

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.06.011

T型口模气辅段长度对挤出胀大的影响

黄兴元,熊鹏,柳和生,李孟山

(南昌大学机电工程学院聚合物成型实验室,南昌 330031)

摘要:用流体有限元分析软件 Polyflow 对 T 型口模挤出模型进行模拟,研究了口模内熔体的速度场和压力场,并结合熔体的速度场、压力场,着重分析了气辅段长度对挤出胀大的影响。研究发现,在气辅挤出的气辅段中,熔体的流动速度基本趋于一致;气辅挤出口模内熔体的最大压力远小于普通挤出,熔体内应力更小;当气辅段长度为 10~30 mm 时,挤出胀大比随气辅段长度的增加大幅度减小,当气辅段长度超过 30 mm 时,挤出胀大比随气辅段长度增加变化微小且逐渐趋于 1。设计口模时,应根据需要设定合理的气辅段长度。

关键词:挤出胀大;气辅段长度;T型口模;数值模拟

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)06-0050-04

Effect of Gas-Assisted Length of T-Shape Die on Extrusion Swell

Huang Xingyuan, Xiong Peng, Liu Hesheng, Li Mengshan

(Polymer Processing Research Lab, School of Mechanical and Electric Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract : T-shape die extrusion model was simulated by fluid finite element analysis software polyflow. The melt velocity field and pressure field in the die was studied, and combined with the melt velocity field and pressure field, the effect of gas-assisted length on extrusion swell was emphatically analyzed. The result show that the melt flow velocity in the gas-assisted section of the gas-assisted extrusion is basic consistent. The maximum pressure in gas-assisted extrusion is far less than that in ordinary extrusion, the internal stress of the melt is smaller. When the gas-assisted length is 10~30 mm, the extrusion swell ratios are reduced greatly as the gas-assisted length increasing. When the gas-assisted length is more than 30 mm, the extrusion swell ratios change little and gradually trended to 1 as the gas-assisted length increasing. Therefore, the gas-assisted length should be set according to the need in die design.

Keywords : extrusion swell ; gas-assisted length ; T-shape die ; numerical simulation

塑料产品是人们生活中不可或缺的一部分。塑料产品的生产工艺有:挤出、注塑、压延、模压、传递模塑、吹塑等。挤出成型工艺比较简单,生产效率高,生产的产品种类广,其产量占世界塑料产品总产量的 40% 左右。采用传统挤出设备生产的板、片、膜、管的壁厚不均匀度一般高达 8%~10%,有时可以高达 20%,由此造成的材料浪费高达 8% 以上^[1]。这是由于传统挤出工艺的缺陷造成的。在传统挤出工艺中,聚合物在离经口模后的截面尺寸比口模截面尺寸有所增大,也就是产生了挤出胀大现象。挤出胀大现象是美国生物学家 Barus 于 1893 年首先发现的,故又称 Barus 效应或离模膨胀。

挤出胀大将导致产品外形和尺寸不达标,严重影响产品的质量。在传统挤出工艺中,人们不能直接采用产品尺寸设计口模,而是采用传统经验试差法设计口模^[2],这种方式会耗费大量的时间和资金。针对传统挤出工艺的缺点, R. F. Liang 等^[3]在 2001

年首次提出聚合物气体辅助挤出成型。赵良知^[4]研究发现,聚合物的挤出胀大比和口模入口角以及长径比有关。肖建华等^[5]研究了气辅挤出胀大比与滑移长度的关系,研究发现,熔体在滑移段的停留时间与材料松弛时间之比与挤出胀大比之间存在指数衰减关系。何健涛等^[6]对 L 型异型材气辅共挤气辅段长度进行了预测,研究发现,随着熔体流率的增加,气辅共挤口模所需的最短气辅段长度也相应地增加,但增速并不明显。笔者用流体有限元分析软件 Polyflow 进行模拟计算,对 T 型口模气辅段长度对挤出胀大的影响进行了分析。

