L 型片材挤出机头流道速度分布三维有限元分析

宿果英,杨卫民, 玉梅

(北京化工大学 机电工程学院,北京 100029)

摘要:利用大型有限元计算软件 ANSYS 进行以三维模型为基础的 L 型机 头内部流动速度分析和模拟研究。通 过顺次截取沿挤出方向上 4 个不同区域的速度分布图和 7 个截面中间层节点横向速度分布曲线,分析了物料在 L 型 片材挤出机头中的流动分布情况,即物料在机头内部经过几次速度调整逐步达到横向速度分布基本均匀。

关键词: 挤出机头; 三维有限元分析; 高分子片材; 流场分析

中图分类号: TQ 330.4⁺4 文献标识码: B 文章编号: 1000-890X(2002)08-0479-06

高分子片材属典型的薄片状制品,其成型过 程中需要控制的一个很重要的质量指标就是横向 厚度均匀性,而这又直接受机头成型口型区域横 向速度分布是否均匀的影响。关于均匀性的研究 一直是挤出机头研究领域中的一个重要课题。

机头内流体流动是三维的,在进行挤出机头 均匀性研究时,人们不断地探索在最少的假设条 件限定下尽可能精确地模拟机头内部的三维流动 场。由于受物理、数学模型及计算方法发展程度 的制约,三维流场的模拟多是在高度简化的模型 基础上得到的一些计算和分析结果。进入 20 世 纪后,计算机和一些大型应用软件的不断引入,为 挤出机头均匀性研究提供了较为方便的工具,使 得整个研究课题发展到一个较为高级的阶 段^(1~11)。

本文介绍了应用大型有限元计算软件 AN-SYS 研究、分析 L 型挤出机头内部物料三维流动 场所进行的计算过程和得到的速度分布结果。

1 建立模型

本项研究模拟的 L 型机头可以生产毛坯最 大 宽 度 为 1 370 mm、成 品 宽 度 为 1 200 mm的片材,其生产线已经成功应用于生产 EPDM防水卷材、热塑性聚烯烃防水卷材等产品。

1.1 机头内部流道的数学模型

在三维直角坐标系中建立机头内部结构的几 何模型,具体见图 1。本研究中图示的 X,Y 和Z 方向在计算和分析过程中始终保持一致。取机头 口型开口为 1 mm,出片宽度为 1 370 mm。



图1 流道内部几何模型

A1一熔融物料进入机头的端面; A2一尚未冷却的片材从机头 中挤出的端面; 1方向一物料在圆锥管中流动的方向, 与 Z方向呈相反方向; 2方向一物料经过带有阻尼块的 窄缝流道挤压成薄片后的出口方向, 即为 X 方向

图1中圆锥管部分又称为主流道,与主流道 相接的窄缝流道称为小流道。物料沿1方向流动 保持主流道充满并在其沿程不断沿2方向挤入带 有阻尼块的小流道,从而保证片材成型过程在宽 度方向的材料分布。阻尼块为横截面呈梯形的长 条,且沿1方向梯形的上底边渐宽、高度渐小,直

基金项目:教育部"青年骨干教师计划"资助项目(JG2000-14)

作者简介: 宿果英(1976), 女, 内蒙古呼和浩特人, 北京化工 大学在读硕士研究生, 主要从事高分子材料加工原理及设备的研 究。

至与小流道底部平齐,阻尼块具有阻挡靠近入口 的物料过早被挤出、强迫料流沿1方向流动并充 满主流道从而使物料沿宽度方向分布的作用。

1.2 材料性能

选取一种流变规律近似为牛顿流体的高分子 材料作为研究对象,并假定其为牛顿流体,主要性 能参数为:密度 1.058 3 Mg°m⁻³;粘度 4 210 Pa°s。

1.3 单元的划分

依据流道组合的几何特点,将整个流道划分 成若干符合 ANSYS 单元划分要求的个体。采用 ANSYS-Fliud142 六面体单元,在三维几何模型全 流道上划分单元(网格在阻尼板附近及其形状突 变处适当加密,以保证分析精度)。有限元网格模 型见图2,该结构共分27 164 个单元,30 458 个节 点。



