

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.07.007

PE-MD 厚壁燃气管道阀门缩孔研究^{*}

梁业兴^{1,2}, 凌中水^{1,2}, 潘莹^{1,2}, 李春波^{1,2}, 黄虹宾^{1,2}

(1. 深圳大学机电与控制工程学院, 广东深圳 518060; 2. 深圳大学深圳市模具先进制造技术重点实验室, 广东深圳 518060)

摘要: 针对厚壁中密度聚乙烯燃气管道阀门内部缩孔问题, 设计并制造了相应的模具, 从模具结构、注塑工艺、制件脱模后热处理等方面提出了解决制件内部缩孔问题的方案。通过对各种工艺参数的优化研究, 得出了各因素对内部缩孔问题的影响程度及最佳工艺参数。结果表明, 合理的工艺条件及模具结构能够解决厚壁制件内部缩孔问题。

关键词: 中密度聚乙烯; 收缩率; 燃气管道阀门; 缩孔; 正交试验; 单因素试验

中图分类号: TQ320.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-3539(2012)07-0027-05

Research of Shrinkage Cavity of PE-MD Thick Gas Pipe Valves

Liang Yexing^{1,2}, Ling Zhongshui^{1,2}, Pan Ying^{1,2}, Li Chunbo^{1,2}, Huang Hongbin^{1,2}

(1. College of Mechatronics and Control Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;

2. Shenzhen Key Laboratory of Advanced Manufacturing Technology for Mold & Die, Shenzhen 518060, China)

Abstract: A mold was designed and manufactured in order to solve the internal shrinkage of medium density polyethylene (PE-MD) thick gas pipe valves, the solutions of internal shrinkage was proposed from the structure of mold, injection process, heat treatment after demolding of plastic part and so on. The effect of each parameter on internal shrinkage and the optimal technological parameters were obtained by optimizing and researching different processing parameters. The experimental results showed that the problem of internal shrinkage of PE-MD could be solved through a reasonable process and mold structure.

Keywords: medium density polyethylene; shrinkage; gas pipe valves; shrinkage cavity; orthogonal experiment; single-factor experiment

塑料阀门具有质量轻、耐腐蚀、不结垢、导热系数小等特点, 可与塑料管道一体化连接, 越来越广泛地应用于燃气输送系统中^[1]。由于阀门结构的特殊性, 塑料阀门比相应的管材厚数倍以上。对于厚度大于 10 mm 的阀门, 由于材料、模具结构、注射工艺影响, 制件内部产生较大的缩孔, 导致阀门强度降低, 存在重大安全隐患。

对于制品收缩, 很多研究人员进行了研究, 如大连交通大学的赵永成对注射成型过程中塑料件收缩率的影响因素进行了分析^[2]; 大连理工大学的祝铁丽分析了注射成型制品的收缩规则, 并开发了相应的算法程序^[3]; 浙江工业大学的陈志针对高密度聚乙烯(PE-HD)厚壁制件成型冷却过程进行了 CAE 分析, 阐述了厚壁制件内部缩孔的机理^[4]; R. Y. Chang 等^[5]分析了结晶性对制件翘曲、收缩的影响, 用方程描述了结晶型塑料的 PVT 关系, 并结合结晶动力学理论, 采用三维有限元计算了制件的收缩和翘曲变形; K. M. B. Jansen 等^[6]试验了不同的工艺参数对制件收缩的影响程度, 得出保压压力和

融胶温度对制件收缩具有显著的影响, 注射速度和模具温度影响较小等结论。

厚壁制件内部缩孔问题一直是困扰广大工程技术人员难题。目前对于解决实际缩孔问题鲜有报道, 大多是在理论和软件分析的基础上提出了收缩率的影响因素。笔者基于某大型公司的中密度聚乙烯(PE-MD)DN25 阀端管产品, 设计并制造了相应的模具, 利用正交试验、单因素试验方法得出了注塑工艺中各参数对内部缩孔的影响程度及最佳工艺参数, 成功解决了厚壁制件缩孔问题, 并应用于该公司的大批量生产中。

1 材料及制件结构

本试验所用材料为北欧化工公司生产的黑色 PE-MD ME3440, 该材料是燃气管道专用料, 具有优良的柔韧性、耐候性及长期的热稳定性, 其成型

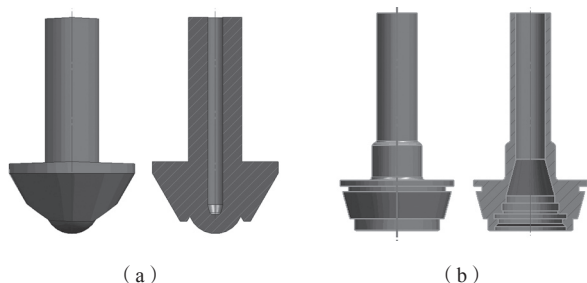
^{*} 国家自然科学基金项目(60978039)