1 数值模拟方法

1.1 数学模型

用 Polyflow 软件对 T 型口模的气辅挤出成型进行模拟,假设熔体挤出过程中不可压缩且忽略重

联系人:黄兴元,教授,主要从事高分子材料成型加工研究工作
收稿日期:2014-04-23

力影响,熔体流动为等温稳态流动。控制方程如下:

$$\text{连续性方程: } \nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (1)$$

$$\text{运动方程: } \rho \mathbf{V} \cdot \nabla \mathbf{V} = -\nabla P + \nabla \tau \quad (2)$$

式中: ∇ ——哈密顿算子;

$\mathbf{V}$ ——流体速度矢量;

ρ ——流体密度;

P ——流体内压力;

τ ——偏应力张量。

1.2 本构方程

模拟采用的聚合物熔体为黏弹性流体,用能反应其黏弹特性的 PTT 本构模型^[7],其模型见式(3)、式(4),表1为聚合物的 PTT 模型本构参数。

$$\tau = 2\eta_0 S D + E \quad (3)$$

$$1 + \frac{\varepsilon \lambda}{\eta_0} \text{tr} E + \lambda \left[\left(1 - \frac{\xi}{2} \right) \overset{\nabla}{E} + \frac{\xi}{2} \overset{\Delta}{E} \right] = 2\eta_0 (1 - S) D \quad (4)$$

式中: η_0 ——零剪切黏度;

S ——零剪切黏度中纯黏性分量占比;

D ——形变速率张量;

E ——偏应力张量中的弹性分量;

ε ——与拉伸黏度性能有关的参数;

λ ——松弛时间;

ξ ——与第二法向应力差性能相关的参数;

$\overset{\nabla}{E}$ —— E 的上随体时间导数;

$\overset{\Delta}{E}$ —— E 的下随体时间导数。

表1 聚合物的 PTT 模型本构参数^[8-9]

参数	数值
$\eta_0 / \text{Pa} \cdot \text{s}$	1 500
ε	0.16
ξ	0.25
S	0.12
λ / s	0.1

1.3 几何模型

本实验使用的几何模型二维图如图1所示。几何模型包括无滑移段、气辅段及挤出段。

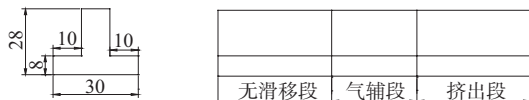


图1 几何模型二维图

1.4 边界条件及参数的设定

几何模型有入口、无滑移、滑移、自由表面及出口等边界。其中,入口边界设定入口流体流量为 $7 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$; 无滑移边界在无滑移段,与口模壁

面接触的熔体部分不发生滑移;滑移边界在气辅段,熔体与口模壁面没有摩擦,法向速度为零,切向力为零;出口边界设置为无法向、切向力作用;自由边界在挤出段,因为挤出胀大发生在该段,软件计算中会对该段进行网格重置。

2 结果与讨论

2.1 气辅挤出与普通挤出的胀大比较

图2、图3分别为普通挤出(气辅段长度为0 mm、无滑移段长度为100 mm)和气辅挤出(气辅段、无滑移段长度均为50 mm)条件下,模拟得到的挤出胀大结果。

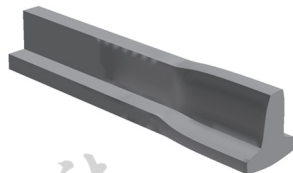


图2 普通挤出时挤出胀大模拟结果

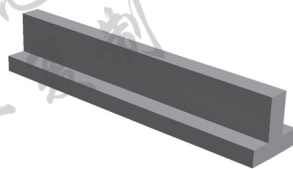


图3 气辅挤出时挤出胀大模拟结果

由图2、图3可以看出,采用普通挤出时,模拟结果的挤出胀大明显并发生翘曲变形(见图2);而采用气辅挤出时,不仅模拟结果的挤出胀大得到抑制,而且其翘曲变形也得到极大的改善(见图3)。