图 2 整体模型单元网格

1.4 边界条件的处理

依据壁面不滑移原理,除了进口和出口两个 面外,其余各面速度边界为零;根据加工条件,入 口面上施加垂直压力为 19.6 M Pa,出口面上的压 力为零。

2 计算结果

主流道沿程一个横截面的示意见图 3。为了 清楚地表达机头内部各部分的速度分布,将整个 机头沿 X 方向(挤出方向)顺次分为 a, b, c 和 d 区域(见图 3),同时取出截面 I ~ VII上的速度分 布曲线来表征速度变化的趋势和特点。

2.1 *a*区域速度分布 主流道经历了压力沿轴向传递,同时又向挤



图 3 沿挤出方向划分的区域

出方向扩散的过程。从已经得到的压力分布结 果^[12]可以得知,当 A_1 面上压力为19.6 MPa时, 主流道末端(Z=0)的面上压力为19.1 MPa,沿 程压力损失约为2.6%;此刻主流道Z方向的速 度分布见图4(为1/4截面图)。从图4可以看出 a区域 V_Z 的变化情况。主流道中心节点沿Z方 向的速度分布曲线见图5。图5中曲线所显示的 速度变化趋势表明,主流道中心物料以向前推进 为主,其余方向的物料流动非常微弱,即($-V_Z$) 远大于 V_X 和 V_Y 。

a 区域末端截面即*b* 区域起始截面标记为截 面I。截面I中间层节点速度分布曲线见图 6。 从图 6 可以看出,此处物料沿 *X* 方向的运动速度 相对增大,物料沿 1 方向(即 *Z* 的反方向)分布的 趋势仍然较强,且沿程 *V*_Z 速度梯度较大;在接近 主流道末端封闭区域处产生物料沿 *Z* 方向流动 的现象,在这一区域形成一个缓冲区;物料在 *Y* 方向上的流动仍然较弱。



ARCTS 5.5.1 2EP 10 2000 15159157 DOAL BOLDTICS TTEP+1 1118 - 1 DAMS/ PowerGemphics 05066 023641 01681 006268 7648-02

图 4 主流道速度分布截面 MN-最小; MX-最大







b区域即包含阻尼左侧的小流道区域,b区域 速度分布曲线见图 7. 截面 II 中间层节点的速度 分布曲线见图 8。从图 8 可以看出,当流体到达 截面 [] 位置时, 沿主流道轴向(即小流道横向)分 布的流动基本稳定, Vz 非常小, 且未显出反向流 动,此时流体主要沿挤出方向流动, Vx相对占



2.3 c 区域速度分布

图9示出了截取区域c的速度分布。为了表 示物料沿挤出方向(即X方向)的速度渐变趋势,



截去 了 边 界层 速 度 为 零 的 单 元, 同 时 取 出 面 III~ V上中间层节点的速度分布曲线(分别见 图 10~12)进行分析。



注同图5

从图 9 可以看出,物料流经阻尼区域后速度 有小幅增量,当进入渐窄的楔形区域时加速幅度 明显增大。从图 10 可以看出,当物料刚刚流过阻 尼区域时 Y 方向速度明显增大,且横向速度波动 较大。从图 11 可以看出,当物料到达截面 IV位置 时,Y 方向速度不均匀程度较截面 III略有增大。 从图 12 可以看出,当物料经过整个渐窄区域到达



截面 V 位置时 V_Y 横向分布基本均匀, 且相对于 V_X 而言速度值非常小。

综合分析图 10~12 可知,物料流经截面 III~ V的过程中, V_Y 经历了一个由横向波动回复到 横向均匀的过程,而 V_Z 和 V_X 横向分布变化都较 小,当物料到达截面 V位置时, V_Y 和 V_Z 相对于 V_X 都呈现较小值,物料沿挤出方向流动占主导地 位,其它方向的流动都比较弱。

