数值计算

1.1 实验材料和设备

PP(聚丙烯)原料是某石油化工股份有限公司的 PPH-M26(M2600),产品批号是 G313-10-05,流动性参数如表 1(节选自检验报告)所示。

表 1 PP 熔体质量流动速率

Table 1 PP melt mass flow rate

类别	熔体质量流动速率/(g·min ⁻¹)	试验方法
质量指标	2.30~2.90	GB/T3682-2000
实测结果	2.41	

实验用的注塑机型号为 EM-150V,射胶容积 332 cm³,螺杆直径 46 mm,注塑压力(最大)138 MPa,锁模力(最大)1 500 kN。采用的模具是阿基米德螺旋线模具,型腔截面为矩形,尺寸 10 mm×3 mm,模具中内置

压力传感器,具体参数如图 1 所示。数据处理系统是 CoMo Injection 软件,模具温度利用接触式温度测量仪得到。

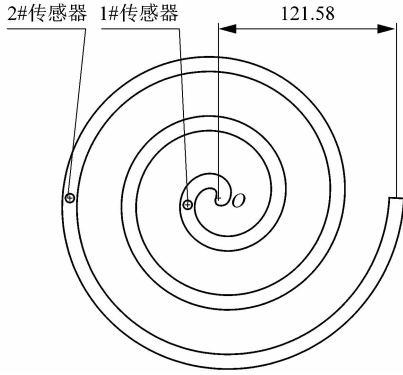


图 1 阿基米德螺旋线模具型腔

Figure 1 Archimedean spiral mould cavity

1.2 熔体填充过程曲线

在 PP 熔体 200 ℃,模具温度 30 ℃ 的注塑过程中,利用 CoMo Injection 系统分析压力传感器采集的压力信号,得熔体填充的压力时间曲线,分析得到 ΔP 和 Δt ,如图 2 所示。建立熔体在螺旋线模具中的流动模型,计算表观黏度^[4]。

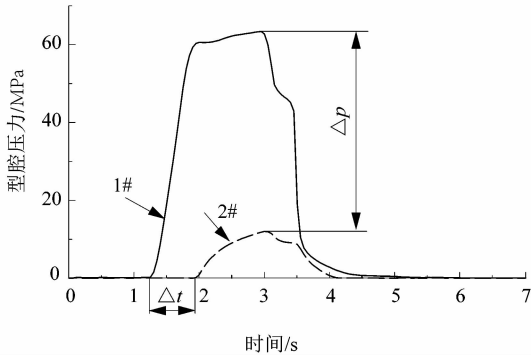


图 2 PP 熔体填充的压力时间曲线

Figure 2 PP melt filling pressure time curve

1.3 表观黏度数值计算方法

螺旋线模具型腔近似为直条状,熔体流动方向为 x 轴,型腔厚度方向为 y 轴, x 方向速度为 $u_x = u(y)$, y 方向速度 $u_y = 0$,如图 3 所示^{[5]184}。

依据模型分析,可得沿 x 轴方向熔体连续性方程^{[3]90}和动量方程^{[5]157},分别如式(1)和式(2)所示

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} = g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\eta}{\rho} \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2}, \quad (1)$$

$$\frac{dp}{dx} = \eta \frac{d^2 u}{dy^2}. \quad (2)$$

式中: t 为时间; g 为重力; ρ 为流体密度; p 为流体受到

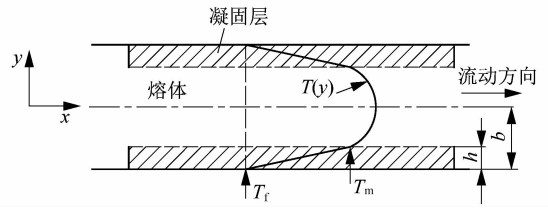


图 3 熔体填充冷却温度分布图

Figure 3 Melt filling cooling temperature distribution of the pressure; η 为黏度。

设边界条件 $y = \pm b, u = 0$, 其中 b 等于型腔厚度的一半。将式(2)二次积分,得

$$u = \frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dx} (y^2 - b^2), \quad (3)$$

$$Q = 2 \int_0^b u w dy = \frac{2}{3} \frac{w b^3}{\eta} \frac{dp}{dx}. \quad (4)$$