联系人: 黄虹宾, 博士后、教授, 主要从事注塑工艺、节能技术、高光模具及设备等方面的研究

收稿日期: 2012-04-23

收缩率为 1.5%~3.6%,熔融温度为 140℃,密度为 940 kg/m³。

DN25 阀端管制件结构^[7]如图 1 所示,毛坯总体尺寸 157 mm×91 mm×91 mm,内径 11 mm,最大壁厚 40 mm,质量 240 g。从图 1 可以看出,毛坯大头部分需切屑成多个台阶,中间装有密封圈,端面需与阀座进行焊接,需承受燃气压力,故整个产品不允许出现任何缩孔。

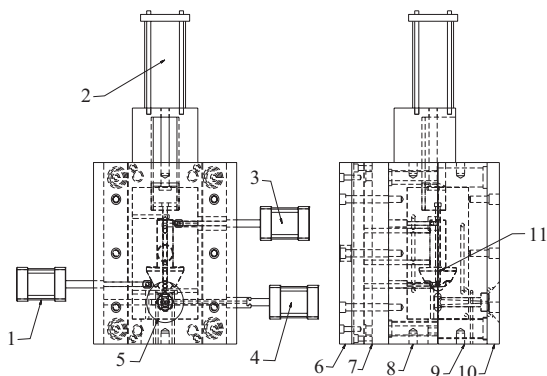


a—制件毛坯图; b—制件加工图

图 1 制件结构图

2 阀端管模具

DN25 阀端管模具结构如图 2 所示,该模具在普通模具的基础上增加了蒸汽辅助加热装置^[8],该加热装置将蒸汽直接通入模腔表面,具有加热速度快,加热均匀,加热深度浅,节省热能的特点。模具采用大水口、单点进胶,浇口直径最大处为 12 mm,最小处为 4 mm,总长 125 mm。



1—进气(汽)口开关气缸; 2—抽芯机构; 3—出气(汽)口开关气缸;

4—射嘴开关气缸; 5—浇口套; 6—底夹板; 7—方铁; 8—B 板;

9—A 板; 10—顶夹板; 11—制件

图 2 DN25 阀端管模具结构

3 试验方案及结果分析

3.1 初步试验

初步试验过程中未通冷却水,模具表面不加热,调节注塑机各参数,使制件表面无披风、成型充分。相关工艺参数范围是:熔胶温度 170~220℃,

注塑压力 70~99 MPa,注射时间 5~15 s,保压压力 70~99 MPa,保压时间 5~15 s,模具温度 15~20℃,冷却时间 10~100 s,制件自然冷却。经切削检测,上述所有制件均有大小不等的缩孔。

3.2 正交试验^[9]

(1) 正交因素、水平确定及缩孔测量

制件成型中收缩率的影响因素包括塑料材质、制件结构、模具结构及注塑工艺,其中注塑工艺中对本产品内部缩孔有影响的主要因素有熔胶温度(A),模腔表面温度(B),模具内冷却时间(C),保压压力(D),保压时间(E),脱模后冷却方式(F),此外保压压力和保压时间的交互作用也考虑在列,每个因素取三个水平,模具采用常温水冷却,模腔表面温度由蒸汽直接通入模腔表面的模温机控制,脱模后分别采用冷水、空气、热水充分冷却。

制件为厚壁制品,内部缩孔大小及位置有很大随机性,给分析带来极大不便,正交实验中制件的收缩率采用综合评分法,具体操作为:将实验制件在普通车床上以每次进刀 2 mm,一层层的切削,记录缩孔的大小及数量,将结果分为 7 个评分等级:70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 其中 70~80 为特大缩孔,85~90 为较大缩孔,95~100 为少或无缩孔,如图 3 所示。



图 3 制件切削零件图

(2) 正交试验方案

本试验 6 个因素取 3 个水平, D、E 存在交互作用,选取 $L_{27}(3^{13})$ 正交表安排试验,表头设计如表 1, 试验号 27 种,每种试验方案安排 5 次,试验时没有列入正交表的其它因素,如注塑压力、注塑时间、注塑速度、熔胶速度等在保证产品成型的情况下应适度调高。试验方案及结果见表 2。