2.2 气辅挤出与普通挤出的速度场比较

图4、图5分别为普通挤出(气辅段长度为0 mm、无滑移段长度为100 mm)和气辅挤出(气辅段、无滑移段长度均为50 mm)条件下,口模中心切面的熔体流动速度场。



图4 普通挤出条件下口模中心切面的熔体速度场



图5 气辅挤出条件下口模中心切面的熔体速度场

对比图4、图5可以看出,采用普通挤出时,熔

体的流动速度在口模中心最大,口模壁面为零(见图4)。而采用气辅挤出时,气辅段内的熔体流动速度在无滑移段和气辅段交接处发生很大的变化,气辅段内的熔体各部分的流动速度基本相同。说明气辅段使熔体的流动从剪切流动变为滑移柱塞流动,减小了因剪切速率不同而造成的挤出胀大。对比两图中的挤出段发现,普通挤出出现明显的挤出胀大。

2.3 气辅挤出与普通挤出熔体压力场比较

图6、图7分别为普通挤出(气辅段长度为0 mm、无滑移段长度为100 mm)和气辅挤出(气辅段、无滑移段长度均为50 mm)条件下,口模中心切面的熔体压力场。



图6 普通挤出条件下口模中心切面的熔体压力场



图7 气辅挤出条件下口模中心切面的熔体压力场

由图6可以看出,在普通挤出条件下,熔体在挤出口模过程中的熔体压力逐渐减小,直到熔体挤出口模,熔体的压力才变为零;由图7可以看出,在气辅挤出条件下,熔体压力在熔体开始进入到气辅段时基本为零,在整个气辅段,熔体压力都保持不变。说明气辅段可以快速释放熔体内的压力,熔体的内应力也随之快速减小,有利于减小挤出胀大。另外,普通挤出时的熔体最大压力为 3.9×10^4 Pa,而气辅挤出时的熔体最大压力为 1.958×10^4 Pa,气辅挤出的熔体压力远小于普通挤出,大大降低了挤出机的能耗。

2.4 气辅段长度对挤出胀大的影响

图8为无滑移段、挤出段长度均为50 mm条件下,在离模距离50 mm处,气辅段长度对挤出胀大比的影响。

由图8可以看出,当气辅段长度为10 mm时,挤出胀大比最大;当气辅段长度为10~30 mm时,挤出胀大比大幅度减小;当气辅段长度大于30 mm时,挤出胀大比变化微小且逐渐趋于1。气辅段对挤出胀大有很大影响,增加气辅段长度,熔体在气辅

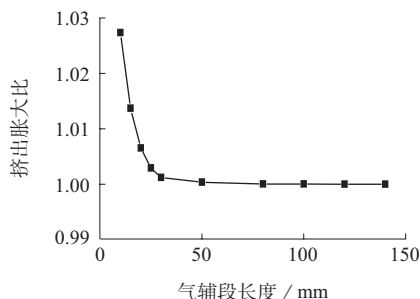


图8 气辅段长度对挤出胀大比的影响

段停留的时间就越长,熔体内的压力和应力在该段能得到更充分的释放,有利于减小挤出胀大。当气辅段长度增加到一定值时,挤出胀大比的变化不明显,趋于一定值。因此,在设计口模时应合理设置气辅段的长度。

3 结论

(1) 气辅挤出可以极大地消除挤出胀大和翘曲变形,改善产品质量。

(2) 普通挤出和气辅挤出的熔体速度场和压力场都有很大的不同。采用普通挤出时,熔体的流动速度在口模中心最大,口模壁面为零,而采用气辅挤出时,气辅段熔体的各部分速度均保持一致;在普通挤出条件下,熔体在挤出口模过程中的熔体压力逐渐减小,直到熔体挤出口模,熔体的压力才变为零。在气辅挤出条件下,熔体压力在熔体开始进入到气辅段时基本为零,在整个气辅段,熔体压力都保持不变。普通挤出口模内熔体最大压力远大于气辅挤出,采用气辅挤出,可降低挤出机的能耗。

