

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.12.011

圆环和锥形口模挤出吹塑的数值研究

李静¹, 彭炯¹, 刘沙粒¹, 于涛², 张丁²

(1. 北京理工大学化工与环境学院, 北京 100081; 2. 燕山石化树脂研究所, 北京 102400)

摘要: 用 Polyflow 软件的 Carreau 本构模型, 数值模拟了用于管材挤出吹塑和型坯成型的圆环口模和锥形口模内熔体及其型坯的三维等温流场, 考虑了挤出胀大和垂伸效应的综合影响, 分析了两种口模的差异。数值计算结果表明, 对于同一直径和口模间隙的环形口模和锥形口模, 在相同入口流量下, 环形口模内熔体的压力梯度大于锥形口模, 环形口模成型型坯的厚度小于锥形口模, 环形口模成型型坯的直径大于锥形口模; 环形和锥形口模内熔体的压力梯度随着入口流量的增加而增加, 在环形和锥形口模成型型坯的底端, 型坯的厚度和外半径随着入口流量的增加而增加; 锥形口模成型型坯厚度较环形口模对流量更敏感。

关键词: 挤出胀大; 垂伸效应; 环形口模; 锥形口模; 数值模拟

中图分类号: TQ320.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-3539(2012)12-0046-04

The Numerical Study on Annular Die and Tapered Die in Extrusion Blow Molding

Li Jing¹, Peng Jiong¹, Liu Shali¹, Yu Tao², Zhang Ding²

(1. School of Chemical Engineering and the Environment, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Yanshan Petrochemical Resin Research Institute, Beijing 102400, China)

Abstract: The commercial software Polyflow was used to provide numerical results for three-dimensional isothermal flow field of melt and its parison in annular die and tapered die used in pipe extrusion blow molding and parison formation based on Carreau constitutive model. The difference of annular die and tapered die was also analyzed by considering the comprehensive effect of parison swell and sag in extrusion. The results showed that at the same entrance flow rate, with the same diameter and die gap, the pressure gradient of melt in the annular die was larger than that of the tapered die, the thickness of the parison formed by the annular die was smaller than that formed by the tapered die, the diameter of parison formed by the annular die was larger than that formed by the tapered die. The pressure gradient in the annular die and the tapered die increased with increase of the entrance flow rate. At the bottom of the parison formed by the annular die and the tapered die, the thickness and the outer radius increased with increase of the entrance flow rate. The thickness of the parison formed by tapered die was more sensitive to the entrance flow rate than that formed by the annular die.

Keywords: swell; sag; annular die; tapered die; numerical simulation

高分子熔体在进入口模时受到强烈的拉伸和剪切形变, 这些形变在口模中只有部分得到松弛, 剩余的部分在挤出口模后发生弹性恢复, 出现挤出胀大现象。高聚物熔体由于重力作用而产生的垂伸效应会使型坯产生收缩现象。挤出胀大现象和垂伸效应综合作用于型坯, 对挤出吹塑成型工艺的选择及口模的设计非常重要, 也使得口模的设计十分复杂。

赵良之^[1]从实验和理论上研究了不同收敛角度的圆锥口模对挤出胀大的影响。王洪波^[2]以毛细管流变仪为平台, 将不同长径比的口模与自行加工的不同入口角度的口模配合使用, 实验研究了口模的长径比和入口角对挤出胀大的影响。近年

来, 数值模拟已经成为预测型坯形成的重要工具。A.M.Yousefi 等^[3]以高密度聚乙烯 (PE-HD) 为研究材料, 考虑了挤出胀大、垂伸效应等因素, 用实验和数值模拟的方法研究了口模的几何尺寸及操作条件对型坯形成的影响, 并且通过对比实验数据和预测结果, 证明了数值模拟方法在预测制品的厚度和质量分布方面的有效性。周国发等^[4]通过数值模拟研究了松弛时间和黏度对口模挤出胀大的影响。Li Yong 等^[5]用 Carreau-Yasuda law 和 Phan-Thien Tanner (PTT) 模型模拟了三维管材挤出中口模内熔

联系人: 彭炯, 副教授, 从事化学工程与技术工作

收稿日期: 2012-09-17

体流出口模的挤出胀大行为。笔者主要数值计算了不同流量下一种用于工业生产的锥形口模的挤出胀大行为,与相同口模间隙的环形口模进行了对比,以期为实际生产提供理论依据和技术支持。

