

管材挤出模具新型压缩段流道的研究

李学章 郭奕崇*

(北京化工大学机电工程学院, 北京 100029)

摘要: 在对质点流迹分析基础上, 提出管材挤出流道的流线型压缩过渡方式, 并给出了以三次多项式作为管材挤出流道型腔曲线的数学模型, 构建管材挤出模具压缩定型段的过渡流道, 并通过聚物流体分析软件 POL YFLOW 对比模拟分析了直线型过渡流道和流线型过渡流道的速度、压力、黏度、剪切速率的变化, 分析结果显示, 流线型流道内的流动稳定性和均匀性明显优于直线型流道。

关键词: 管材挤出; 压缩; 流线型流道; 流动均匀性

中图分类号: TQ320

模具中流线型过渡的研究和应用很多, 国内外已有许多学者在这方面做了大量研究和探索, 特别是在金属挤压模具型腔曲面的构建方面^[1-3]。但在塑料挤出方面应用不多, 且主要局限于异型材挤出模具的设计中。从对现有文献的分析中可知, 曲线形式的收缩流道对挤出成型质量有较好的促进作用, 如 1997 年, Pan Jing-pin^[4]在分析了 T 型、线性收缩的衣架型和曲线收缩的衣架型口模中的挤出流动和停留时间分布后指出: 曲线收缩的衣架型口模可以得到均匀的流动与时间分布, 适于挤出任何慢速反应物料。本文在对挤出大口径塑料管材机头流道的流动数值模拟的基础上, 采用三次样条曲线构造了压缩定型部分的流线型过渡曲线, 为管材挤出中流线型过渡流道参数化设计进行了理论探讨。

1 过渡曲线的数学描述

通常采用分段直线、样条曲线、双曲线以及多项式函数等来表示流道型腔轮廓曲线, 其中多项式函数具有适应性强, 应用范围广的特点, 可以拟合任意一条曲线, 所以本文采用多项式函数法表达型腔曲面轮廓曲线^[5]。

根据管材规格要求很容易求得要生产的管材的内外直径 r_i , r_o , 另据所选择的压缩比 e 进一步求得压缩段入口截面内的环形半径 R_o , R_i , 四个半径之

间满足: $\frac{(R_o^2 - R_i^2)}{(r_o^2 - r_i^2)} = e$, $R_i = r_i + L \tan \alpha$ 。由于管材机头是中心对称的回转体, 所以建立管材机头模型时的关键是如何获取轴截面内的两条边界母线方程^[6]。现分别设上下母线方程为 $f(z) = a_1 z^3 + b_1 z^2 + c_1 z + d_1$, $g(z) = a_2 z^3 + b_2 z^2 + c_2 z + d_2$, 另外从熔体流动性考虑, 挤出流道表面轮廓最好是流线型变化, 流道出入口切线方向尽量平行于管材回转中心, 且具有以下边界条件:

$$f(0) = R_o, f(L) = r_o; g(0) = R_i, g(L) = r_i,$$

且当 $z=0$ 和 $z=L$ 时, 有 $\frac{\partial f(z)}{\partial z} = 0$, 根据以上条件可求得上母线方程

$$f(z) = \frac{2(R_o - R_i)}{L^3} z^3 + \frac{3(r_o - R_o)}{L^2} z^2 + R_o \quad (1)$$

同时假设在整个管材压缩段聚物流体按线性收缩, 则很容易求得下母线方程

$$g(z) = \frac{2(R_o - R_i)}{L^3} z^3 + \frac{3(r_o - R_o)}{L^2} z^2 + \frac{(R_o - R_i) - (r_o - r_i)}{L} z + R_o \quad (2)$$

