

基于注塑 CAE 的管件反变形设计

宋财福

(广东联塑科技实业有限公司, 佛山 528318)

张鹏 汪存龙

(广东工业大学材料与能源学院, 广州 510090)

摘要 利用注塑 CAE 软件对聚乙烯管件进行变形分析, 发现管件孔口沿熔接线方向发生椭圆形变, 然后结合实测不圆度数据, 确定反变形型腔尺寸, 对管件模具在型腔、型芯上的分型面方向和开模方向采用不同的收缩率进行实际注射实验。结果表明, 对圆筒状管件采用反变形, 使其孔口不圆度有很大改善。

关键词 注塑管件 失圆 注塑 CAE 反变形

热塑性塑料在高温熔融态时表现为粘弹性, 各流变学性能受压力、温度、速率的影响, 当制品冷却后从模腔内取出时, 发生因热收缩和结晶导致的体积收缩(所有聚合物)及线性收缩(半结晶聚合物)。在无外力的作用下, 体积收缩为各向同性, 线性收缩受应力和填料导致的分子取向影响, 故同一注塑制品的不同部位, 收缩的大小和主方向都会不同, 确定所需要的模腔尺寸以获得规定尺寸的塑料制品非常困难^[1-2]。目前, 大多数模腔尺寸是根据标准测试方法(如 ASTM D 955)收集的数据进行计算的, 但这些数据没有考虑到制品结构的复杂性及工艺的不确定性, 导致注塑成型的制品出现各向尺寸偏差、整体翘曲、变形等缺陷。

聚乙烯(PE)为半结晶型聚合物材料, 是典型的软而韧的聚合物, 其分子链规整且具有良好的柔性, 由于其具有较高的结晶度及结晶度在很大范围内会变化, PE 的收缩率绝对值及其变化范围都很大, 低密度聚乙烯收缩率在 1.5%~5.0% 之间, 高密度聚乙烯在 2.5%~6.0% 之间。同时, 由于 PE 的结晶能力高, 成型工艺参数(如温度、冷却速率)、分子取向、填料等对制品收缩影响大, 故 PE 制品在厚度方向、流动方向及垂直于流动方向收缩率有很大的不同^[3]。

利用反变形方法对注塑模具型腔进行优化设计的主要过程为通过 CAE 模拟获得制品的变形方向(角度)及大小, 根据变形数据进行定量的反变形处理得到制品反变形网格模型, 进行分析修正, 通过逆向造型设计制品模型, 然后制作相应的模具进行生产^[4]。但实际模具设计及加工时对各点采用不同的收缩率难度很大, 成本过高, 而且制品的注塑成型工艺窗口窄, 制品质量受工艺影响大。

1 反变形型腔尺寸计算

一般模具型腔尺寸是根据材料供应商提供的收

缩率按式(1)来计算^[5]:

$$L_m = L_p / (1 - \alpha_L) \quad (1)$$

式中: L_m ——模腔的长度, mm;

L_p ——注塑制品的目标长度, mm;

α_L ——给定材料的收缩率。

由于圆筒类制品的孔口是封闭的, 其变形并不是某一方向的自由形变, 而是保持切线连续和曲率连续的变形, 变形后的截面上总存在一个最大的椭圆, 故变形的大小可用不圆度来度量, 如式(2)所示。实际型腔制作时, 可以对椭圆的长、短轴采用不同的收缩率进行反变形补偿, 因目前暂无相关计算方法的研究报道, 特提出近似计算公式如式(3)所示。

$$\delta = L_{p1} - L_{p2} \quad (2)$$

$$L_m = L_p \alpha_L \pm \frac{\delta}{2} \quad (3)$$

$$\alpha_L = \frac{2L_m \mp \delta}{2L_p} \quad (4)$$

式中: δ ——不圆度, mm;

L_{p1} ——椭圆的长轴, mm;

L_{p2} ——椭圆的短轴, mm。

为便于统一不圆度的方向, 笔者假定注塑管件分型面方向为椭圆的长轴方向, 开模方向为椭圆的短轴方向。

2 CAE 模拟变形分析

制品为异径三通管件, 如图 1 所示(为便于区分, 三个分支按图 1 所示编号为 I、II、III)。该管件主要用于市政工程排水, 分支 I、II 外径为 110 mm, 内径为 100.4 mm, 分支 III 外径为 50 mm, 内径为 40.4 mm, 整个管件壁厚 4.8 mm, 管件两轴线夹角为 91.5°。制品所用材料为中密度 PE, 牌号为法