2.4 d 区域速度分布

图 13 示出了截取 *d* 区域的一个横截面的速 度分布。从图 13 可以看出物料在整个 *d* 区域流 动时沿 *X* 方向综合速度逐渐变化的趋势。分别 取截面 VI和 VII中间层节点作出其速度横向分布曲 线(分别见图 14 和 15)。从图 14 和 15 可以看 出,当物料流经 *d* 区域时,在其流动过程中横向 速度分布变化很小,而且 *V*_X 相对于 *V*_Y 和 *V*_Z 较 大,在挤出机头横向中间区域横向速度分布基本



图 13 d 区域速度分布 注同图 4



均匀,两端出现速度较高的两个小区域,直至物料 完全挤出口型区域。 三维模型为基础的 L 型机头内部流动速度分析 和模拟,为机头优化设计和改进设计等提供了重 要的理论基础。物料在机头内部流动时各个区域 及其某些截面上的速度分布情况表明,物料从 A₁ 面进入机头后在机头内部经过几次速度调整后逐 步达到横向速度分布基本均匀。

参考文献:

- 宿果英,丁玉梅,杨卫民.高分子防水片材挤出成型[J].合成橡胶工业,2000,23(4):1.
- [2] Mckelvey J M, Ito K. Uniformity of flow from sheeting dies[J]. Polym. Eng. Sci., 1971, 11(3): 258-263.
- [3] Procter B. Flow analysis in extrusion dies [J]. SPE J., 1972, 28 (2): 34.
- [4] Gutfinger C, Broyer E, Tadmor Z Analysis of a cross head die with the flow analysis network (fan) method [J]. Polym. Eng. Sci, 1975, 15 (5): 383-385.
- [5] Liu T J, Hongand C N, Chen K C. Computer-aided analysis of a lineary tapered coat-hanger die [J]. Polym. Eng. Sci., 1988, 28 (23): 1 517-1 526.
- [6] Rokos R. The computational and experimental analysis of profile extrusion dies[J]. Diss Abstra Int., 1990, 50(10): 206.
- [7] Wen S H, Liu T J. Three-dimensional element analysis of polymeric flow in an extrusion die[J]. Polym. Eng. Sci., 1994, 34 (10): 827-834.
- [8] Wang Y, Tsay H Y. Computer-aided geometric design of the preform dies for flat film extrusion through 3-D finite element flow analysis [J]. Polym. Eng. Sci., 1994, 34(10); 1 090-1 100.
- [9] Stockdale, Clark O. Extrusion die design using a personal computer[J]. Light Met Age 1995, 53: 320.
- [10] Hanson D, Cappella R. Extrusion flow analysis software verification[A]. Antec' 98. Volume III Conference Proceeding[C]. Atlanta Ga. 1998. 3 471-3 474.
- [11] 杨卫民,程 源.L型机头中胶料流动均匀性分析[J].橡胶 工业,1991,38(6);324.
- [12] 刘春生. 中国石油化工科技信息指南[M]. 北京:中国石化 出版社, 2001. 262.

收稿日期: 2002-02-20

3 结论

利用大型有限元计算软件ANSYS实现了以

3D FEM analysis of velocity distribution in L-shape sheet extruder die

SU Guo-ying, YANG Wei-min, DING Yu-mei (Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The FEM software ANSYS was employed to analyse and simulate the flow velocity in L-

shape sheet extruder die based on a three dimensional model. The velocity distribution profiles in four different parts of the die along extruding direction and the velocity distribution curves at the nods in the middle layers of seven cross-sections were taken to analyse the fluid flow in the die. It was found that the lateral velocity distribution of the fluid flow in the die gradually became uniform after several velocity adjustments.