表 1 因素水平表

水平	因素					
	A/℃	B/℃	C/s	D/MPa	E/s	F
1	170	30	20	70	5	冷水(5~10℃)
2	190	40	40	80	10	空冷(15~25℃)
3	210	50	60	90	15	热冷(85~95℃)

表2 试验方案及结果¹⁾

试验号	因素													综合评分
	1 (A)	2 (B)	3 (C)	4 (D)	5 (E)	6 (F)	7	8	9	10 (D×E) ₁	11	12 (D×E) ₂	13	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	70
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	90
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	80
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	75
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	95
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	100
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	75
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	100
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	95
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	90
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	90
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	75
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	85
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	85
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	75
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	80
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	85
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	75
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	80
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	70
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	80
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	85
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	70
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	90
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	80
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	75
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	85
K_{ij}	780	725	725	725	720	660	735	765	750	750	745	745	745	$T=2235$
K_{2j}	740	760	765	765	760	785	755	740	740	745	750	755	745	
K_{3j}	715	750	745	745	755	780	745	720	745	740	740	735	745	
R	65	35	40	40	40	125	20	45	10	10	10	20	0	
S_j	238.89	72.22	88.89	88.89	105.56	1112.96	22.22	112.96	5.56	5.55	5.55	22.22	0	

注:1) K_{ij} 为均值; R 为极差; S_j 为平均偏差平方和。

(3) 正交试验结果直观分析与方差分析

从表2可知,6号和8号试验的制件内部完全无缩孔,相应的组合为A1B2C2D2E3F3, A1B3C3D3E2F2。极差的大小反应了各个因素的水平改变对试验指标的影响,极差越大,表明该列因素的数值在试验范围内的变化导致试验指标在数值上的更大变化,即影响因素越大,表中各因素从主到次顺序为F, A, E, C, D, B, (D×E)₂, (D×E)₁。各个因素较优水平取 K_{ij} 较大值,指标越大,综合评分越高,故相关的最优组合为A1B2C2D2E2F2。表3示出因素D×E交互作用分析二元表。从表3可知, D×E交互作用选取D3E2或D3E3为最优组合。

表3 因素D×E交互作用分析二元表

因素	D1	D2	D3
E1	235	235	250
E2	250	250	260
E3	240	255	260

表2还表明,平均偏差平方和 S_j 确定各因素的主次顺序为FAECDB(主→次)。表4为方差分析结果,其中 e 为13项中空白列误差之和,根据自由度 f 查 F 分布表可得 $\alpha=0.01, 0.05, 0.1$ 的临界 F 值,通过对比,因素A, F对指标影响特别显著,记为“**”, E, C, D, B对指标影响比较显著,记为“*”; D×E对指标无显著影响,记为“-”。

表4 方差分析表

方差来源	S_j	自由度 f_j	均方差 S_j/f_j	S_j/f_j S_e/f_e	临界 F 值			显著性
					0.10	0.05	0.01	
A	283.89	2	141.95	9.70	2.92	4.10	7.56	**
B	72.22	2	36.11	2.47	2.92	4.10	7.56	*
C	88.89	2	44.45	3.03	2.92	4.10	7.56	*
D	88.89	2	44.45	3.03	2.92	4.10	7.56	*
E	105.56	2	52.78	3.61	2.92	4.10	7.56	*
F	1112.96	2	556.48	38.03	2.92	4.10	7.56	**
D×E	27.77	4	6.94	0.47	2.61	3.48	5.99	—
e	146.29	10	14.63					
总和	1928.67	26						

综合直观分析与方差分析,可以明显看出脱模后冷却方式对制件内部缩孔影响特别显著,冷水冷却时内部缩孔特别严重,如图3(右下)缩孔大而集中,热水和空冷时内部缩孔有明显改善,有完全无缩孔的塑料件出现。对此可解释为:制件壁厚,质量大,脱模后内部塑料尚处于熔融状态,未完全冷却,当制件放入冷水后,外部迅速冷却,当内部充分冷却时,由于材料的热胀冷缩性,内部收缩得不到补充,产生大小不等的缩孔。

熔胶温度对制件内部缩孔影响特别显著,内部缩孔几乎与熔胶温度呈线性比例,在温度为170℃时获得了完全无缩孔的产品。对此可解释为:随着料温提高,分子间相互作用力减弱,熔体自由体积增加,热收缩率增大,由于本实验温度取值的局限性,下一步将安排温度的单因素变量实验。