式中: Q 为体积流量; w 为型腔宽度,取为 10 mm。

型腔边界处剪切速率为表观剪切速率 $\dot{\gamma}_\alpha$, 由式(4)可得

$$\dot{\gamma}_\alpha = \frac{1}{\eta} \frac{dp}{dx} b = \frac{3Q}{2wb^2}. \quad (5)$$

图 3 中阴影部分为熔体凝固层,模具温度为 T_f ,凝固层内壁温度为 T_m ,则冷却温度曲线如 $T(y)$ 所示。假定聚丙烯熔体是密实的,则平均厚度 $\bar{h}$ ^{[5]185} 有

$$\bar{h} = \sqrt{\frac{\lambda_s \Delta t}{Q_E \rho_s}} (T_m - T_f), \quad (6)$$

式中: λ_s 为熔体凝固层导热系数; Q_E 为聚丙烯熔化潜热; ρ_s 为凝固层密度。

$$Q = \frac{2(b - \bar{h})w \Delta l}{\Delta t}, \quad (7)$$

式中: Δl 为 1#和 2#压力传感器之间沿型腔中线(阿基米德螺旋线)的距离。

表观黏度 $\dot{\eta}_\alpha$ 有

$$\dot{\eta}_\alpha = \frac{2wb^3 \Delta p}{3Q \Delta l}. \quad (8)$$

2 注塑参数对 PP 表观黏度的影响

2.1 熔体温度的影响

为便于比较,熔体温度的设定是将料筒的各段温度设成相同的温度,例如将料筒 3 段温度都设定成 190 ℃。在 60 MPa 注塑压力,50 ℃ 模具温度等相关注塑参数保持不变情况下,将熔体温度从 190 ~ 220 ℃ 每间隔 5 ℃ 逐次增加。从螺旋线长度上来看,注塑螺旋线长度随熔体温度提高而变长,定性的表明 PP 熔体流动性增加,黏度降低^[6]。利用公式(8)计算得表观黏度 $\dot{\eta}_\alpha$ 与熔体温度曲线,如图 4 所示。

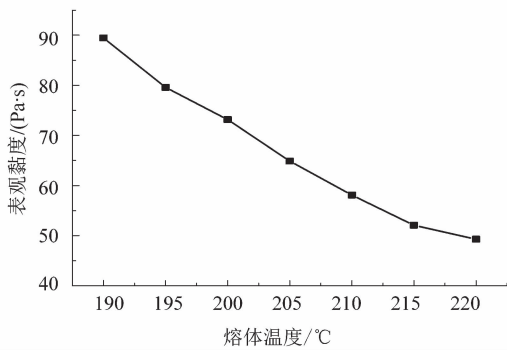


图4 表观黏度与熔体温度曲线

Figure 4 Apparent viscosity and melt temperature curve

从图4可知,表观黏度随熔体温度的提高而降低,表现非牛顿流体的典型特征。从分子运动角度来看,黏度一般随温度的升高而降低。当熔体温度升高时,PP链段活动能力增加,体积膨胀,分子间相互作用力减小,流动性增大,黏度相应降低。

2.2 注塑压力与模具温度的影响

实际模具调试中,往往都是固定最佳熔体温度区,改变注塑压力及模具温度等注塑参数^[7-9]。本实验中,将熔体温度(3段料筒温度)固定为200,210和190℃,保持其他相关注塑参数不变,分别改变注塑压力和模具温度。具体操作是先固定模具温度,从56~76 MPa依次改变注塑压力;然后,改变模具温度(30~80℃),重复上述操作。将数据计算分析后得图5和图6。

