

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.09.013

聚乙烯球阀阀体的结构改进与工艺参数优化

凌中水¹, 梁业兴², 万蕾¹, 李承鹏¹

(1. 安庆职业技术学院, 安徽安庆 246003; 2. 深圳大学, 广东深圳 518060)

摘要: 针对球阀阀体塑件在注塑中容易出现缩孔与翘曲变形的缺陷, 以公称直径为 63 mm 的中密度聚乙烯 (PE-MD) 球阀阀体为研究对象, 对 PE-MD 球阀阀体的注塑缺陷进行了分析, 对球阀阀体结构与浇口位置进行了改进, 利用 Moldflow 分析软件分析了球阀新、旧阀体的体积收缩率、总变形量以及 X、Y、Z 向的变形量, 改进球阀阀体结构与浇口位置后, 球阀新阀体的收缩变形明显降低, 并得到最佳注塑工艺参数组合为: 熔体温度 170~190℃, 注塑压力 110~125 MPa, 注塑时间 30~60 s, 注塑速度 10%~20%, 保压压力 20~135 MPa, 保压时间 100~150 s, 冷却时间 50~100 s, 不通冷却水, 结构改进与工艺参数优化后制备的球阀阀体注塑件无缩孔现象。

关键词: 聚乙烯球阀阀体; 结构改进; 缩孔; 翘曲变形; 工艺参数优化

中图分类号: TQ320.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)09-0075-05

Structure Improvement and Process Parameter Optimization of Polyethylene Ball Valve Body

Ling Zhongshui¹, Liang Yexing², Wan Lei¹, Li Chengpeng¹

(1. Anqing Vocational & Technical College, Anqing 246003, China; 2. Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: Aiming at the defects of shrinkage and warpage deformation of the plastic parts of the ball valve body during injection molding, taking the medium density polyethylene (PE-MD) ball valve body with a nominal diameter of 63 mm as the research object, the injection molding defects of the PE-MD ball valve body were analyzed, and the structure and gate position of the ball valve body were improved. Moldflow analysis software was used to analyze the volume shrinkage rate, total deformation and X, Y and Z direction deformation of the new and old ball valve bodies. After improving the structure and gate position of the ball valve body, the shrinkage deformation of the new ball valve body is significantly reduced, and the optimal injection process parameter combination is obtained as follows: melt temperature 170–190 °C, injection pressure 110–125 MPa, injection molding time 30–60 s, injection speed 10%–20%, holding pressure 20–135 MPa, pressure holding time 100–150 s, cooling time 50–100 s, no cooling water, After structure improvement and process parameter optimization, the injection parts of ball valve body prepared have no shrinkage hole phenomenon.

Keywords: polyethylene ball valve body; structural improvement; shrinkage hole; warpage deformation; process parameter optimization

聚乙烯 (PE) 球阀塑料阀门广泛应用于燃气管道, 因此对其安全性能要求也比较严格, 在生产铸造时其厚度也明显高于其它管材。一般在 12 mm 厚度以上的阀门, 受注塑材料、注塑工艺以及注塑件外形结构设计等的影响, 容易发生注塑件外部收缩变形以及内部形成缩孔等现象, 导致阀门强度降低, 并

影响外观质量及后续加工要求^[1-3], 从而引起重大安全隐患。一般注塑件的质量受冷却、注塑过程、工艺参数、模具结构等影响, 容易出现缩孔、熔接痕、翘曲变形、开裂等现象^[4-6], 而厚壁注塑件更加容易产生收缩现象, 一直是较难解决的问题, 国内学者从不同的角度对注塑件的成型收缩现象进行了广泛深入的

基金项目: 中国高校产学研创新基金项目 (2019ITA01028), 安徽省高校优秀青年人才支持项目 (gxyq20192229), 安徽省高校自然科学基金重大项目 (KJ2019ZD77)