保压时间、冷却时间、保压压力、模腔表面温度均对制件内部缩孔有显著影响。图4显示各因素取中间值均能获得较高的质量。一般来说,在浇口未完全凝固前,较长的保压时间和较大的保压压力能够向模腔内融入更多的融料;在产品完全成型后,较短的冷却时间能够在制件外表面未完全凝固前放入热水或空气中,内部能够从外表面得到一定程度的补缩,但是冷却时间过短,内部抽芯孔在脱模后可能未完全定型,熔融塑料将抽芯孔填满,反而补缩厚壁部分的熔胶;模腔表面温度对制件质量具有相对较小的影响,一定温度的模腔表面温度能够防止浇口过早凝固,从而注入更多的熔胶,同时防止制件外表面在模腔内快速凝固。

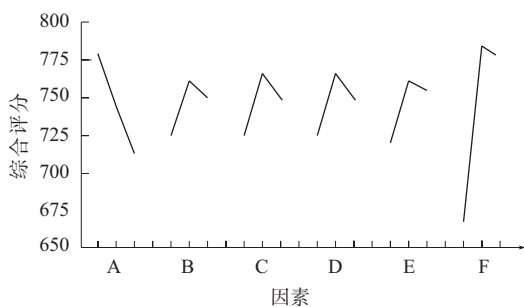


图4 因素与指标趋势图

表2中第8列偏差平方和为112.96,该未知因素比保压时间、冷却时间、保压压力、模腔表面温度有更高的显著影响,故还有其它因素对制件内部缩孔有较大影响。根据以往经验,注塑压力,注射时间,注射速度等均对其有较大影响,因为压力增大,注射速度提高,充模过程加快,一方面因塑料熔体的剪切

发热而提高熔体温度,另一方面在熔体温度尚高,流动阻力较小的状态时较早地进入了保压补料阶段,从而注入更多溶胶,减少缩孔。

3.3 单因素实验法

前期正交实验中,得到各因素的影响程度及趋势,初步得出了制件内部缩孔解决方案,后续将确定各因素的参数范围,确保产品较高的合格率。具体试验方式如下:在正交实验的基础上选择一个合理的范围,每种因素选取10个等级,其它因素取正交表中最优组合,为尽量减少偶然性误差,每个等级重复10次。如熔胶温度取值170,175,180,185,190,195,200,205,210,215℃,保压时间10 s,冷却时间40 s,保压压力80 MPa,模腔表面温度40℃。试验结果如图5所示,随着熔胶温度的升高,制件质量呈现先升后降的趋势,最佳温度为180℃,过低的熔胶温度将导致塑料难以融化,填充性降低,过高的熔胶温度将导致热收缩增大。

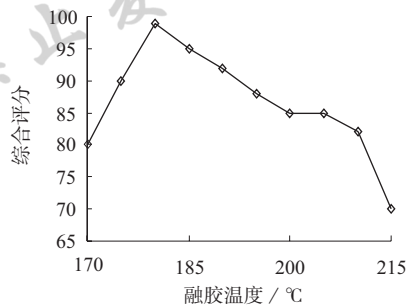


图5 熔胶温度与综合评分走势图

图6~图8示出模腔表面温度、保压和冷却时间、保压和注塑压力与综合评分走势。图6显示制件质量随模腔表面温度出现一定的起伏变化,在40℃左右能获得较高的质量。图7中冷却时间曲线显示在25~40 s内能获得较好的产品,过短的冷却时间不利于制件成型,过长的冷却时间将导致制件表面在模腔内凝固,导致严重缩孔;保压时间曲线显示随保压时间的延长,制件质量综合评分处于较

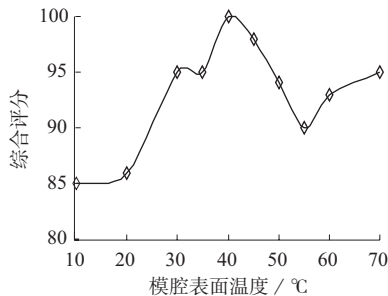


图6 模腔表面温度与综合评分走势图

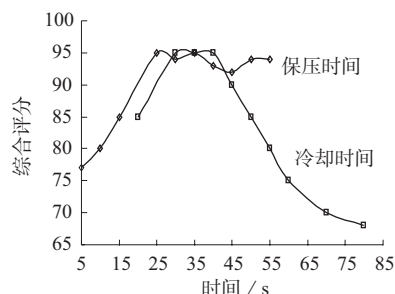


图7 保压和冷却时间与综合评分走势图

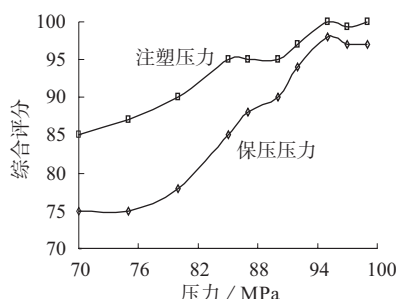


图8 保压和注塑压力与综合评分走势图

稳定的状态,因为在浇口凝固后,过长的保压时间将不再起作用。图8中保压压力曲线显示制件质量随保压压力升高而提高,一般较大的压力下能够注入更多的熔胶,从而减少缩孔;注塑压力曲线显示制件质量随注塑压力的升高而提高,较高的注塑压力能够往模腔中注入更多的熔胶。

