

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.10.014

T型口模气辅挤出中挤出胀大和挤出物变形的影响因素^{*}宋建辉¹, 黄兴元²

(1. 中山市广播电视大学, 广东中山 528403; 2. 南昌大学聚合物加工研究室, 南昌 330031)

摘要:以T型截面异型材为对象,通过数值模拟研究气辅挤出成型中聚合物熔体的松弛时间、气辅挤出段长度和在气辅挤出段的停留时间对挤出物的变形和挤出胀大的影响。研究表明,气辅挤出时松弛时间、气辅挤出段长度和气辅挤出段停留时间对挤出胀大和挤出物的变形均有较大影响。在松弛时间较短时,停留时间对挤出胀大率的影响不大,均能使挤出胀大率小于1%,气辅挤出段长度是影响截面变形的主要因素,增加停留时间并不能消除变形的产生;当松弛时间较长时,增加停留时间对减小挤出胀大具有较大作用,而减小变形需要同时增加气辅段长度和停留时间。

关键词:气辅挤出; T型异型材; 挤出胀大; 气辅挤出段长度; 停留时间; 数值模拟

中图分类号: TQ320.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)10-0060-04

Influence Factors on Die-Swell and Warping of T-Shape Plastic Profile Gas-Assisted Extrusion

Song Jianhui¹, Huang Xingyuan²

(1. Zhongshan Radio and TV University, Zhongshan 528403, China;

2. Polymer Processing Laboratory of Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: The influence of relaxation time, gas-assisted extrusion length and slip time on die swell and warping was studied by means of numerical simulation for T-shape plastic profile. The results show that relaxation time, gas-assisted extrusion length and slip time have considerable influence on die swell and warping of the extrudate. When relaxation time is small, the slip time has little influence on die swell and can keep the die swell ratio below 1%. The gas-assisted extrusion length is the major factor to reduce warping of extrudate, so increasing relaxation time does not eliminate the generation of distortion. When relaxation time is longer, increasing slip time has greater effect on decrease of die swell and both gas-assisted extrusion length and slip time need to be increased for reducing warping of extrudate.

Keywords: gas-assisted extrusion; T-shape plastic profile; die swell; gas-assisted extrusion length; slip time; numerical simulation

塑料异型材在建筑、家电、轻工等行业具有广泛的应用,但是,塑料异型材挤出成型过程中塑料熔体的黏弹性和加工过程参数的耦合作用导致离模膨胀和翘曲变形,使制品形状尺寸精度控制困难^[1-2]。气辅挤出成型技术通过在挤出熔体和口模之间形成稳定的气垫膜层使口模挤出方式由传统挤出的非滑移粘着剪切口模挤出方式转化为完全滑移非粘着剪切口模挤出方式,不仅可使口模压降降低30%左右,而且可使聚合物挤出制品的内应力和翘曲变形大为降低,离模胀大基本得到消除,成为解决传统挤出中存在的技术难题的有效手段^[3]。

M. R. Mackley^[4]通过对气辅挤出的研究指出,气辅挤出中熔体的不稳定流动与局部应力集中有关,通过适宜地滑移能够减小应力集中,从而可减小挤出过程中的挤出胀大和“鲨鱼皮”现象;柳和生

等^[5]对T型截面的低密度聚乙烯气辅挤出成型进行的数值模拟和实验研究表明,当气辅挤出段长度为40 mm时,能够基本消除挤出胀大现象;周国发等^[6]对C型截面的气辅挤出成型进行的数值模拟研究表明,随松弛时间的增加,挤出物的翘曲变形和挤出胀大增加,而挤出流量的增加却不会对挤出胀大产生影响。

在气辅挤出成型中,气辅挤出段内熔体的剪切速率和剪切应力降低为零,聚合物分子得到松弛和恢复,当聚合物分子在气辅挤出段有足够长的时间进行松弛和恢复时,离开口模后就不会出现挤出胀大和变形;而当松弛时间不够时,离开口模后还会

^{*} 中山市科技计划资助项目(2011A260)

联系人: 黄兴元,教授,主要从事聚合物成型理论与装备研究

收稿日期: 2013-08-02

有挤出胀大和变形产生,因此,气辅挤出中聚合物分子的黏弹性、气辅挤出段长度和在气辅挤出段的停留时间对挤出结果具有重要的影响。

笔者通过数值模拟的方法,对T型截面气辅挤出过程中挤出胀大和挤出物变形的影响因素进行了研究。

1 基本方程

1.1 基本假定

假定聚合物熔体为不可压缩,忽略成型过程中熔体的重力和惯性力,流动为稳定层流,熔体为黏弹性流体。

1.2 连续性方程

$$\nabla u = 0 \quad (1)$$

式中: u ——速度。

1.3 动量方程

$$-\nabla P + \nabla \tau = 0 \quad (2)$$

式中: P ——压力;