通信作者: 凌中水, 讲师, 工学硕士, 主要研究方向为高光注塑模具及设备研究

收稿日期: 2022-07-21

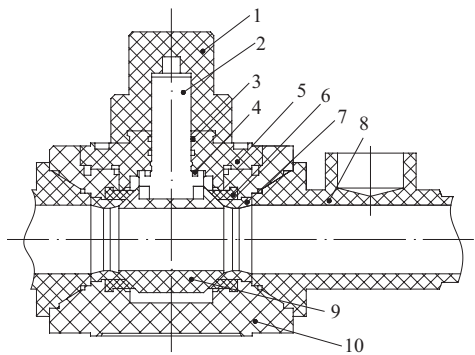
引用格式: 凌中水, 梁业兴, 万蕾, 等. 聚乙烯球阀阀体的结构改进与工艺参数优化 [J]. 工程塑料应用, 2022, 50(9):75–79.

Ling Zhongshui, Liang Yexing, Wan Lei, et al. Structure improvement and process parameter optimization of polyethylene ball valve body[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(9):75–79.

研究,傅微波^[7]利用软件分析并通过改变模具设计,解决了聚醚醚酮厚壁管的注射成型缺陷,朱斌海^[8]通过软件仿真、优化模具设计并结合正交试验得出了最佳注塑工艺参数,解决了大弯径比塑料管接头的注塑缺陷,梁业兴等^[9]通过优化模具结构与注塑工艺参数,并结合注塑件脱模后热处理等措施,解决了厚壁燃气管道阀门缩孔问题,成升文等^[10]采用挤出压缩工艺,使PE弯头管件的收缩率明显优于普通注塑工艺成型的PE弯头管件。笔者基于PE球阀阀体的注塑缺陷,对阀体结构进行了改进并优化了工艺参数。

1 PE 燃气球阀阀体

为了进一步研究厚壁注塑球阀阀体的各种性能,笔者研究的中密度PE (PE-MD) 球阀阀体公称直径为63 mm,装配图如图1所示,从图1可知,该类型PE球阀阀体最大的特点在于阀端管与球体、阀上座与球体之间的连接采用的是锥面焊接,此焊接方式的焊接面面积相对端面焊接面面积大,横向和纵向承受压力大,焊接牢固、可靠,能够更好地满足后续相关的压力性能测试。该产品结构相对复杂,对球阀阀体、阀端管和阀上座的壁厚提出了较高的要求,增加了注塑工艺难度,尤其是针对公称直径为110 mm以上的PE球阀阀体,厚度超过50 mm,在球阀阀体自重超过10 kg的情况下,局部注塑收缩率达到5%以上,解决相关的缺陷如翘曲变形、内部缩孔、填充不满等,难度非常大。



1—旋接座;2—阀杆;3,4—阀杆密封圈;5—阀上座;6—密封圈;
7—密封圈护套;8—阀端管;9—球体;10—球阀阀体

图1 PE-MD 球阀阀体结构

2 实验材料与仪器设备

2.1 主要原材料

PE-MD: ME3440, 密度为940 kg/m³, 拉伸屈服应力为19 MPa, 奥地利北欧化工公司。

2.2 主要仪器与设备

注塑机: MA7000/10500u 型, 宁波海天集团股

份有限公司;

注塑模具: 模腔尺寸为186 mm×135 mm×136 mm, 自制;

普通车床: CA6140 型, 沈阳集团沈一车床厂。

3 PE-MD 球阀旧阀体

3.1 球阀旧阀体结构

由于PE-MD球阀旧阀体模具已经制造完毕, 并进行了前期试验, 笔者主要从现有产品结构、模具结构、注塑工艺、后期处理等方面提出改进方案。PE-MD球阀旧阀体现有样品结构如图2所示, 长×宽×高为186 mm×135 mm×136 mm。质量约2.15 kg, 浇口位于顶部, 通过Moldflow^[11-14]网格厚度诊断, 最厚处为54.34 mm, 厚壁部分主要集中在浇口部分和底部安装阀座部分, 中间圆柱部分壁厚超过40 mm。