国 Ato Fina 公司的 MDPE3802B, 密度为 0.938 g/cm³, 熔体流动速率为 0.2 g/10 min (190℃/2.16 kg)。图 2 所示为制品模具结构示意图, 动、定模板内加工均匀有对称的水井水路, 两轴向各有一个抽芯, 型芯内亦有水井水路, 水井孔径为 16 mm, 挡水板厚度为 2 mm, 经 CAE 初步分析, 取最佳浇口于直管中部分型面处, 采用圆形浇口进胶, 浇口直径为 8 mm。

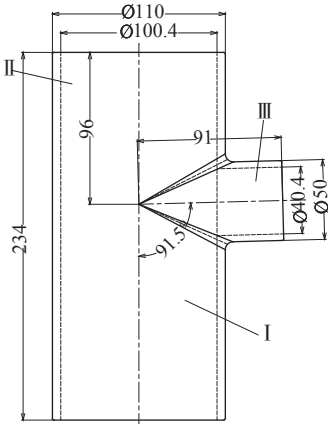
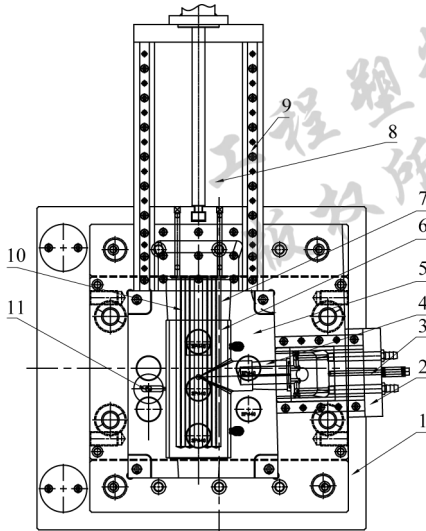


图 1 91.5°异径三通管件



- 1—动模固定板; 2—油缸固定板; 3—油缸组件二; 4—型芯二;
5—模仁; 6—型腔; 7—型芯一; 8—油缸组件一;
9—行位压条; 10—型芯水路; 11—浇注系统

图 2 模具结构示意图

2.1 产品建模及前处理

利用 UG 建立制品的三维模型, 圆形型腔根据材料供应商提供的数据各向采用相同收缩率为 1.018%, 将制品模型导出为 .Stp 格式文件, 与 IGES 格式的文件相比, 文件数据损失及破面少, 通过 hypermesh 等前处理软件修补破面并去除影响运算精度的小圆角、倒角, 导入注塑 CAE 软件 (如 Mold-

flow、Modex 3D 等) 中进行网格划分, 如图 3 所示。对模型网格中的不合格纵横比、重叠边、自由边等进行修复, 如图 4 所示。使网格的质量达到进行翘曲变形分析的条件, 并参照图 2 模具结构图构建相应的冷却系统和浇注系统, 并检测它们的连通性, 分析模型如图 5 所示。

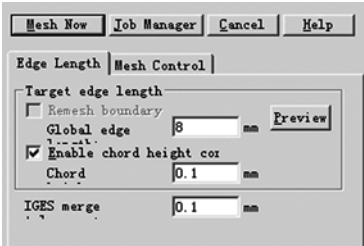


图 3 网格划分

Edge details	
Free edges	0
Manifold edges	13971
Non-manifold edges	0
Orientation details	
Elements not oriented	0
Intersection details	
Element intersections	0
Fully overlapping elements	0
Duplicate beams	0
Surface triangle aspect ratio	
Minimum aspect ratio	1.161000
Maximum aspect ratio	5.427000
Average aspect ratio	1.811000
Match percentage	
Match percentage	97.6%
Reciprocal percentage	99.8%

图 4 网格质量统计

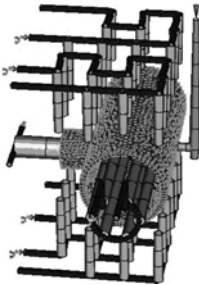


图 5 异径三通管件建模

2.2 变形分析

分析时, 制品材料选用软件材料库中的 Fina Oil 公司的 Finathene 3802B 作为替代材料, 模具材料为 2Cr13, 模具温度设为 48℃, 熔体温度为 210℃, 开模时间为 5 s。分析顺序按照 Flow (流动)、Cool (冷却)、Pack (保压) 进行, 并依次优化各注塑参数, V/P 切换点设在注塑体积达到 98% 时自动切换, 最终采用优化后的多段注射曲线及保压曲线进行 Cool +

