

NR/炭黑混炼胶平入口收敛流动的二维有限元模拟

钟明强

(华南理工大学 工业装备与控制工程学院, 广东 广州 510640)

摘要:应用 ANSYS 软件对 NR/炭黑混炼胶的平入口收敛流动进行二维有限元模拟。分析了在不同初始速度(v_0)下流道内速度分布、延伸速率、剪切速率以及流体自然收敛角的变化。结果显示,流体自然收敛半角随着 v_0 的增大而减小;剪切速率则随着 v_0 的增大而呈非线性提高;延伸速率于入口处达到最大值。

关键词:有限元模拟;混炼胶;收敛流动;速度场

中图分类号:TQ330.6+3;O241.82 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-890X(2004)10-0616-04

当聚物流体从料筒被压入口模流道时,由于流道截面的突然收缩和流体的粘弹性而产生入口收敛流动^[1]。收敛流动是聚合物材料加工成型过程中常见的流型,如模压、挤出或注塑成型。深入研究聚合物入口收敛流动的流型及其影响因素对促进流变学理论的发展以及指导聚合物加工工艺及模具设计有积极的意义^[1]。在以前的工作中,梁基照^[2]应用流动可视化技术观测了低密度聚乙烯(LDPE)熔体在挤出口模流动时的入口区流型。本研究利用有限元方法分析 NR/炭黑混炼胶平入口收敛的流型。

1 理论分析

1.1 假设条件

为便于考察炭黑填充 NR 混炼胶在温度为 90 ℃时口模入口前初始速度对入口收敛流型的影响,本研究的理论分析基于下述假设条件:①流体在流道内流动是等温的,不考虑热量的传递和损耗;②流体不可压缩;③壁面无滑移现象;④忽略惯性力以及重力对流动的影响。

1.2 理论描述

粘弹性流体平入口流动如图 1 所示。从图 1 可以看出,物料从大流道进入小流道时,在入口处产生收敛流动,并形成杯状的收敛边界流线。定

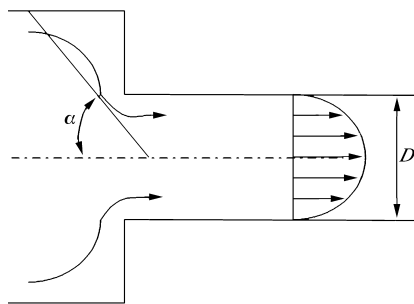


图 1 平入口收敛流动示意

义流体收敛边界流线的切线与流道中心轴的夹角为流体入口自然收敛半角(α_0)。粘弹性流体的入口收敛流动相当复杂,包括动力学方面的拉伸流动和剪切流动以及 Lagrange 非定常流动。对于粘弹性流体在短口模内的流动,入口收敛流动还影响到出口区的流动形态。

2 模型建立与求解

2.1 建模

在 ANSYS 窗口中构建平入口流道的二维几何模型,定义其单元类型为 2D FLOTRAN 141,对几何模型进行网格划分,采用手动设置线条划分密度,单元类型为正方形,自由划分。划分结果如图 2 所示。