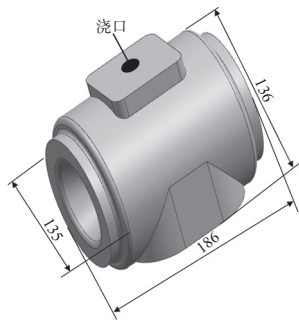
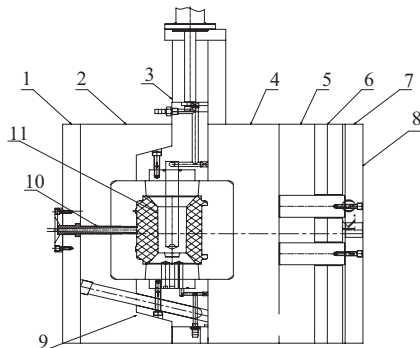


图2 PE-MD 球阀旧阀体结构

3.2 PE-MD 球阀旧阀体模具结构

PE-MD球阀旧阀体结构图3所示, 模具采用大水口, 单点进胶, 浇口开设于顶部, 浇口直径14 mm, 主流道相对较长, 芯部和外围均有冷却流道。



1—顶夹板;2—A板;3—油缸抽芯机构;4—B板;5—托铁;6—上顶板;
7—下顶板;9—侧抽芯机构;10—浇口;11—球阀阀体

图3 PE-MD 球阀旧阀体模具结构

3.3 球阀旧阀体样品制备

取出一定量的中密度PE加入注塑机料斗中, 制备PE-MD球阀旧阀体样品, 其主要工艺参数见

表 1,注塑样品如图 4 所示,经过切削设备切片,在产品内部不同部位存在大小不一的缩孔,如图 5 所示。

表 1 PE-MD 球阀旧阀体样品注塑工艺参数

注塑工艺条件	参数
熔体温度 /℃	200 ~ 230
注塑压力 /MPa	70 ~ 80
注塑时间 /s	30 ~ 60
注塑速度 /%	20 ~ 30
保压压力 /MPa	70 ~ 80
保压时间 /s	50 ~ 100
冷却时间 /s	200 ~ 300
是否通冷却水	是

注:注塑速度为注塑机最大注塑速度的百分比。

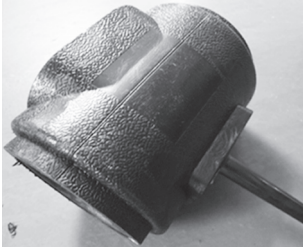


图 4 PE-MD 球阀旧阀体

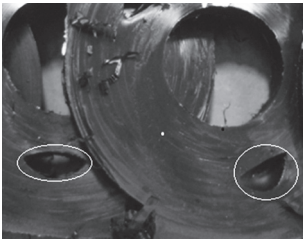


图 5 PE-MD 球阀旧阀体切片图

3.4 旧阀体工艺参数优化

由于 PE-MD 球阀旧阀体样品主要按照一般的常规工艺参数制备,产品平均壁厚超过 40 mm,熔胶量较大,按照一般注塑工艺很难解决。经大量切片发现,缩孔一般集中在厚壁部分,靠近浇口位置。注塑件在保压流动和冷却定型阶段的收缩都随着熔体温度的提高而增大,在保证熔体能够正常流动情况下,将熔体温度适当降低;注塑时,熔体在一定条件下充进模腔并直到浇口封闭为止,该段压力为封口压力,注塑件的密实程度随着封口压力的升高而升高,且收缩减小,将注塑压力和保压压力提高至 110 ~ 135 MPa 的较高压力值,保证充分的补缩;在浇口封闭前,注入的熔体随着注塑时间增加而增多,同时在浇口凝固前,保压时间越长,越有利于熔体的补缩压实,故注塑和保压总时间控制在 200 s 内;冷却时间对注塑件内部缩孔影响比较显著,对于厚壁塑件,随着冷却时间的延长,在外部已经冷却定型的情况下,内部尚未冷却,在内部熔体冷却收缩时得不