Keywords: extruder die; 3D FEM; polymer sheet; fluid flow

"2002年首届全国橡胶行业及相关行业 技贸交流会"通知

应橡胶及相关企业的要求,由全国橡胶工业 信息总站主办的首届全国橡胶行业及相关行业技 贸交流会拟于 2002 年 9 月 1 日在成都市千禧大 酒店召开。届时将有橡胶行业及相关行业的厂 长、经理和有关人士参加。

加入世贸组织,标志着我国迈入世界科技发 展的行列,面临着全球经济一体化的严峻考验,橡 胶行业如何应战。会议将就此问题请有关领导及 专业权威人士做橡胶企业及相关企业如何学会运 用WTO 规则保护自己产品市场的报告,分析轮 胎、橡胶制品、生胶、助剂、炭黑、机械等行业的发 展趋势,并提出建议和介绍新产品、新技术、新动 向。会议特邀国内权威的产品认证机构讲解轮胎 制品强制性认证细则并进行咨询;同时也邀请了 国内外公司介绍新产品的开发应用。整个会议将 围绕如何使企业注重科技研发、提高产品科技含 量,如何及时掌握国内外信息等一系列问题进行 研讨。会议内容新颖、丰富,可给业界同仁提供一 个技术交流、切磋技艺、贸易洽谈和产需结合的极 好机会,并可展示各自的新技术、新产品,发布新 信息(有关会议的详情情况请向大会组委会索 取)。

大会组委会地址:北京海淀区阜石路甲 19 号 北京橡胶工业研究设计院内全国橡胶工业信息总 站;邮政编码:100039;电话:(010)51338151, 51338150;传真:(010)68164371;联系人:赏琦,贺 年茹。

全国橡胶工业信息总站

橡胶小辞典4条

橡胶防尘圈 rubber seal for wiper; wiper of rubber 用于防止外界灰尘等污染物进入密封装

置内的橡胶密封圈。其结构有纯橡胶型和带金属 骨架型,可用于作往复运动的场合,也可用于旋转 轴密封。这类密封圈所用原材料一般为 NBR 或 PU。

橡胶密封条 nubber sealing strip 系条形橡 胶密封制品。应用于铁路机车、汽车、飞机、高层 建筑、电冰箱及各种工业零件上,起防止外界灰 尘、空气、水等进入系统的一种橡胶密封元件。由 密封和安装两部分组成。此类产品主要利用本体 结构中的唇、空腔、凸缘等部位的弹性与组装的偶 合件(玻璃、金属件等)表面产生的接触压力而起 密封和装饰作用。一般在一50~+70 ℃范围内 使用。分实心胶条、空心胶条、海绵胶条和复合胶 条,根据其使用部位及使用条件,可设计不同的截 面结构。考虑到耐老化、耐臭氧性能要求,一般采 用CR、EPDM、NR/CR/SBR 并用橡胶、橡塑并用 胶料等耐老化性能优良的胶料制造。制造方法用 挤出成型连续硫化法、挤出成型硫化罐硫化法或 模压硫化法。

水闸用密封胶条 nubber sealing strip for shice gate 又称橡胶水封或止水橡皮。是用于 水电工程闸门的橡胶密封条。根据所用的材料不 同可分为纯橡胶水封和复合材料水封两类。复合 材料水封有橡胶与四氟塑料复合水封、橡胶与铜 复合水封、夹布水封等。橡胶水封具有结构简单、 弹性好、封水严密可靠、安装方便、耐老化、使用寿 命长等优点。一般用 NR 或 CR 制造。采用挤出 成型硫化罐硫化或者模型硫化的制造方法。根据 使用条件和使用部位不同可以设计成不同的截面 结构。

囊式蓄能器胶囊 rubber bag for accumulator 带金属接管的囊状纯橡胶制品。分段模压制 造。适用工作压力为 9.8~31.4 M Pa,工作温度 为-10~+70 ℃。应用于囊式蓄能器。