2.2 加载

在本有限元模拟中,对几何模型施加初始条件^[3,4]:入口处压力为 20 MPa,物料温度为 90 ℃,径向和轴向边界速度均设置为零,入口初始速度

作者简介:钟明强(1979-),男,浙江桐乡人,华南理工大学在读硕士研究生,研究方向为纳米复合材料和环保功能材料的加工和成型。

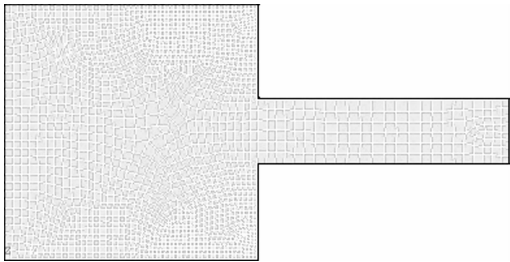


图 2 有限元模型及网格划分

分别为 2,5 和 10 mm · s⁻¹, 其对应粘度分别为 15,10 和 7 kPa · s, 如图 3 所示。

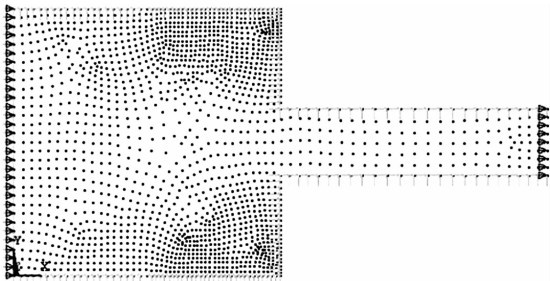


图 3 模型加载边界条件示意

2.3 求解

使用求解器进行求解^[3,4], 然后进入后处理阶段, 绘制速度流场图, 如图 4 所示。速度流场图形象地展示了速度流场的变化情况, 从图 4 中可以明显地看到入口收敛流动现象。

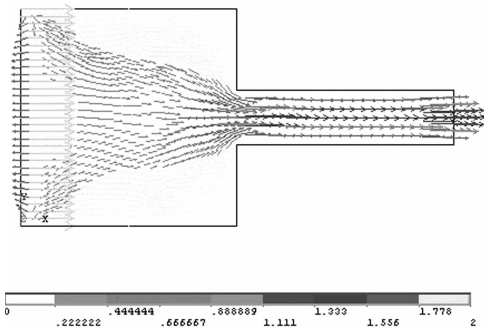


图 4 速度流场分布

3 结果与讨论

3.1 初始速度对速度场的影响

以图 5 所示的坐标系为基础讨论初始速度对速度场的影响。图 6 示出了料筒内初始速度对流动入口处 (Y₂) 径向速度分布的影响。由图 6 可以看出, 随着初始速度的增大, 从壁面到中心轴的

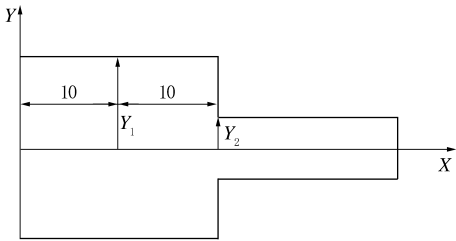


图 5 坐标系示意

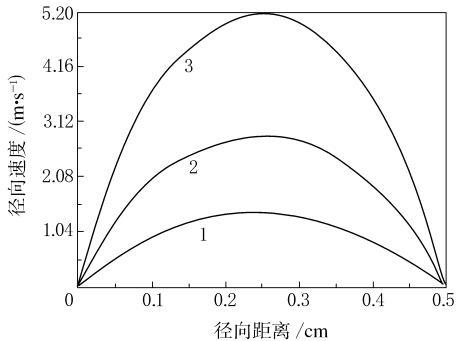


图 6 流动入口处径向速度分布曲线

初始速度 (mm · s⁻¹): 1—2; 2—5; 3—10。

速度变化率越来越大, 速度在流道壁面处为零, 中心轴处达到最大值。此外, 流道截面的流速分布也随着初始速度而变化。随着初始速度的增大, 流道截面的流速分布曲线的曲率逐级增大, 即曲线的形状由较平缓转向急陡。

3.2 初始速度对径向剪切速率的影响

图 7 示出了初始速度对流动入口处 (Y₂) 径向剪切速率的影响。由图 7 可以看出, 随着距流动中心轴径向距离的增大, 剪切速率呈梯阶状提高。图 8 展示了初始速度对料筒处 (Y₁) 剪切速率的影响。随着距流动中心轴径向距离的增大, 剪切速率呈非线性增大。此外, 随着初始速度的增大, 剪切速率均随之提高。

3.3 初始速度对轴向延伸速率的影响

初始速度对轴向延伸速率的影响如图 9 所示。由图 9 可知, 轴向延伸应变的变化趋势呈抛物线状, 在流动入口处达到最大值。这是由于入口收敛导致熔体在此处速度急剧增大所致。对于给定的粘弹性流体, 当挤出条件一定时, 流体的入口收敛流动随着速度的增大而加剧, 导致环流区相应扩大^[5], 延伸速率也随之增大。