到外部补缩,内部必然形成缩孔,故冷却时间应控制在一个合理的时间段;同时在能够定型的情况下,尽量不通冷却水。依据正交试验^[15]和切片试验,得到该模具结构下优化的工艺参数,结果见表 2。按照优化后的工艺参数注塑样品,结果如图 6 所示。

表 2 PE-MD 球阀旧阀体优化工艺参数

注塑工艺条件	参数
熔体温度 /℃	180 ~ 200
注塑压力 /MPa	110 ~ 120
注塑时间 /s	30 ~ 60
注塑速度 /%	10 ~ 20
保压压力 /MPa	120 ~ 135
保压时间 /s	100 ~ 150
冷却时间 /s	50 ~ 100
是否通冷却水	否

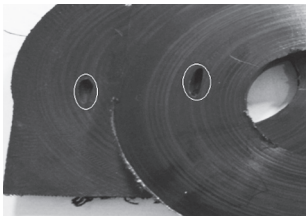


图 6 优化工艺参数后 PE-MD 球阀旧阀体切片图

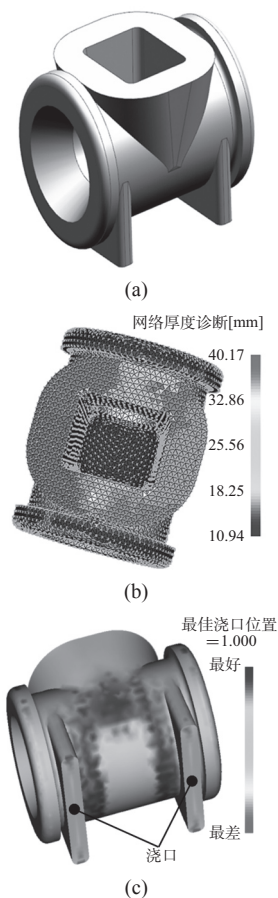
由图 6 可以看出,优化工艺参数后,旧阀体的缩孔得到明显改善,但是内部仍有随机分布的小缩孔。针对上述情况,从注塑工艺的角度很难得到解决,并且对注塑机提出了更高的要求。考虑到产品的用途和高厚度的结构特点,笔者从产品结构出发,利用 CAE 分析和注塑试验优化产品结构,彻底解决内部缩孔问题。

4 PE-MD 球阀新阀体

4.1 新阀体分析及建模

对 PE-MD 球阀阀体进行 Moldflow 厚度诊断可知,球阀阀体壁厚最大值达 54.34 mm,平均厚度也到达 40 mm 以上,而 PE-MD 的收缩率达到 1.5%~3.6%,计算可知,阀体最厚处的最大线性收缩尺寸可达到 1.96 mm,平均壁厚的最大收缩尺寸也可达 1.44 mm,如此高的壁厚,在外部冷却后,塑件内部的收缩很难从外部得到补缩,故在保证产品基本结构性能前提下,主要从减少产品壁厚着手。优化的产品结构如图 7a 所示,可以看出,球阀旧阀体浇口位置的凸台部分去除,改为了两个单独的支撑座,球阀旧阀体浇口凸台的背面凸起的中心已掏空。如图 7b 所示,利用 Moldflow 分析诊断厚度可知,产品最厚部分已经减至 40.17 mm,平均壁厚降至 30 mm 左右。如图 7c 所示,对球阀新阀体进行最佳浇口分析可知,最佳浇口位置位于两支撑座内侧,从产品的

外观和模具结构出发,选择从两支撑座底部中间进胶。为避开相关的冷却水路,主流道有一定的偏移。燃气管道球阀阀体属于承压管件,两点进胶将会产生熔接痕,这将导致熔接痕附近塑件的强度会极大降低,考虑到这层因素,将主流道向一侧偏移一定距离,同时避开相应的冷却水路。熔接线向一侧偏移,可使熔接痕集中在一侧壁厚较厚的位置,减少熔接痕对产品强度的影响。



a—球阀新阀体; b—球阀新阀体厚度诊断图;
c—球阀新阀体最佳浇口位置

图7 PE-MD球阀新阀体软件分析图

4.2 新阀体试验

试验选取Moldflow软件推荐的工艺参数如下:熔体温度210℃,模具表面温度40℃,填充控制以及速度压力切换均选取自动,保压控制中保压时间10 s,填充压力80 MPa,冷却时间制定20 s,在翘曲设置中,分析翘曲原因,考虑角效应。通过Moldflow软件分析,球阀新、旧阀体体积收缩率均值、总变形量均值,以及X、Y、Z向的变形量均值见表3。