由以上两条边界曲线及边界直线 $z=0$ 和 $z=L$, 可以求出轴截面内封闭曲线所构成的曲面, 然后将其绕轴心回转即可得到管材挤出流道压缩定型段的几何模型。

2 流线型压缩流动稳定性分析

口模设计及成型工艺的优化是以对熔体流动的深入研究为前提的, 下面使用聚物流体分析软件 POL YFLOW 对直线型和流线型两种不同过渡流道

收稿日期: 2004-11-04

第一作者: 男, 1974 年生, 硕士生

*通讯联系人

E-mail: guoyc@mail.buct.edu.cn

形式下熔体流动进行数值模拟分析,分析中用四面体单元对流体域进行有限元网格划分;边界条件为:流道入口的流量 $Q = 116 \text{ cm}^3/\text{s}$,出口法向和切向压力均为零,其它与挤出流道内外壁面直接相接触的熔体为壁面间无滑移;材料黏度随剪切速率变化关系选用 CrossLaw 模型,即 $\eta = \frac{\eta_0}{1 + (\dot{\gamma})^m}$,其中, $\eta_0 = 85\,000 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $\eta = 0.2 \text{ s}$, $m = 0.3$,在此基础上进行广义牛顿流体的等温分析。现将两种不同流道下所产生的出入口速度、压力及流量计算结果列于表 1,将流道壁面压力、黏度及剪切速率求解数据列于表 2,两表数据从不同角度反映了两种不同流道形式下流动的差异。

表 1 两种流道形式下出入口的速度、压力、流量的比较

Table 1 Comparison of velocities, pressures and flow rates between inlet and outlet for contracting and shaping sections

		速度 /(m/s)	压力 /Pa	流量 /(cm ³ /s)
直线型压 缩定型段, $L = 145 \text{ mm}$	入口值	0.009 1	34 210.50	115.64
	出口值	0.035 3	557.24	109.88
	差值	0.026 2	33 653.26	5.76
流线型压 缩定型段, $L = 145 \text{ mm}$	入口值	0.009 1	31 594.44	115.64
	出口值	0.035 3	543.263	110.07
	差值	0.026 2	31 051.14	4.57

表 2 两种不同流道形式下壁面压力、剪切速率、黏度的比较

Table 2 Comparison of wall pressures, wall shear rates and wall viscosities between contracting and forming sections

		压力 /Pa	剪切速率 /(1/s)	黏度 /(cm ³ /s)
直线型压 缩定型段, $L = 145 \text{ mm}$	极小值	488.66	1	70 745.20
	极大值	34 282.12	24	78 520
	极差	33 793.46	23	7 774.80
	壁面平均值	27 730	7.31	75 271.5
流线型压 缩定型段, $L = 145 \text{ mm}$	极小值	198.40	2	71 192.14
	极大值	31 838.32	21	77 989.81
	极差	31 639.92	19	6 797.67
	壁面平均值	24 798	7.84	74 965.5

表 1 说明,虽然两种不同形式的流道出入口速度几近相等,但是流线型流道的压力降要比直线型流道的低,而且流线型流道因壁面积料造成的物料

损耗相对较少。图 1 和图 2 给出了两种不同流道下出入口速度变化特征曲线,比较可见流线型流道的出入口速度分布较之直线型流道出入口速度分布平缓,没有明显的尖峰,尤其在出口处,流线型流道的出口速度均匀,有利于改善挤出成型质量。

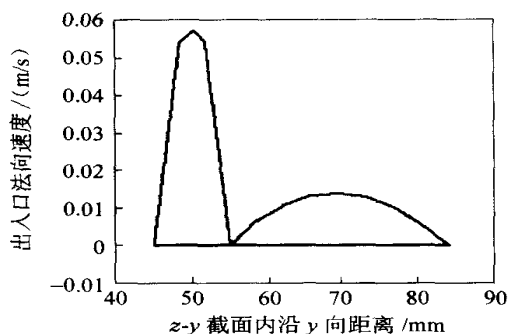


图 1 直线型流道的出入口速度变化

Fig. 1 Velocities of inlet and outlet of linear die

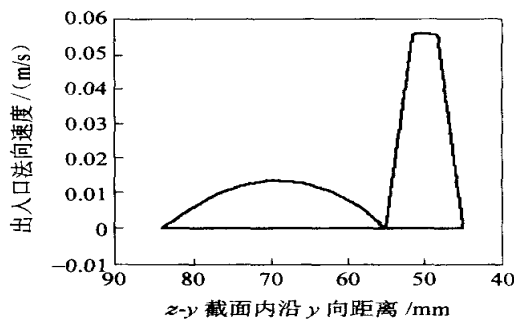


图 2 流线型流道的出入口速度变化特点

Fig. 2 Velocities of inlet and outlet of streamline die

表 2 说明流线型流道的壁面平均压力低,剪切及流动黏度变化范围窄,有较好的流动均匀性;比较两种不同流道下的压力极值可以看出,流线型流道机头压力低,在较小的压力降下就可以得到较好的成型质量。而比较两种不同流道下的剪切速率与黏度极值可见,流线型压缩定型段流道的剪切速率的极大值、黏度的极大值都较小,分布较集中,说明其剪切均匀,变化平缓,流动顺畅。图 3,4 是压缩定型部分流道内外壁面全程剪切速率变化曲线,曲线输出形式为封闭输出。