综合所有试验结果,最佳实验方案车削结果如图9所示,从图9可知产品完全无缩孔(中间孔为抽芯孔)。

4 结论

从正交试验和单因素试验结果发现,各个因素的影响大小依次为:脱模后冷却方式、熔胶温度、冷却时间、保压时间、模腔表面温度、保压压力。最佳

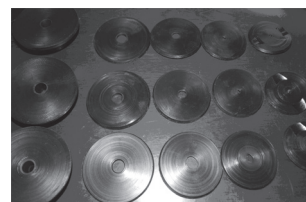


图9 合格制件车削图

工艺组合为:熔胶温度 180℃,模腔表面温度 40~45℃,保压压力 90~95 MPa,保压时间 15~20 s,模具内冷却时间 30~40 s,脱模后冷却方式为空气或热水冷却。

参考文献

- [1] 朱利平. 塑料阀门在工业管道中的要求与应用[J]. 化工设备与管道, 2006, 42(2): 57-61.
- [2] 赵永成, 吴亚南, 董淑婧. 注塑成型影响因素的分析[J]. 塑料工业, 2005, 33(12): 29-31.
- [3] 祝铁丽, 王敏杰. 注塑成型制品的收缩规则[J]. 塑料工程学报, 2001, 8(4): 72-76.
- [4] 陈志. HDPE 厚壁注塑制件成型冷却过程的 CAE 分析[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2010.
- [5] Chang R Y, Tsaur B D. Experimental and theoretic studies of shrinkage, warpage, and sink marks of crystalline polymer injection molded parts[J]. Polymer Engineering and Science, 1995, 35(15): 1222-1230.
- [6] Jansen K M B, Van Dijk D J, Husselman M H. Effect of processing conditions on shrinkage in injection-molding[J]. Polymer Engineering and Science, 1998, 38(5): 838-846.
- [7] 黄虹宾, 杨继跃. 一种球阀阀体和球阀密封圈固定座的定位机构: 中国, CN 201568599[P]. 2010-09-01.
- [8] 梁业兴, 余春晖, 柴金龙. 蒸汽直接加热模腔的高光注塑技术研究[J]. 工程塑料应用, 2011, 39(12): 35-38.
- [9] 邱轶兵. 试验设计与数据处理[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008.

塑料型材行业竞争将取决于核心技术

近几年,中国塑料型材行业加快研发和推广应用的步伐,其产销量规模稳居全球首位。其中,塑料管材、塑料板材等产品已进入稳定成熟的增长期。

前瞻产业研究院发布的《中国塑料型材行业产销需求与投资预测分析报告》显示,塑料型材行业的主要产品包括塑料门窗、塑料管材、塑料板材、塑料防水卷材以及塑料异型材等。其中,塑料异型材、塑料管材、塑料板材等产品在中国已形成了一个庞大的化学建材产业链,仅塑料异型材就具有年产 280 万 t 的生产能力。目前,塑料建材等产品已从内装饰件开始向结构件、功能件方向发展。

预计今后 5~15 年,在国家各种建筑节能政策的引导

下,塑料建材市场可望得到更迅猛的发展。到 2015 年,中国各种建筑塑料管和塑料门窗平均市场占有率将分别达到 50% 和 30%。需求方面,各种建筑塑料管和塑料门窗再加上高分子防水材料、装饰装修材料、保温材料及其它建筑用塑料制品,总需求量有望达到 1 000 万 t。

前瞻产业研究院塑料型材行业研究员刘西妹表示,行业发展的迅猛,产能的不断扩大,激化了塑料型材企业间的竞争。此外,国内市场也逐渐趋于饱和,不少型材企业开始寻找国际市场的发展机遇。今后,塑料型材企业间的竞争将更多地取决于企业间核心技术的掌握水平,企业除了需要不断提高产品的综合水平,还要适应不同国家的行业标准、获取相关国际认证或准入许可。(中聚网)