Liang J Z^[1] 考察了挤出条件对混炼胶平入口

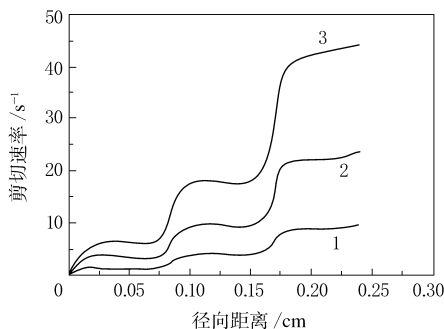


图7 流道入口处剪切速率对初始速度的依赖性

注同图6。

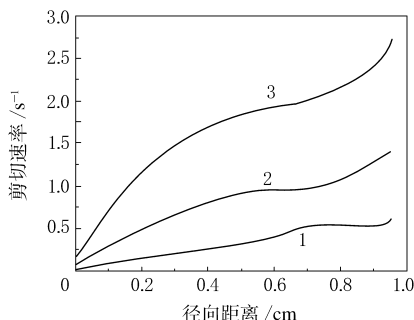


图8 料筒处剪切速率对初始速度的依赖性

注同图6。

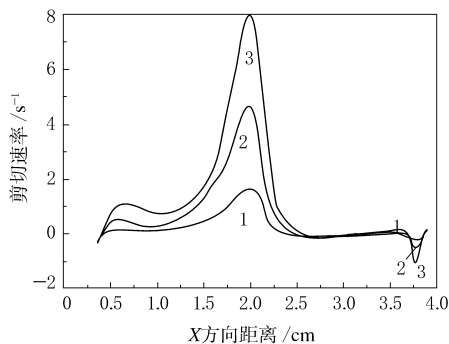


图9 X方向的延伸速率

注同图6。

收敛流型的影响,基于其先前提出的边界流线微分方程,导出描述环流区长度(L_c)的公式:

$$\frac{L_c}{2R} = \frac{0.5e\beta[(1/\beta)^{(3n-1)/2} - 1]}{\frac{2(3n-1)}{3(n+1)}[1 - \beta^{3(n+1)/2} + \frac{2(3n-1)\xi}{3(n-1)}]} \cdot \frac{1}{(1/\beta)^{3(n-1)/2} - 1} \quad (1)$$

式中, n 为非牛顿指数(表征流体非牛顿特性的重要参数), e 是Bagley校正因子(表征流体入口弹性储能的重要参数), R 是流道半径, ξ 是

与流体粘附特性相关的系数, β 是流道收缩比的倒数。

从式(1)可以看出,入口收敛流型(如涡流区的大小)与入口弹性应变储能和流体非牛顿指数密切相关。

3.4 初始速度对收敛角的影响

流体于料筒的初始速度对流体的自然收敛角的影响如图10所示。从图10可见,随着初始速度的增大,收敛角减小。这是因为速度的增大使速度场沿轴向拉伸,因此收敛角相应减小。但是随着速度的增大,收敛角减小的幅度逐渐变小。梁基照^[6,7]应用变分法中最小能量理论导出预测 α_0 的数学模型:

$$\alpha_0 = \tan^{-1} \left[\frac{2}{3e} \left(\frac{2}{n+1} + \frac{\xi}{1-n} \right) \right] \quad (2)$$

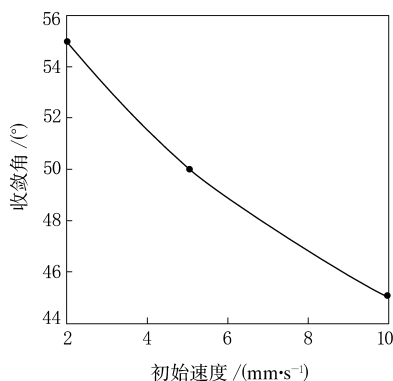


图10 初始速度对收敛角的影响

当温度一定时,流体的入口收敛流动将随着流动速率的增大而加剧,流体在入口流动中所储存的弹性应变能随之增多,表现为 e 值在一定范围内提高;与此同时,入口流动中应变能的粘性耗散也有所增大(n 值增大)。因此,尽管 n 值增大可令式(2)中 $\frac{2}{n+1}$ 项的值下降,但同时又使 $\frac{\xi}{1-n}$ 项的值提高,故 n 值的改变对 $2\alpha_0$ 的影响相对较小。换言之, $2\alpha_0$ 主要取决于 e 值。