1 几何模型和数学模型

1.1 口模的几何结构

在实际生产中,环形口模和锥形口模是工业生产中经常使用的两种口模。为了研究两种口模的区别,指导工业生产,使用 GAMBIT 软件建立圆环和锥形口模的三维几何模型,环形口模和锥形口模的出口间隙为 3 mm,出口外径为 144.5 mm。采用六面体网格划分计算域。口模的几何模型如图 1 所示。口模流道的网格划分如图 2 所示。



(a) (b)
a—环形口模; b—锥形口模
图 1 口模的几何模型



(a) (b)
a—环形口模; b—锥形口模
图 2 计算域的网格划分

1.2 控制方程

假设聚合物熔体为等温、不可压缩和层流流动,描述熔体流动的控制方程如下所示。

连续性方程:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

运动方程:

$$-\nabla p \mathbf{I} + \nabla \tau - \rho \mathbf{F} = \rho \frac{d\mathbf{u}}{dt} \quad (2)$$

应力张量:

$$\tau = 2\eta \mathbf{D} = (\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T) / 2 \quad (3)$$

本构方程:

$$\eta = \eta_0 [1 + (\lambda \dot{\gamma})^2]^{(n-1)/2} \quad (4)$$

式中: $\mathbf{u}$ ——速度, m/s ;

p ——压力, Pa ;

$\mathbf{I}$ ——单位张量;

τ ——应力张量, Pa ;

$\rho \mathbf{F}$ ——质量力;

$\rho \frac{d\mathbf{u}}{dt}$ ——惯性力;

η ——剪切黏度, Pa · s ;

$\mathbf{D}$ ——变形速率张量, s⁻¹ ;

η_0 ——零剪切黏度;

λ ——松弛时间, s

$\dot{\gamma}$ ——剪切速率, s⁻¹ ;

n ——非牛顿指数。

所用材料为 PE-HD 5200B, 密度为 960 kg/m³, 180 ℃ 时 PE-HD 熔体的 Carreau 模型参数为 $\eta_0 = 1.27 \times 10^4$ Pa · s, $\lambda = 0.34$ s, $n = 0.4$ 。

1.3 边界条件和计算方法

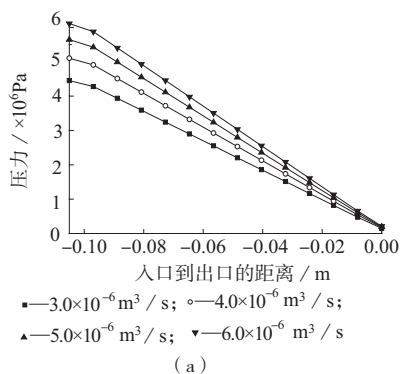
在数值计算熔体流场时,口模的壁面设为静止壁面,型坯的壁面设为自由表面,在 HPXW9300 工作站上完成计算。采用 Picard 迭代,收敛判定标准为相对迭代误差不超过 10⁻³。

2 结果与讨论

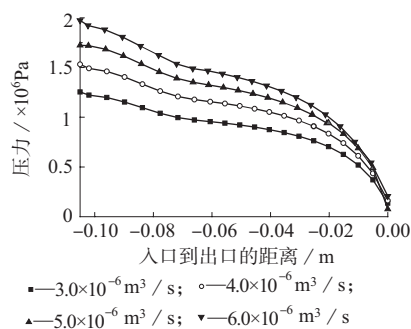
型坯成型过程中,由于聚合物材料具有挤出胀大特性和垂伸效应,设计挤出机的口模需要根据加工产品的断面进行调试修正,成本高,效率低。如果数值计算熔体的流动状态,预测型坯的形状,则会提高效率,节约成本。实验时口模的挤出温度为 180 ℃ 左右,笔者数值计算了 180 ℃ 时入口流量为 3.0×10^{-6} , 4.0×10^{-6} , 5.0×10^{-6} 和 6.0×10^{-6} m³/s 时的圆环和锥形口模的流场,以期口模的设计提供理论依据。

熔体发生破裂是由于流道内熔体的压力和速度具有波动,因此研究口模内熔体的压力随流量的变化具有重要的意义。图 3 给出了不同流量下环形口模和锥形口模内熔体的压力从入口到出口的分布。由图 3 可以看出,锥形口模和环形口模内熔体的压力随着入口流量的增加而增加,随着离口模出口的距离变小而逐渐减小,环形口模内熔体的压力梯度大于锥形口模。在入口流量为 6×10^{-6} m³/s 时,环形口模内熔体的最大压力约为锥形口模内熔体最大压力的 3 倍。在相同流量下,环形口模成型的型坯比锥形口模更易发生熔体破裂。

图 4 给出了不同流量下环形和锥形口模成型型坯的速度随着离开口模距离的变化情况。由图 4 可



(a)