由表3可知,相比球阀旧阀体,球阀新阀体的体积收缩率均值、总变形量均值、X向变形量均值

表3 球阀新、旧阀体的体积收缩率均值、总变形量均值及X、Y、Z向变形量均值

项目	旧阀体	新阀体
体积收缩率均值/%	5.130	4.631
总变形量均值/mm	1.569	1.510
X向变形量均值/mm	2.132	1.517
Y向变形量均值/mm	1.592	1.511
Z向变形量均值/mm	1.679	1.872

和Y向变形量均值分别降低0.499%,0.059 mm,0.615 mm和0.081 mm,但是球阀新阀体的Z变形量均值相比球阀旧阀体却提高0.193 mm。这是由于球阀新、旧阀体结构的不同所致,相比球阀旧阀体,球阀新阀体在Z方向有较大部分已掏空,并且进胶口凸台部分去除,再加上注塑过程中分子取向等因素影响,使Z向变形量均值反而升高。总体来看,改进球阀阀体结构以及浇口位置后,塑件的收缩变形得到明显降低。根据以上分析结果,对球阀新阀体进行注塑试验,结合实际生产条件,按照球阀旧阀体的工艺参数优化试验方法,对球阀新阀体的注塑工艺参数进行优化,得出其最佳注塑工艺参数为:熔体温度170~190℃,注塑压力110~125 MPa,注塑时间30~60 s,注塑速度10%~20%,保压压力20~135 MPa,保压时间100~150 s,冷却时间50~100 s,不通冷却水。图8为采用最佳注塑工艺参数生产的球阀新阀体的切片图,可以看出,球阀新阀体内部看不到缩孔。



图8 PE-MD球阀新阀体切片图

5 结论

在保证产品基本结构性能的前提下,主要从减少产品壁厚着手,改进PE-MD球阀阀体的结构,将球阀旧阀体浇口位置的凸台部分去除,改为两个单独的支撑座,将球阀旧阀体浇口凸台背面凸起的中心掏空,最佳浇口位置位于两支撑座底部的中间,改进球阀阀体结构及浇口位置后,塑件的收缩变形得到明显降低。利用Moldflow分析软件分析PE-MD球阀新、旧阀体的收缩变形情况,经过优化试验,得出PE-MD球阀新阀体的最佳注塑工艺参数为:熔体温度170~190℃,注塑压力110~125 MPa,注塑时间30~60 s,注塑速度10%~20%,保压压力20~135 MPa,保压时间100~150 s,冷却时间50~

