

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.01.014

工艺参数对挤出成型的影响分析

张广冬,郝昕玉

(盐城工学院机械工程学院,江苏盐城 224051)

摘要:采用有限元方法分析了工艺参数中入口流量和壁面滑移对挤出成型的影响,特别是对挤出压力降,挤出胀大比以及模流平衡系数等重要指标的影响。结果表明,随着入口流量的增大,模流平衡系数增大,同时模具型腔内的压力降也线性增大。壁面滑移的存在有利于减小挤出模内的速度梯度,从而减小挤出胀大比和模流平衡系数。

关键词:挤出成型;工艺参数;挤出胀大比;模流平衡系数

中图分类号: TQ320.66+3, TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)01-0068-03

Influence Analysis of Process Parameters on Extrusion

Zhang Guangdong, Hao Xinyu

(School of Mechanical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China)

Abstract : Finite element analysis method was used to analyze the influence of the inlet flow and wall slip on the extrusion, especially for the extrusion pressure drop, extrusion swell ratio and die balance coefficient etc. The result show that with the increase of the inlet flow, die balance coefficient increases, while the mold cavity pressure drop also is increased linearly. The existence of wall slip is conducive to reduce the velocity gradient inside the extrusion die, thereby reducing the extrusion die swell ratio and die balance coefficient.

Keywords : extrusion ; process parameters ; extrudate swell ratio ; die balance coefficient

塑料异型材挤出成型已经有几十年的发展历史,在生产、生活的各个领域得到了广泛的应用。但是由于聚合物自身复杂的流变特性和现场工艺条件的多变性,使得挤出模具设计长期依赖于现场试模、修模,成本高,模具的稳定性差,已经不能满足生产实践的需要。

对塑料异型材挤出成型影响较大的工艺参数有:入口流量、壁面滑移及牵引速度。其中牵引速度^[1-2]对挤出成型的影响主要体现在挤出产品的壁厚上,牵引速度与挤出速度(与入口流量相关)的比值称为拉伸比,其数值必须等于或大于1。挤出产品在离开模口后首先自由胀大,然后在牵引力的作用下产品的壁厚减薄。拉伸比越大,产品壁厚越薄,因此在实际生产过程中,拉伸比必须取适当值。笔者假设在无牵引作用(即拉伸比等于1)、挤出产品离开模口后自由胀大的情况下,分析入口流量和壁面滑移对挤出成型的影响。

正方形截面流道有限元模型如图1所示。模口截面形状为4 mm×4 mm的正方形,假设模流为充分发展流、模口无牵引作用,成型段长度(入口-模口)为10 mm,自由面(模口-出口)长度为

40 mm,入口流量为320 mm³/s。

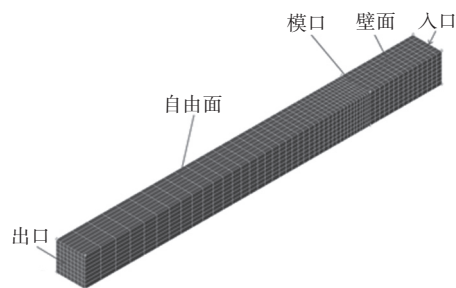


图1 正方形截面流道有限元模型

使用的原材料为德国拜耳公司牌号为3103的聚碳酸酯(PC),采用德国Thermo-Hakke公司的RS600型旋转流变仪进行流变实验,测定在一定温度下聚合物的剪切流动曲线,并选择Bird-Carreau本构模型:

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

式中: η ——黏度, Pa·s;

η_{∞} ——无穷剪切速率黏度, Pa·s;

η_0 ——零剪切速率黏度, Pa·s;

联系人:张广冬,硕士,讲师,主要研究方向为材料成型与控制

收稿日期:2013-11-08

λ ——时间常数, s ;

$\dot{\gamma}$ ——剪切速率, 1 / s ;

n ——幂指数。

对得到的流变实验数据进行拟合,使用CFD软件POLYFLOW中的POLYMAT模块拟合得到Bird-Carreau本构模型参数值: $\eta_0=707 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $\eta_\infty=0$, $\lambda=0.00243 \text{ s}$, $n=0.42604$ 。

1 入口流量的影响

假定入口流量分别取80,240,320,360,400 mm^3/s 时,使用正方形流道有限元模型分析可知,挤出胀大比 $B=S_2/S_1$ (S_2 为挤出物截面面积, S_1 为口模截面面积)基本保持不变,模口处的模流平衡系数^[3]与入口流量的关系曲线如图2所示。由图2可知,随着入口流量的增加,模流平衡系数逐渐增大,曲线呈现先慢后快的态势。