(3) 增加气辅段长度,延长了熔体在气辅段停留的时间,有利于减小挤出胀大。当气辅段长度为10~30 mm时,挤出胀大比随气辅段长度的增加而大幅度减小,当气辅段长度大于30 mm时,挤出胀大比随气辅段长度增加变化微小且逐渐趋于1。设计口模时应合理设置气辅段的长度。

参考文献

- [1] 肖建华,柳和生,黄兴元,等.气辅挤出成型中的挤出缩小问题[J].中国塑料,2008,22(10):56-59.
Xiao Jianhua, Liu Hesheng, Huang Xingyuan, et al. Extrudate contraction of molten polymers in gas-assisted extrusion[J]. China Plastics, 2008, 22(10):56-59.
- [2] 胡晨章,周国发,谭志洪,等.气辅口模完全滑移挤出成型过程的三维等温粘弹数值模拟研究[J].中国塑料,2005,19(1):48-52.
Hu Chenzhang, Zhou Guofa, Tan Zhihong, et al. Study of numerical for three-dimensional and iso thermal viscoelasticity on full slip extrusion process of gas-assited[J]. China Plastics, 2005,

- 19(1):48-52.
- [3] Liang R F, Mackley M R. The gas-assisted extrusion of molten polyethylene[J]. Journal of Rheology, 2001, 45(1):211-226.
- [4] 赵良知. 不同角度圆锥口模对聚合物熔体挤出胀大的影响[J]. 塑料工业, 2005, 33(z1):116-118.
- Zhao Liangzhi. Theoretical analysis on polymer melt extrusion swell at conical die with different entrance angles[J]. China Plastics Industry, 2005, 33(z1):116-118.
- [5] 肖建华, 柳和生, 黄兴元, 等. 气辅挤出胀大比与滑移段长度的关系[J]. 高分子材料科学与工程, 2009, 25(7):166-169, 174.
- Xiao Jianhua, Liu Hesheng, Huang Xingyuan, et al. Influence of slip length of gas-assisted extrusion die on pressure drop and first normal stress[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2009, 25(7):166-169, 174.
- [6] 何建涛, 柳和生, 黄益宾, 等. L型异型材气辅共挤气辅段长度的预测[J]. 工程塑料应用, 2013, 41(11):46-50.
- He Jiantao, Liu Hesheng, Huang Yibin, et al. Gas-assisted length prediction of L-shaped profile gas-assisted coextrusion[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(11):46-50.
- [7] Thien N P, Tanner R I. A new constitutive equation derived from network theory[J]. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 1977, 2(4):353-365.
- [8] Takase M, Kihara S, Funatsu K. Three-dimensional viscoelastic numerical analysis of the encapsulation phenomena in coextrusion[J]. Rheologica Acta, 1998, 37(6):624-634.
- [9] Sunwoo K B, Park S J, Lee S J, et al. Three-dimensional viscoelastic simulation of coextrusion process: Comparison with experimental data[J]. Rheologica Acta, 2002, 41(1-2):144-153.

CPIC 推出低介电常数玻璃纤维——HL 玻璃纤维

HL 玻璃纤维是重庆国际复合材料有限公司 (CPIC) 继 2009 年推出高模量 TM 玻璃纤维、2012 年推出高强高模 HT 玻璃纤维之后, 于 2014 年推出的又一高品质、低介电常数玻璃纤维。

CPIC 依托其 5 大自主研发团队, 将专门配套的玻璃熔融技术与特殊的拉丝成型工艺相结合, 成功制备了 HL 低介电常数玻璃纤维。HL 玻璃纤维采用具有自主知识产权的全新配方设计, 也将延续 CPIC 产品惯有的高品质和稳定性。