比较该两图可见直线型流道其定型段壁面内外壁面剪切程度明显有差异,内外壁面剪切不均匀,而流线型流道的定型段内外壁面剪切差异小且均匀。以上图表充分说明流线型流道有利于挤出速度的稳定和均匀。

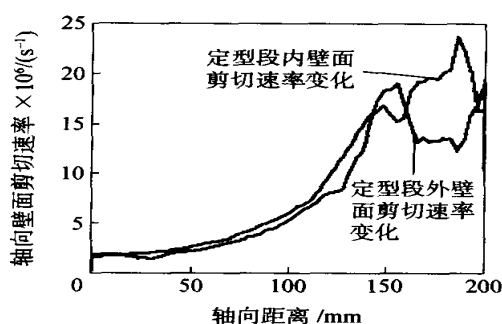


图3 直线型壁面剪切速率闭合曲线

Fig. 3 Closed result of shear rate along linear die channel

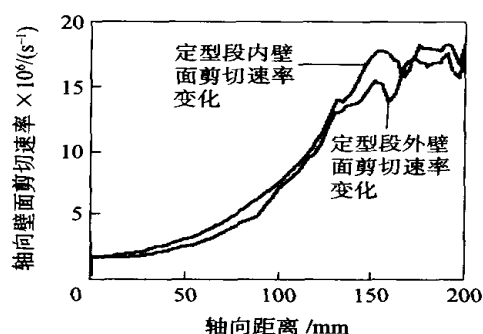


图4 流线型流道剪切速率闭合曲线

Fig. 4 Closed result of shear rate along streamline die channel

3 结束语

本研究针对管材挤出模具的特点,提出以三次多项式作为流道模腔型曲线的数学模型,实现挤出管材压缩定型段的参数化建模,并通过计算机数值模拟的方法对比分析了直线型过渡流道和流线型过渡流道的速度、压力、黏度、剪切速率等变化的特点,论证了流线型挤出流道无论在流动的稳定性和均匀

性上都优于直线型过渡流道。在当前加工自动化程度不断提高、数控机床的应用越来越普遍的情况下,这种曲面型腔的设计不会给模具生产加工带来太大困难,应该在实际应用中得到足够重视和采用,这将对挤出成型制品质量的提高具有重要作用。

符号说明

L —— 压缩段长度, mm

Q —— 入口流率, cm^3/s

η —— 黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$

η_0 —— 零切黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$

λ —— 弹性松弛时间, s

m —— 非牛顿性指数

α —— 压缩角, $^\circ$

$\dot{\gamma}$ —— 剪切速率, s^{-1}

$a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2, d_2$ —— 方程中的因数

z —— 轴向长度变量, mm

参考文献

- [1] W 迈切里. 塑料橡胶挤出模头设计[M]. 李吉, 王淑香译. 北京: 中国轻工业出版社, 2000, 97 - 101
- [2] 孙克豪, 黄翔. 流线型挤压模曲面的构造及其 CAD/CAM[J]. 锻压技术, 1996(5): 46 - 49
- [3] 王晓枫, 朱元吉, 谢挺, 等. 塑料挤出成型模具流道优化设计[J]. 塑料科技, 1996(2): 42 - 44
- [4] Pan Jingpin. Extrusion die design for slowly reactive material[J]. Polymer Engineering and Science, 1997, 37(5): 856 - 867
- [5] 刘斌, 王敏杰, 刘耀中, 等. 流线型挤出模参数化建模方法研究[J]. 中国塑料, 2003(8): 83 - 87
- [6] 唐志玉. 挤塑模设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 1997, 93 - 98

On a new style channel of compressing section in tube extrusion die

LI Xue-zhang GUO Yi-chong

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Based on the principle of extrusion die design, using the cubic polynomial as a mathematical model of skeleton line for channel model curve, the transparent channel of the compressing and the shaping sections in a tube extrusion die was constructed, and the change of the pressure, viscosity, shear rate and the velocity were simulated with the exclusive software of POLYFLOW. The results of the numerical analysis show that the streamline channel model proposed by this methodology excels the linear style model in flow stability and gliding property.

Key words: tube extrusion; compressing; streamline channel; flow uniformity

(责任编辑 刘同帅)