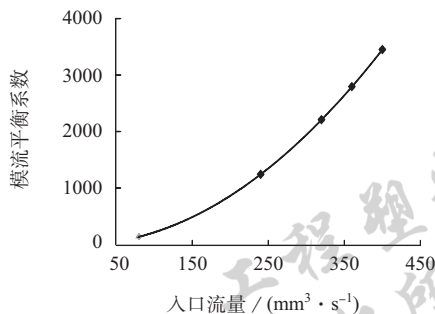


图2 入口流量和模流平衡系数关系曲线

挤出模具的压力降和入口流量的关系曲线如图3所示。由图3可知,挤出模具的压力降和入口流量呈线性关系,入口流量越大,模具型腔内的压力降越大。

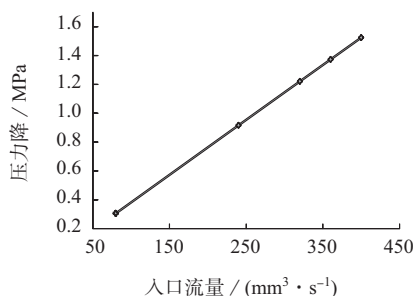


图3 入口流量和压力降关系曲线

在生产过程中,如果要提高挤出产量,实现高速挤出,势必会导致模流平衡系数增大,即模口处速度的不均匀性加剧,同时伴随着压力降的增大,即模腔内的流动阻力增大,压力损失增大。因此,在挤出生产过程中,不能盲目提高入口流量,必须综合考虑模流平衡系数和压力降,尽可能减小挤出过程中的压力损失和模流平衡系数,提高模具出口速度的均

匀性。

2 壁面滑移的影响

聚物流动时,当流道壁面处的熔体所承受的剪切应力超过某一临界剪切应力时,熔体将沿着流道壁发生滑动,这时,壁面附近的熔体具有一个有限的相对滑动速度,此即为壁面滑移现象。在传统挤出模具设计中,由于聚合物熔体的摩擦系数难以确定,且管壁上的滑移速度也很难测量,因而,在设计挤出口模时,特别是存在壁面滑移的口模时,仍然采用经验方法,即先按照壁面全粘附(即无壁面滑移)来设计计算口模,然后估计壁面滑移口模和普通口模的差别,对模具结构以及工艺参数进行修正。但是这种方法存在较多问题,笔者基于广义Navier定律,初步探索了壁面滑移对挤出成型的影响。

广义Navier定律如下^[1]:

$$f_s = F_{\text{slip}}(\nu_{\text{wall}} - \nu_s) | \nu_s - \nu_{\text{wall}} |^{e_{\text{slip}} - 1} \quad (2)$$

式中: F_{slip} ——滑移系数;

f_s ——与壁面接触的熔体表面的切向应力, Pa ;

ν_{wall} ——模具壁面的切向速度,一般情况下为0 ;

ν_s ——与壁面接触的熔体表面的切向速度, m/s ;

e_{slip} ——材料参数。

当 $F_{\text{slip}}=0$ 时,壁面为完全滑移。当 $e_{\text{slip}}=1$ 时,式(2)呈线性;当 $0 < e_{\text{slip}} < 1$ 时,式(2)为幂指型。采用简化的Navier滑移模型作为壁面的动力学边界条件^[4],即 $e_{\text{slip}}=1$ 。采用图1所示的正方形截面流道有限元模型进行数值模拟,材料的参数同上。保持其它边界条件不变,当 F_{slip} 在1~100 000之间分别取1,100,400,800,1 600,3 215,6 250,12 500,25 000,50 000,100 000时, F_{slip} 与 B 的关系曲线如图4所示。

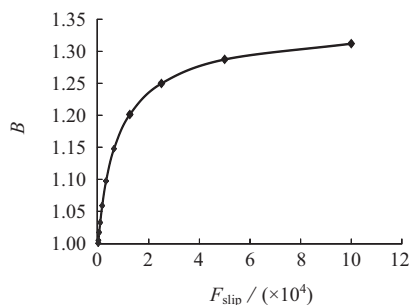


图4 F_{slip} 与 B 关系曲线

由图4可以看出,当 F_{slip} 较小(壁面倾向于完全

滑移)时, F_{slip} 的微小变化将引起 B 的迅速增大。因此在采用气辅挤出^[5]等先进手段实现完全滑移挤出时,应该尽可能减小 F_{slip} ; 当 F_{slip} 较大(壁面倾向于无滑移)时, F_{slip} 的微小变化对 B 的影响较小, B 随着 F_{slip} 的增大而增大。因此在常规挤出(无滑移)时, F_{slip} 的变化对 B 的影响不大,但壁面滑移的存在有利于减小 B 。