研究^[8,9]发现,涡流区随着流动速度的增大而扩大。在接近实际工艺条件下,混炼胶的 $2\alpha_0$ 值为45°~75°。

4 结论

(1)在同一截面上速度分布呈弧形分布,随着初始速度的增大,流速分布曲线的曲率变小。

(2) 剪切速率随着初始速度增大而增大, 并且从流道中心轴到壁面逐渐增大。

(3) 延伸速率在入口收敛处达到最大值, 随着初始速度的增大, 延伸速率增大。

(4) 入口自然收敛角对流速有依赖性, 收敛角随着初始速度增大而逐渐减小, 但减小幅度逐渐变小。

参考文献:

- [1] Liang J Z. Estimation of vertical region length of rubber compound during entry flow [J]. *Plast. Rubber Compos. Process. Appl.*, 1996, 25: 495-498.
- [2] 梁基照. FLDPE 熔体在挤出口模流动时入口区流型的观测[J]. *合成树脂及塑料*, 2003(1): 53.
- [3] 章本照. 流体力学中的有限元方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.

- [4] 嘉木工作室. ANSYS5.7 有限元实例分析教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [5] 谭建国. 使用 ANSYS6.0 进行有限元分析[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002.
- [6] 梁基照. 非牛顿流体自然收敛半角方程的实验验证[J]. *化工学报*, 1996, 47: 755-757.
- [7] Liang J Z. Converging flow of non-Newtonian fluids through an abrupt contraction[J]. *Developments and Applications of Non-Newtonian Flows*, ASME, 1995, 231(66): 35-37.
- [8] Liang J Z. Effect of diameter ratios on entry pressure drop and die-swell behavior for rubber compound in capillary extrusion[J]. *Plast. Rubber Comps. Process. Appl.*, 1993, 19: 311-314.
- [9] 梁基照. NR/SBR 混炼胶挤出流动中自然收敛角的计算[J]. *橡胶工业*, 1996, 43(8): 458-461.

收稿日期: 2004-03-09

2D finite element simulation for converging flow of NR/carbon black mix at planar entrance

ZHONG Ming-qiang

(South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The 2D finite element simulation for the converging flow of NR/carbon black mix at planar entrance was made by ANSYS software. The influence of the initial speed (v_0) on the speed distribution in runner, the extension rate, the shear rate and the natural converging angle of fluid was investigated. The results showed that the natural converging half-angle of fluid reduced and the shear rate increased non-linearly with the increase of v_0 ; and the highest extension rate was obtained at the entrance.

Keywords: finite element simulation; mix; converging flow; speed field

《中国橡胶》2005 年征订启事

《中国橡胶》由中国橡胶工业协会主办, 是中国橡胶行业综合类国内外正式发行期刊。主要栏目有决策参考、市场信息、经营管理、科技资讯、业界英才、环球广角、消息传递、品牌创造、知识长廊、它山之石、协会工作、先进企业等。主要面向橡胶及相关行业生产、技术、营销、管理等方面的中、高级管理人员, 兼顾院校师生以及一切有志于橡胶工业发展的有识之士。

本刊为半月刊, 大 16 开。逢 5 日、20 日出

版, 国内外公开发行。国际标准刊号: ISSN 1009-5640; 国内统一刊号: CN 11-3674/TQ; 国外发行代号: 1455SM; 国内邮发代号: 82-184; 国内定价: 6 元/期, 144 元/年。全国各地邮局及本刊广告发行部均可订阅。

欢迎赐稿, 欢迎订阅, 欢迎广告惠顾。

编辑部地址: 北京市海淀区志强园甲 22 号楼
邮编: 100088

电话兼传真: (010) 62261173

E-mail: chinarubber@163.com