Flow + Warp 分析, 如图 6 所示(注射速度、螺杆行程和填充压力均取值为设备最大值的百分比), 得出孔口变形轨迹及数据如图 7 及表 1 所示。

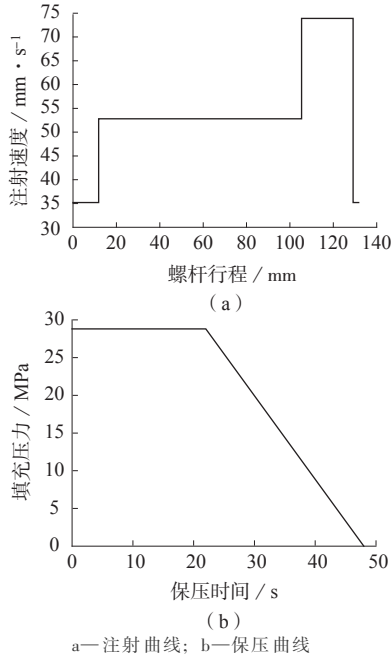


图 6 优化后的注射及保压曲线

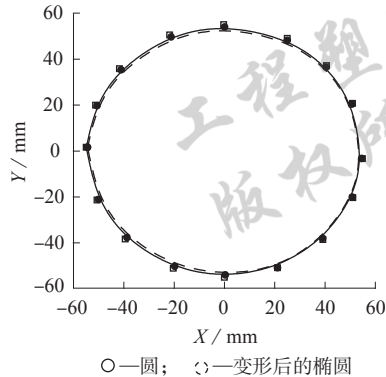


图 7 CAE 分析的孔口失真

表 1 孔口变形与反变形数值(CAE 分析) mm

分支号		分型方向	开模方向	不圆度
圆形型腔	I	111.98	111.98	0
	II	111.98	111.98	0
	III	50.98	50.98	0
圆形管件孔口变形	I	110.82	109.32	1.5
	II	110.67	109.22	1.45
	III	50.08	49.87	0.21
反变形型腔	I	111.23	112.73	-1.5
	II	111.23	112.73	-1.5
	III	50.98	50.98	0
反变形后管件孔口变形	I	110.13	109.89	0.24
	II	109.89	110.06	-0.17
	III	50.07	49.83	0.24

2.3 反变形分析

对图 7 分析得知, 圆形的管件孔口变形后在截面内沿熔接线方向有一个最大的椭圆, 长轴位于分

型面方向(即熔接线汇集处), 短轴位于开模方向, 这是由于管件内部的应力释放时, 熔接线处强度较弱, 不足以使孔口维持原圆形的缘故^[6], 三口口的不圆度分别为 1.5、1.45、0.21, 因 III 分支的变形较小, 故只对 I、II 分支椭圆的长、短轴进行反变形。考虑到模具结构型芯抽芯的可行性, I、II 分支补偿相同的不圆度 1.5, 据式(3)可得反变形型腔方向及尺寸如图 8 和表 1 所示, 由式(4)可计算出分型方向和开模方向收缩率分别为 1.025% 和 1.011%。对反变形型腔进行重新建模, 如图 9 所示, 原浇注系统及冷却系统不变, 进行分析后所得的结果如表 1 所示, 轨迹如图 7 所示。

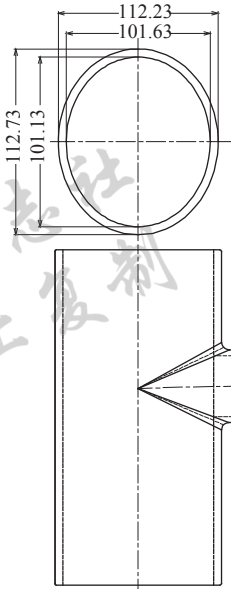


图 8 反变形孔口尺寸

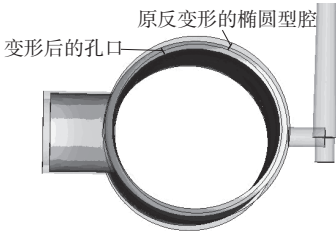


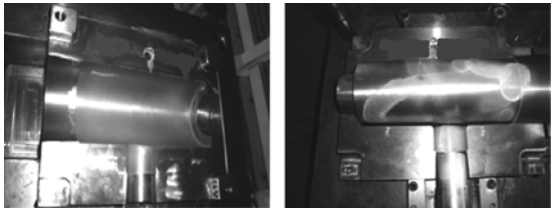
图 9 反变形模拟

由表 1 对反变形前后模拟结果比较可以看出, 分支 I、II 的不圆度有很大改善, 不圆度分别减少了 84% 和 88%, 但 II 分支的变形方向发生了改变, 是由于反变形过量的缘故, III 的不圆度受反变形型腔的影响, 有所增大, 但根据企业内部按客户需要制定的验收标准 110 孔口不圆度为 1 mm、 $\varnothing 50$ 孔口不圆度为 0.4 mm, 这在可接受的范围之内。