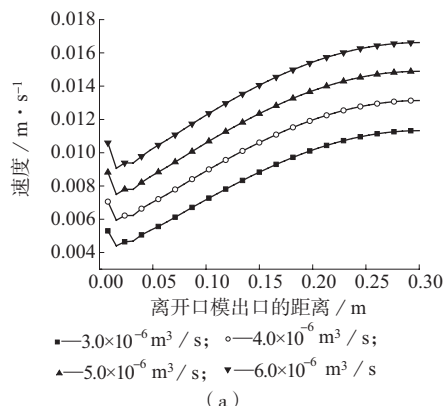
(b)

a—环形口模; b—锥形口模

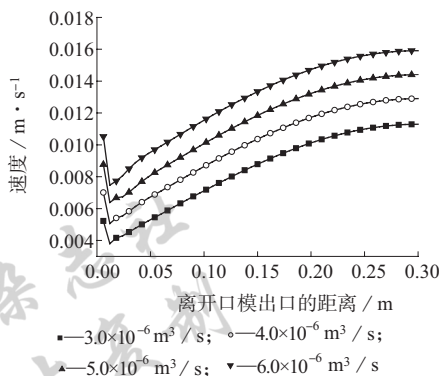
图3 不同流量下环形口模和锥形口模内熔体的压力从入口到出口
的分布

以看出,环形口模和锥形口模成型型坯的速度随着流量的增加先降低而后增加。在型坯的顶端,锥形口模成型型坯速度的下降比环形口模快。离开口模后,由于应力松弛速度下降,而大部分型坯在重力的作用下其成型速度随着与口模的距离增大而增加。由于在环形口模的沿型坯挤出方向的速度矢量比锥形口模大,环形口模成型型坯的速度大于锥形口模。

图5给出了不同流量下环形口模和锥形口模成型型坯的厚度随离开口模距离的变化情况。由图5可以看出,环形口模成型型坯的顶端厚度随流量的变化不大,型坯的其余部分随着流量的增加而增加。锥形口模的成型型坯的顶端厚度的增加量大于环形口模,并且随着入口流量的增加而增加。型坯的厚度随着离开口模距离的变大先增大后减小,锥形口模成型型坯的厚度大于环形口模。当入口流量为 $6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ 且型坯的长度大于 0.08 m 时,环形口模的型坯的厚度小于口模间隙 3 mm ; 相同入口流量下,当型坯的长度大于 0.12 m 时,锥形口模型坯的厚度小于口模间隙 3 mm 。在管材挤出吹塑中,可以根据数值计算的结果,预测管材的厚度偏离口模间隙的程度。由此看出,锥形口模成型型坯的厚度对流量较环形口模

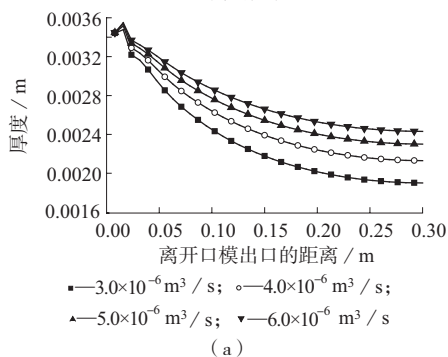


(a)

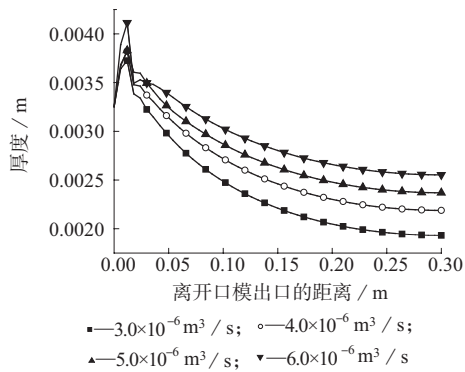


(b)

a—环形口模; b—锥形口模

图4 不同流量下环形和锥形口模成型型坯的速度随离开口模出口
距离的变化

(a)



(b)

a—环形口模; b—锥形口模

图5 不同流量下环形和锥形口模成型型坯的厚度随离开口模出口
距离的变化

更敏感。

图6给出了不同流量下环形口模和锥形口模成型型坯的外半径随离开口模距离的变化情况。在环形口模成型的型坯顶端,流量对于型坯挤出胀大的影响不明显,而在型坯的其余部分,型坯的外半径随着流量的增加而增加。在锥形口模成型型坯的顶端,外半径的增加率小于环形口模,在型坯的底端,型坯的外半径随着入口流量的增加而增加。当流量为 $6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ 时,环形口模成型型坯的外半径随着离开口模距离的增大先增大后减小,其最大值为0.075 m,型坯直径的变化范围为0.115~0.15 m;锥形口模成型型坯的外半径随着离开口模距离的增大逐渐减小,其型坯直径的变化范围为0.1~0.145 m。在管材挤出吹塑中,可以根据数值计算的结果,预测不