τ ——偏应力张量。

1.4 本构方程

本构方程:PTT黏弹性本构方程:

$$\exp\left[\frac{\varepsilon\lambda}{\eta_1} \text{tr}(\tau_1)\right] T_1 + \lambda \left[\left(1 - \frac{\xi}{2}\right) \frac{\nabla}{\tau_1} + \frac{\xi}{2} \frac{\Delta}{\tau_1} \right] = 2\eta_1 D \quad (3)$$

$$\frac{\Delta}{\tau_1} = \frac{D\tau_1}{Dt} - \tau_1 \nabla v - \nabla v^T \tau_1 \quad (4)$$

$$\frac{\nabla}{\tau_1} = \frac{D\tau_1}{Dt} + \tau_1 \nabla v^T - \nabla v \tau_1 \quad (5)$$

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 \quad (6)$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 \quad (7)$$

$$\eta_r = \frac{\eta_1}{\eta_2} \quad (8)$$

式中: $\frac{\Delta}{\tau_1}$ 为偏应力张量的下随体导数; $\frac{\nabla}{\tau_1}$ 为偏应力张量的上随体导数; τ 为总应力张量,Pa; τ_1 为总应力张量的弹性部分,Pa; τ_2 为总应力张量的黏性部分,Pa; $\text{tr}(\tau_1)$ 表示总应力张量弹性部分 τ_1 的迹; ∇v 为速度梯度; ∇v^T 为一定温度下的速度梯度; η 为熔体总黏度,Pa·s; η_1 为与弹性应力分量对应的黏度,Pa·s; η_2 为与纯黏性应力对应的黏度,Pa·s; η_r 为黏度比; λ 为松弛时间,s; ε, ξ 为材料常数。

塑料原料:低密度聚乙烯(PE-LD),密度 $\rho = 960 \text{ kg/m}^3$,熔体黏度 $\eta = 10000 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,松弛时间 $\lambda = 1 \text{ s}$,材料常数 $\varepsilon = 0.1$,材料常数 $\xi = 0$,黏度比 $\eta_r = 0.03$ 。

2 几何模型和边界条件

2.1 口模的几何形状

口模几何形状如图1所示,A-A为口模入口,B-B为辅助气体入口,C-C为口模出口,AB段为无气辅挤出段,BC段为气辅挤出段,CD段为口模外的自由表面。

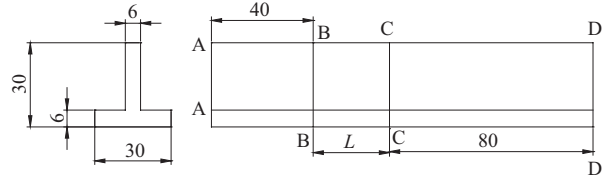


图1 T型截面口模的几何形状

2.2 网格划分

采用正六面体网格,单元节点数为27,初始有限元网格模型如图2所示。

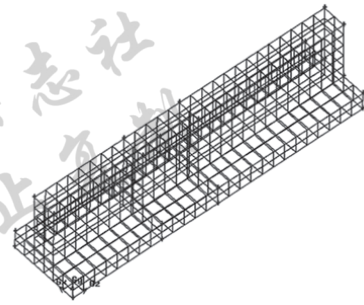


图2 有限元网格模型

2.3 边界条件

进入口模的熔体流量为 Q ,为充分发展流(即入口前和入口处的速度分布不发生变化)。

无气辅挤出段:口模壁面无滑移:

$$u_x = 0, u_y = 0, u_z = 0 \quad (9)$$

式中: u_x 为 x 方向的速度,m/s; u_y 为 y 方向的速度,m/s; u_z 为 z 方向的速度,m/s。

有气辅挤出段:口模内壁因气垫膜层产生完全滑移:

$$\begin{cases} \tau_{yz} = 0, u_x = 0 \\ \tau_{xz} = 0, u_y = 0 \end{cases} \quad (10)$$

式中: τ_{yz} 为 yz 面应力,Pa; τ_{xz} 为 xz 面应力,Pa。

口模外自由表面:

$$v_n = 0, \tau_{ns} = 0, \tau_{nn} = 0 \quad (11)$$

式中: v_n 为法向速度,m/s; τ_{ns} 为切向应力,Pa; τ_{nn} 为法向应力,Pa。

自由表面末端处:

$$u_x = 0, u_y = 0, \tau_{zz} = 0 \quad (12)$$

式中: τ_{zz} 为 z 轴上的法向应力,Pa。

3 结果与讨论

根据文献5,气辅挤出段内聚合物熔体的速度一致,呈柱塞状挤出,聚合物熔体在气辅挤出段的停留时间可用下式表示:

$$t = \frac{L}{v} = \frac{L}{Q/S} = \frac{LS}{Q} \quad (13)$$

式中: L 为气辅挤出段长度,m; v 为熔体在气辅挤出段的流动速度,m/s; Q 为熔体的流量, m^3/s ; S 为气辅挤出口模的截面面积, m^2 。

挤出胀大率 B :异型材挤出胀大率 B 可通过下式进行计算:

$$B = \frac{S - S_0}{S_0} \times 100\% \quad (14)$$

式中: S ——挤出物的截面面积,m;
 S_0 ——挤出口模的截面面积, m_0 。

图3给出松弛时间 $\lambda = 1$ s、气辅挤出段长度 $L = 15$ mm时的挤出物形貌和截面图,图3a的挤出流量 $Q = 1 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$,停留时间 $t = 48.6$ s,挤出胀大率为0.99444%;图3b的挤出流量 $Q = 4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$,停留时间 $t = 12.15$ s,挤出胀大率为0.91988%。由图3可以看出,两图的挤出物截面形状和口模形状相比均产生变形,挤出胀大率均不超过1%。

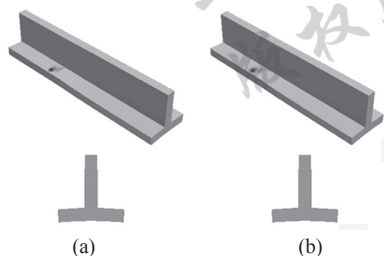


图3 $L = 15$ mm, $\lambda = 1$ s时挤出物的形貌图和截面图

图4给出松弛时间 $\lambda = 1$ s、气辅挤出段长度 $L = 45$ mm时的挤出物形貌和截面图。图4a的挤出流量 $Q = 3 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$,停留时间 $t = 48.6$ s,挤出胀大率为0.3031%;图4b的挤出流量 $Q = 12 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$,停留时间 $t = 12.15$ s,挤出胀大率为0.0141%。由图4可以看出,当气辅挤出段长度为45 mm时,挤出物截面形状和口模形状相比没有产生变形,基本没有挤出胀大。

对比图3、图4可以看出,在松弛时间较小时,尽管挤出胀大率均小于1%,但气辅挤出段长度是影响截面变形的主要因素,而增加停留时间并不能消除变形。

图5给出松弛时间 $\lambda = 11$ s、气辅挤出段长度 $L = 15$ mm时的挤出物形貌和截面图。图5a的挤出流量 $Q = 1 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$,停留时间 $t = 48.6$ s,

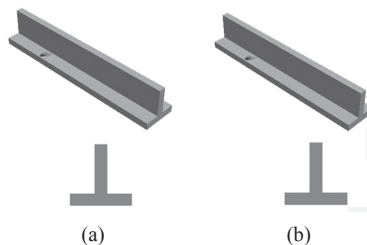


图5 $L = 15$ mm, $\lambda = 11$ s时挤出物的形貌图和截面图

挤出胀大率为4.48515%,图5b的挤出流量 $Q = 4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$,停留时间 $t = 12.15$ s,挤出胀大率为44.29361%。由图5可以看出,当挤出流量较小、停留时间较长时,有一定的挤出胀大;而当挤出流量较大,停留时间较短时有严重的挤出胀大,两种情况下的挤出物截面均产生变形。

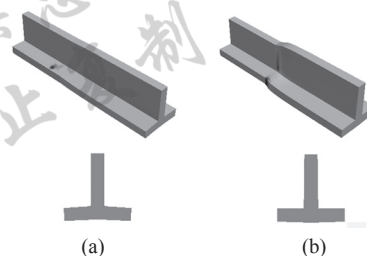


图6 $L = 45$ mm, $\lambda = 11$ s时挤出物的形貌图和截面图

图6给出松弛时间 $\lambda = 11$ s、气辅挤出段长度 $L = 45$ mm时的挤出物形貌和截面图。图6a的挤出流量 $Q = 3 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$,停留时间 $t = 48.6$ s,挤出胀大率为2.67497%;图6b的挤出流量 $Q = 12 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$,停留时间 $t = 12.15$ s,挤出胀大率为43.94833%。由图6可以看出,当挤出流量较小,停留时间较长时,有少量挤出胀大,没有产生变形;而当挤出流量较大,停留时间较短时,有严重的挤出胀大,并产生变形。