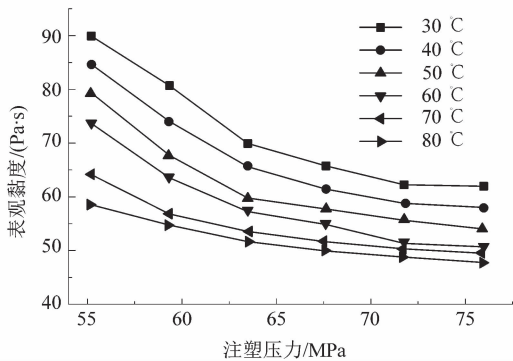


图5 表观黏度与注塑压力和模具表面温度曲线

Figure 5 Apparent viscosity and injection pressure and mould surface temperature curve

从图5中看出模具温度相同,表观黏度都随注塑压力的增加而降低,而且降幅逐渐减小。注塑压力一定时,表观黏度随模具温度的提高而降低,模具温度在50~80℃时,表观黏度变化幅度相对较小^[10]。

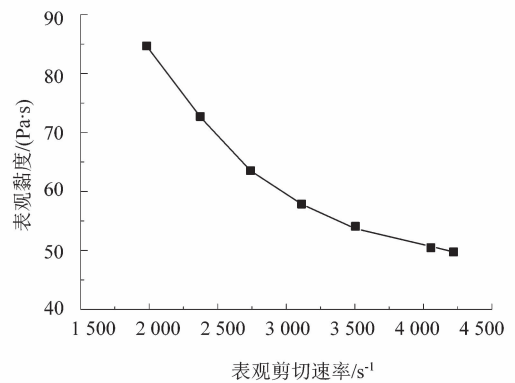


图6 表观黏度与表观剪切速率曲线

Figure 6 Apparent viscosity and shear rate curve

由图6中可以得出表观黏度与表观剪切速率近似指数关系变化,有明显的剪切变稀现象。

3 结语

PP塑料熔体的表观黏度随熔体温度的提高(190~220℃)而近似线性降低。在最佳塑料熔体温度区,塑料熔体表观黏度随注塑压力和模具温度的增加而降低,与表观剪切速率近似指数关系变化,符合典型非牛顿流体在假塑性区流动现象。就塑料熔体的表观黏度随注塑工艺参数的变化研究对提高注塑制品质量(包括内部质量和表观质量),都有重要参考价值。而且对注塑模具设计,特别是浇口和流道设计有重要指导意义。

参考文献:

- [1] 内罗·帕斯奎尼(Nello Pasquin). 聚丙烯手册[M]. 2版. 胡友良, 王志刚, 阳明书, 等, 译. 北京: 化学工业出版社, 2008: 3-10.
- [2] 洪慎章. 精密注射成型与模具设计的因素[J]. 模具技术, 2005(4): 24-33.
- [3] 金日光, 马秀清. 高聚物流变学[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2012: 88-195.
- [4] 裴士轻, 曹阳根, 李晋昇, 等. 基于时差和压差的塑料熔体流变性测试方法研究[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(2): 84-88.
- [5] 王兴天. 注塑成型技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1989: 70-276.
- [6] 徐佩弦. 高聚物流变学及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 49-139.
- [7] KURT M, KAMBER O S, KAYNAK Y, et al. Experimental investigation of plastic injection molding: assessment of the effects of cavity pressure and mold temperature on the quality of the final products[J]. Materials and Design, 2009, 30(8): 3217-3224.
- [8] 王利霞, 申长雨, 陈静波, 等. 注塑充模过程中温度场的数值分析[J]. 中国塑料, 2001, 16(6): 55-59.
- [9] 虞俊波, 周小林, 邓常乐, 等. 有限元网格质量和材料黏度模型对注塑件翘曲分析的影响[J]. 轻工机械, 2014, 32(2): 1-4.
- [10] MENGES G, MICHAELI W, MOHREN P. 注射模具制造工程[M]. 闫光荣, 许鹤峰, 译. 北京: 化学工业出版社, 2003: 227-288.