F_{slip} 与压力降的关系曲线如图 5 所示。

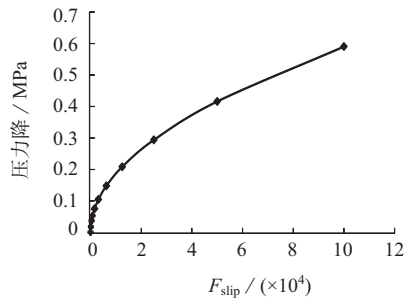


图 5 F_{slip} 与压力降的关系曲线

由图 5 可知,该关系曲线类似于 F_{slip} 与 B 的关系曲线。当 F_{slip} 较小(壁面倾向于完全滑移)时, F_{slip} 的微小变化同样引起模头压力降的迅速增大; 当 F_{slip} 较大(壁面倾向于无滑移),即 F_{slip} 大于 12 500 之后,模头压力降随着 F_{slip} 的增加线性增长。为了减小压力降,希望 F_{slip} 尽可能地小,即壁面滑移的程度尽可能地大。

F_{slip} 与模流平衡系数的关系如表 1 所示。在有滑移的情况下,模流平衡系数相对较小,即出口速度较为均匀,则壁面滑移的存在对出口速度的均匀性有较大的改善作用。在生产中,有时会使用四氟乙烯涂层改善滑移条件,但是由于涂层厚度较难控制,同时涂层之后的修模工作基本无法进行,以及由此产生的成本问题,其在生产中的应用还很有限。

3 结论

随着入口流量的增大,模流平衡系数随之增大,模具出口截面流动不平衡加剧,同时模具型腔内的压力降也随之线性增大,压力损失增大。因此在高速挤出时,必须采用有关的工艺措施,以保证挤出过程的顺利进行。壁面滑移的存在有利于减小挤

表 1 F_{slip} 与模流平衡系数关系

F_{slip}	模流平衡系数
0	0
1	1.25×10^{-4}
100	5.92×10^{-2}
400	1.38×10^{-2}
800	2.17×10^{-3}
1 600	1.59×10^{-4}
3 125	8.68×10^{-6}
6 250	7.66×10^{-7}
12 500	5.13×10^{-7}
25 000	4.46×10^{-6}
50 000	1.83×10^{-4}
100 000	9.55×10^{-3}

出模内的速度梯度,从而减小 B 和模流平衡系数。但是现有的制造工艺很难保证壁面的 F_{slip} 在整个模具内分布均匀,而壁面的 F_{slip} 不均匀会引起模具型腔内流场的分布不均,有待进一步研究。

参考文献

- [1] 王刚,赵建才,周持兴,等. 牵引速率对 EPDM 密封条挤出过程的影响分析及口模设计[J]. 中国塑料,2005(3):59-62.
Wang Gang, Zhao Jiancai, Zhou Chixing, et al. Effects of Drawing Speed on Extrusion of Sealing Bars [J]. China Plastics, 2005 (3):59-62.
- [2] 朱复华. 挤出理论及应用[M]. 北京:中国轻工业出版社,2001.
Zhu Fuhua. Extrusion Theory and Application[M]. Beijing:China Light Industry Press, 2001.
- [3] 张广冬,林建平,葛友华,等. 聚合物挤出成型模流平衡系数修正[J]. 机械工程学报,2012(12):75-80.
Zhang Guangdong, Lin Jianping, Ge Youhua, et al. Mold-flow equilibrium coefficient correction of polymer extrusion[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012(12):75-80.
- [4] 何建涛,柳和生,黄兴元,等. 壁面滑移对塑料异型材共挤影响的数值模拟研究[J]. 工程塑料应用,2013,41(6):43-46.
He Jiantao, Liu Hesheng, Huang Xingyuan, et al. Numerical study on effects of wall slip on special-shaped polymer co-extrusion[J]. Engineering Plastics Application. 2013, 41(6):43-46.
- [5] 柳和生,卢臣,黄兴元. 塑料异型材气辅挤出成型实验[J]. 高分子材料科学与工程,2010(7):93-96.
Liu Hesheng, Lu Chen, Huang Xingyuan. Experiment of gas assisted extrusion of the plastic profile with an irregular cross-section[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2010(7):93-96.

河南超高分子量聚乙烯制品质检中心落户

不久前,经河南省质监局批准,河南省超高分子量聚乙烯(PE-UHMW)制品质量监督检验中心正式成立并落户汤阴。

该中心可对 PE-UHMW 管材(排水)、托辊和板材的冲击强度、拉伸强度等进行检验。(工程塑料网)

全球增塑剂市场将逾 195 亿美元

据 Ceresana 公司预测,受亚太和东欧等主要市场需求增长推动,到 2020 年,全球增塑剂市场规模将超过 195 亿美元。据统计,2012 年全球增塑剂消费量的近 87% 用于塑料制品的加工,其中大部分用于薄膜和电缆生产,另外还广泛用于橡胶制品、涂料、油漆,以及胶粘剂生产。(工程塑料网)