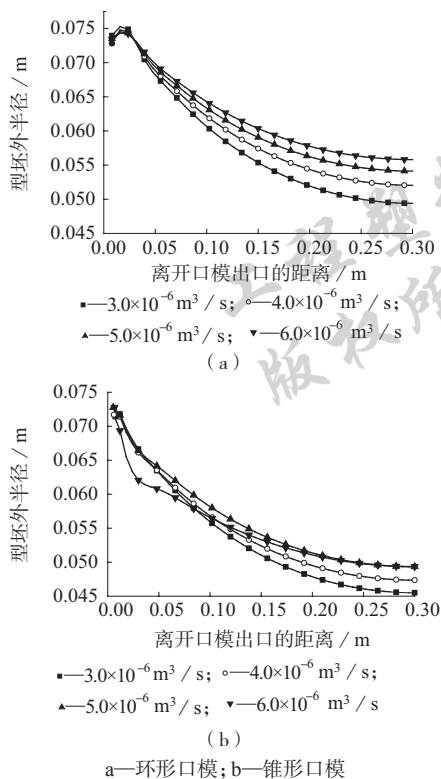


图6 不同流量下环形和锥形口模成型型坯的外半径随离开口模距离的变化

同流量下,管材的直径和口模出口直径的偏差值。

通过模拟计算,可以得到不同流量下两种口模的挤出胀大和垂伸效应分析结果,为吹塑和管材加工中选择口模几何结构和设计口模间隙提供技术支持。

3 结论

(1) 环形口模和锥形口模内熔体的压力梯度随着入口流量的增加而增加。在相同流量下,环形口模内熔体的压力梯度大于锥形口模。环形口模内的压力梯度从入口到出口随着离口模出口距离的减少呈线性下降,而对于锥形口模,流道的截面积有变化,压力变化得到缓冲,压力降较小。环形口模内挤出的熔体易产生熔体破裂。

(2) 锥形口模成型型坯的速度较环形口模的小,对于相同长度的型坯受重力作用的时间长,垂伸效应明显。

(3) 型坯的厚度变化与口模的几何形状有关,在相同流量下,锥形口模厚度大于环形口模。

(4) 型坯的直径变化也与口模的几何形状有关,环形口模成型型坯的直径大于锥形口模,且环形口模成型型坯的直径最大值大于锥形口模。

相比于环形口模,锥形口模成型的型坯厚度对流量更敏感。

参考文献

- [1] 赵良之. 不同角度圆锥口模对聚合物熔体挤出胀大的影响[J]. 合成树脂及塑料, 2005, 33: 116-118.
- [2] 王洪波. 聚合物挤出胀大的实验研究及预测系统开发[D]. 内蒙古: 内蒙古工业大学, 2007.
- [3] Yousefi A M, Collins P, Chang S, et al. A comprehensive experimental study and numerical modeling of parison formation in extrusion blow molding [J]. Polymer Engineering and Science, 2007, 47 (1): 1-13.
- [4] 周国发, 黄潇, 胡晨章. 聚合物粘弹流变性能参数对口模挤出胀大的影响[J]. 工程塑料应用, 2008, 36 (5): 30-33.
- [5] Li Yong, Zheng Jianrong, Xia Chunmin, et al. A finite piece method for simulating polymer melt flows in extrusion sheet dies [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 123: 3 189-3 198.

聚氨酯纳米新材料可阻挡子弹

莱斯大学的研究人员最近研发出了一种复杂的聚氨酯纳米材料,这种材料可以阻挡子弹。研究人员说,虽然目前这种材料还不能抵挡较大口径的子弹,但9 mm的子弹还是可以轻易被这种材料所拦截,在子弹彻底渗透前将子弹射入时造成的洞封死。

研究人员称,这种新型的聚氨酯纳米材料可将自身融为

液态,起到阻止子弹前行并且堵住子弹入口的作用。目前所有有对这种材料的射击都没能让材料本身产生破裂或损坏,未来如果将这种材料用在玻璃上,那么子弹就无法对玻璃造成伤害了,只会将子弹包裹在材料中,玻璃只会发生轻微形变。

但这项研究现在还停留在初级阶段,真正的应用可能还需要很长一段时间。(环球聚氨酯网)