3 实验验证

模具设计时, 可借鉴 CAE 模拟所得变形方向并

结合同类型相近规格制品的实际变形数据,初步确定型腔尺寸在分型面方向及开模方向的收缩率,考虑到壁厚的一致性,对型芯作同样的反变形处理;模具制作时,可利用“型腔取小值,型芯取大值”的原则,留余量进行初加工并试模,获得圆形型腔的变形数据,按式(2)计算不圆度,按式(3)设计反变形型腔及型芯,按式(4)计算各向收缩率,最终椭圆形型腔的开模方向和分型方向的收缩率分别取为1.037%和0.099%,如图10所示。



(a) 型腔; b-型腔和型芯

图10 反变形模具

注塑时,采用海天 MA4700 注塑机注射成型,螺杆直径为84 mm,圆形型腔及反变形型腔实际注射成型的制品的变形数据比较如表2所示。由表2可见,实际注塑时圆形管件孔口变形更大,但采用反变形技术后,与反变形模拟结果相同,管件孔口的变形得到很大改善,实际注射成型的制品如图11所示。

表2 孔口变形与反变形数值(实测) mm

分支号	分型方向	开模方向	不圆度
圆形型腔	I	111.98	111.98
	II	111.98	111.98
	III	50.98	50.98
圆形管件孔口变形	I	112.13	107.87
	II	112.01	108.04
	III	50.47	49.86
反变形型腔	I	109.88	114.08
	II	109.88	114.08
	III	50.98	50.98
反变形后管件孔口变形	I	110.13	109.89
	II	109.89	110.06
	III	50.07	49.83



图11 实际注射成型的91.5°异径三通管件

4 结论

(1) 利用注塑 CAE 软件对 91.5°异径三通管件进行变形分析及反变形分析,所得的变形趋势及结果与实际一致,对制品的变形预测及型腔、型芯的设计、加工具有指导意义,大大节约了制模成本及修模次数。

(2) 管件孔口变形后,在其截面发生椭圆形变,椭圆的长轴位于熔接线上(分型面方向),短轴位于开模方向,结合 CAE 模拟所得的变形方向与实际注射成型圆形制品变形数值进行反变形设计,对椭圆的长短轴取不同的收缩率,实际注射成型的管件孔口不圆度有很大改善。

(3) 反变形方法可解决圆筒状制品孔口的变形问题,拓展了反变形的应用范围。

参考文献

[1] 奥斯瓦德 T A,特恩格 L,格爾曼 P J. 注塑成型手册[M]. 北京: 化学工业出版社,2005: 67-71.

[2] Beaumont J P, Nagel R, Sherman R. 成功的注射成型加工、设计和模拟[M]. 北京: 化学工业出版社,2009: 44-45.

[3] 牛克中. 成型收缩率塑料及其在生产中的控制方法[J]. 河南机电高等专科学校学报,2000, 8(1): 28-29.

[4] 张宾, 章争荣, 肖小亭. 基于数值模拟的反变形模型构建 CAD 模型的方法[J]. 机电工程技术,2008, 37(11): 13-15.

[5] 李倩, 王松杰, 申长雨, 等. 模具设计中收缩率的预测[J]. 电加工与模具,2002(5): 53.

[6] 钱宇强. 注塑制品融接痕研究[D]. 广州: 广东工业大学,2009: 35.

DESIGN OF REVERSE DEFORMATION OF THE PIPE FITTING BASED ON CAE TECHNOLOGY

Song Caifu

(Guangdong Liansu Technology Industrial Co.Ltd., Foshan 528318, China)

Zhang Peng, Wang Cunlong

(Institute of Materials Science and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

ABSTRACT CAE of injection software was used to analysis the deformation of PE pipe and elliptical deformation occurred along the weld lines of pipe orifice was found. Then combining with measuring the data of out of roundness, the size of reverse deformation cavity was confirmed, and different shrinkage rates in parting face and mold opening direction of cavity and core of pipe mould were adopted to make practical injection test. The results showed that out of roundness of pipe orifice was improved greatly when reverse deformation was adopted for cylinder pipe.

KEYWORDS injection pipe, out of round, CAE of injection, reverse deformation