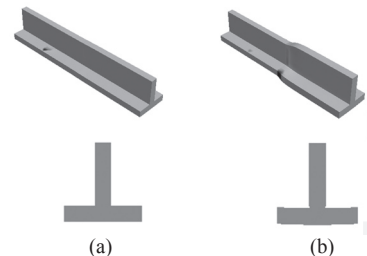


图7 $L = 45$ mm, $\lambda = 11$ s时挤出物的形貌图和截面图

对比图5、图6可以看出,当松弛时间较大时,

增加停留时间对减小挤出胀大具有较大作用,而减小变形需要同时增加气辅段长度和停留时间。

4 结论

气辅挤出时,松弛时间、气辅挤出段长度和气辅挤出段停留时间对挤出胀大和挤出物的变形均有较大影响。当松弛时间 $\lambda = 1$ s、熔体在气辅挤出段的停留时间 $t = 48.6$ s和12.15 s时,均能使挤出胀大率小于1%,但气辅挤出段长度 $L = 15$ mm时产生变形,而 $L = 45$ mm时变形消除;在松弛时间 $\lambda = 11$ s,熔体在气辅挤出段的停留时间 $t = 12.15$ s时, $L = 15$ mm和45 mm的挤出胀大率均超过40%,停留时间 $t = 48.6$ s时,挤出胀大率减小到5%以下且在 $L = 45$ mm时变形消除。

参考文献

- [1] Gifford W A, Dief row. Compensating for die swell in the design of profile dies[J]. Polymer Engineering and Science, 2003, 43(10):1 657-1 665.
- [2] Nobrega J M, Carneiro O S, Covas J A, et al. Design of calibrators for extruded profiles. Part I: Modeling the thermal interchanges[J]. Polymer Engineering and Sciences, 2004, 44(12):2 216-2 228.
- [3] Liang R F, Mackley M R. The gas-assisted extrusion of molten polyethylene[J]. J Rheol, 2001, 45(1):211-226.
- [4] Mackley M R. Sharkskin instabilities and the effect of slip from gas-assisted extrusion original contribution[J]. Rheol Acta, 2005, 44:1 023-1 027.
- [5] 柳和生, 卢臣, 黄兴元, 等. T型异型材气辅口模挤出胀大的数值模拟和实验研究[J]. 塑性工程学报, 2008, 15(1):158-161. Liu Hesheng, Lu Chen, Huang Xingyuan, et al. Numerical simulation and experimental study on die swell of T-shaped plastic profile extrusion from a gas-assisted die[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2008, 15(1):158-161.
- [6] 周国发, 谭志洪, 钟序光, 等. 气辅口模完全滑移挤出成型过程的三维等温黏弹性数值模拟研究[J]. 中国塑料, 2005, 19(1):48-52. Zhou Guofa, Tan Zhihong, Zhong Xuguang, et al. Study of numerical simulation for three-dimensional and isothermal viscoelasticity on full slip extrusion process of gas-assisted dies[J]. China Plastics, 2005, 19(1):48-52.

鞍山君利工程塑料有限公司

鞍山君利工程塑料有限公司是股份制企业,生产以工程塑料为主的改性材料。由教授级高工、中国塑协专家委员会专家负责生产技术。可为用户提供增强、增韧、复合、阻燃、环保阻燃、抗静电、耐磨、塑料合金类系列改性工程塑料。公司竭诚为用户“量身订做个性化需求的产品,为客户创造价值”。公司通过 ISO9001:2000 国际质量管理体系认证。公司宗旨:信誉第一;质量第一。

欢迎新老客户前来指导、合作!

- 改性品种:PA66、PA6、PP、PE、ABS、AS、HIPS、POM、PC、PC/ABS、PBT、PET、PVC 等系列改性塑料。
- 适用行业:家电、汽车、机械、铁路、纺织、石油化工、煤矿、农业等。

经理:徐长旭 13604228259, xuchangxu315@163.com

总工:赵文聘 13804910274, zhaowenpin315@163.com

地址:辽宁省鞍山市旧堡 邮编:114041 电话:0412-8935903 传真:0412-8935803 网址:www.asjls.com

奥姆尼塑料将为标致 308 供应全塑料后挡板

法国零部件供应商奥姆尼塑料不久前宣布,其已经在法国工厂投产其开发的首款全热塑性塑料后挡板,并将为标致汽车生产的 308 车型进行供应。

该款全热塑性塑料后挡板是奥姆尼塑料通过其位于法国里昂(Lyon)的SigmaTech研发中心开发的,目前分别在朗格勒(Langres)及Fontaine的两座工厂投产。新型塑料后挡板的重量大约为12 kg,与传统的钢制后挡板相比减轻大

约3 kg。

奥姆尼塑料表示,该公司计划今年在全球范围总计生产100多万套后挡板,同时计划在未来五年中将其后挡板产品所带来的营业收入提高一倍。

今年上半年,奥姆尼塑料在全球大部分地区的业务都保持增长,合并营业收入较去年同期提升了7.4%,达到25.7亿欧元。净利润同比增长1.8%,至9640万欧元,但净利率由去年同期的4%滑落至3.8%。(工程塑料网)