HL 低介电常数玻璃纤维具有介电常数低、介电损耗因数低两大特性, 同时与传统的玻璃纤维相比, 其制品具有优异的加工性能与电气特性。HL 低介电常数玻璃纤维适用于数字电视、全球定位系统、移动通信基站、高速数据中心、云计算中心、光通信等高频电子电路领域; 也是航天、军用电磁透波领域制作电磁窗、透波墙及雷达罩的首选材料。(张娇)

全球 PC 市场缓慢恢复, 我国 PC 产能将快速增长

IHS 化学公司最新市场报告显示, 下游建筑和汽车市场复苏正在刺激北美和西欧地区的聚碳酸酯 (PC) 需求增长, 全球 PC 业务正在慢慢恢复元气。但亚洲尤其是我国大量新建 PC 产能投产将令全球供应仍然过剩, 将抑制生产商提高盈利能力。

(1) 北美: 主要终端市场强劲复苏, 生产成本继续下降。

北美 PC 市场日益强劲, 众多 PC 买家正在重新进入市场以补充已经耗竭的库存。一些主要的终端市场强劲复苏意味着 PC 需求将获得巨大的增长动力。汽车市场占据北美 PC 需求 26% 的市场份额, 而当前北美地区的汽车销售量正在攀升。多数汽车生产商的库存量已经处于理想水平。此外, 占据北美 PC 市场 34% 份额的建筑市场的前景也被业界看好。美国住宅销售量正在不断攀升, 将推动电气、电子和家用电器需求增长。

4 月份, 北美通用级 PC 价格上涨 88 美元 /t。与此同时, 4 月份原料苯的价格连续第二个月出现下降。原料成本

下降加之 PC 价格上涨已经改善了 PC 生产商的盈利能力, 这仍然低于历史平均水平。预计, 苯原料价格仍将继续下降, 因此今年 8 月份之前北美 PC 生产的现金成本将继续下降。

(2) 欧洲: 多数下游领域需求增长, 供应过剩局面仍将持续。

欧洲业务环境更具有挑战性, 多数下游市场的需求正在复苏, 但是 PC 供应过剩, 开工率仍然处于低位, 仅为 70%。受需求乏力和产能过剩的双重影响, 西欧 PC 价格自一年前开始下跌, 4 月份欧洲通用级 PC 合同价格为 2918 美元 /t, 而 2013 年 4 月份的合同价格为 3101 美元 /t。

今年年底前西欧 PC 需求将逐步增长。当前, 西欧经济的逐步复苏将支持大多数下游领域需求增长。但预计市场仍将供应过剩, 生产商们将继续为提高盈利水平而努力。

(3) 我国: 新增供应替代进口, 市场争夺愈发白热化。

据全球贸易信息服务公司 (GTIS) 的数据显示, 美国当前是我国第 4 大 PC 进口来源国, 去年向我国出口了 12.5 万 t PC 产品。然而, 美国在我国 PC 进口市场中的份额正在逐步萎缩, 从 2011 年的 11.4% 降至 2012 年的 10.5%, 2013 年进一步降至 9.1%。今年前 3 个月的数据显示, 这种下降的趋势仍在继续。

而韩国和我国台湾地区销往我国大陆地区的 PC 正在增长。2013 年, 韩国向我国出口 31.4 万 t, 占我国进口 PC 市场份额的 22.7%。我国台湾地区向我国大陆地区销售 23.4 万 t, 占市场份额的 17%。

另外, 沙特阿拉伯也在逐步抢占我国 PC 市场份额, 2013 年, 向我国出口 7.7 万 t, 占比 5.6%, 而 2010 年时出口量为零。

抢占我国 PC 市场的竞争将进一步加剧, 我国国内的 PC 需求将从 2013 年的 140 万 t/a 增加至 2018 年的 190 万 t/a, 然而同期我国国内的 PC 产能将增加 70 万 t/a, 到 2018 年, 我国国内 PC 产能将达到 120 万 t/a。新增产能不仅将供应新的需求, 而且还将替代当前的进口。(工程塑料网)