100 s,不通冷却水。利用最佳注塑工艺参数注塑的球阀新阀体内部无缩孔现象。

参考文献

- [1] 温开财. 厚壁注塑制件成型工艺研究[D]. 南昌:南昌大学,2012.
Wen Kaicai. Research on process of the thick-walled parts by injection molding[D]. Nanchang:Nanchang University,2012.
- [2] 杨建强,刘岱. 基于 CAE 的厚壁零件注塑成型工艺优化设计及仿真分析[J]. 机械设计与制造工程,2021,50(9):34-38.
Yang Jianqiang, Liu Dai. Thick plastics computer aided engineering injection process optimization design and simulation analysis[J]. Machine Design and Manufacturing Engineering,2021,50(9):34-38.
- [3] Gibson B T, Lammlein D H, Prater T J, et al. Friction stir welding:Process, automation, and control[J]. Journal of Manufacturing Processes,2014,16(1):56-73.
- [4] 张新聚,李亚男,刘雷. 影响注塑模具成型质量的关键因素分析[J]. 塑料工业,2018,46(5):71-75.
Zhang Xinju, Li Yanan, Liu Lei. Analysis of key factors influencing molding quality of injection mold[J]. China Plastics Industry,2018,46(5):71-75.
- [5] 陈志,钱欣,金杨福,等. HDPE 厚壁制品收缩及缺陷形成分析[J]. 工程塑料应用,2010,38(4):33-35.
Chen Zhi, Qian Xin, Jin Yangfu, et al. Shrink and defect analysis of HDPE thick part[J]. Engineering Plastics Application,2010,38(4):33-35.
- [6] 张建. 注射制品熔接痕解决方法[J]. 模具工业,2017(6):49-52.
Zhang Jian. Solution on fusion seam of injection products[J]. Die & Mould Industry,2017(6):49-52.
- [7] 傅微波. PEEK 厚壁管注塑成型缺陷分析及解决对策[D]. 大连:大连理工大学,2016.
Fu Weibo. Analysis and solutions on injection molding defect of PEEK thick-walled tube[D]. Dalian:Dalian University of Technology,2016.
- [8] 朱斌海. 大弯径比塑料管接头注塑成型工艺分析与缺陷控制[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.
Zhu Binhai. Process analysis and defect control on plastic pipe joint with large bending ratio[D]. Haerbin:Harbin Institute of Technology,2020.
- [9] 梁业兴,凌中水,潘莹,等. PE-MD 厚壁燃气管道阀门缩孔研究[J]. 工程塑料应用,2012,39(12):35-38.
Liang Yexing, Ling Zhongshui, Pan Ying, et al. Research of shrinkage cavity of PE-MD thick gas pipe valves[J]. Engineering Plastics Application,2012,39(12):35-38.
- [10] 成升文,梁业兴,贺建平,等. PE 弯头管件的挤出压缩工艺研究[J]. 工程塑料应用,2012,40(9):36-39.
Cheng Shengwen, Liang Yexing, He Jianping, et al. Extrusion compression technology of PE elbow pipe[J]. Engineering Plastics Application,2012,40(9):36-39.
- [11] 王卫兵. Moldflow 中文版注塑流动分析案例导航视频教程[M]. 北京:清华大学出版社,2014:10-13.
Wang Weibing. Moldflow Chinese version of injection molding flow analysis case navigation video tutorial[M]. Beijing:Tsinghua University,2014:10-13.
- [12] 徐永乾,刘泓滨. 基于 Moldflow 的智能行车记录仪壳体注塑参数优化[J]. 农业装备与车辆工程,2021,59(8):112-114.
Xu Yongqian, Liu Hongbin. Optimization of injection parameters of intelligent carlog shell based on Moldflow[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering,2021,59(8):112-114.
- [13] 余玲,彭必友,魏刚. MoldFlow 软件在注射模设计教学中的应用[J]. 模具制造,2017,17(6):83-86.
Yu Lin, Peng Biyou, Wei Gang. Application of the MoldFlow software in the course teaching of injection mold design[J]. Die & Mould Manufacture,2017,17(6):83-86.
- [14] 蔡厚道,王训杰,黄雪梅. 基于 Moldflow 的车载导航面板注塑模具设计[J]. 塑料工业,2020,48(1):60-64.
Cai Houdao, Wang Xunjie, Huang Xuemei. Design of injection mold for automobile navigation panel based on Moldflow[J]. China Plastics Industry,2020,48(1):60-64.
- [15] 罗龚,李书弘,袁原,等. 基于 MOLDFLOW 的薄壁塑件注塑收缩正交试验研究[J]. 广东石油化工学院学报,2022,32(3):73-77.
Luo Gong, Li Shuhong, Yuan Yuan, et al. Orthogonal experimental study on injection shrinkage of thin-wall plastic parts based on Moldflow[J]. Journal of Guangdong University of Petrochemical Technology,2022,32(3):73-77.