

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.11.014

基于Moldex3D的电缆接头外套注塑仿真模拟

毛世明¹, 修雪颖², 黄兆阁²

(1. 山东外贸职业学院, 山东青岛 266000; 2. 青岛科技大学高分子科学与工程学院, 山东青岛 266042)

摘要: 运用Moldex3D软件, 针对电缆接头外套的外观特点建立了三维模型, 对模型进行了网格的建立和修复, 并设计了流道和冷却水路; 在此基础上设置了电缆接头外套的注塑工艺参数, 并对其充填过程、凹痕位移、平坦度、体积收缩率和翘曲变形进行了模流分析。根据分析结果得到的相关数据, 以熔体温度、模具温度和充填时间作为三个因素, 每个因素各取三个水平, 设计了三因素三水平的正交试验, 并以体积收缩率和翘曲总位移作为正交试验的判断标准, 对两者进行极差分析, 得出最优注塑工艺参数。结果表明, 当熔体温度为190℃、模具温度为60℃、充填时间为1.2 s时, 电缆接头外套的外观质量最好, 与正交试验前的初始结果相比, 体积收缩率降低了12.9%, 翘曲总位移降低了13.8%。

关键词: 电缆接头外套; Moldex3D; 仿真模拟; 注塑; 正交试验; 模流分析

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)11-0084-06

Injection Molding Simulation of Cable Joint Coat based on Moldex3D

Mao Shiming¹, Xiu Xueying², Huang Zhaoge²

(1. Shandong Foreign Trade Vocational College, Qingdao 266000, China; 2. School of Polymer Science and Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract : Moldex3D software was used to establish 3D model according to the appearance characteristics of the cable joint coat, and the mesh of the model was established and repaired, then the flow channel and cooling water way were designed. On this basis, the injection molding process parameters of the cable joint coat were set, and the filling process, dent displacement, flatness, volume shrinkage and warping deformation of the cable joint coat were analyzed by mode flow analysis. According to the data analysis results, the melt temperature, mould temperature and filling time were took as three factors (each factor in three levels), and the orthogonal test with three factors and three levels was designed. Taking the volume shrinkage ratio and warpage total displacement as criterion of the orthogonal test, range analysis was carried out for the two criteria, then the optimal injection molding process parameters were got. The results indicate that the appearance quality of the cable joint coat is the best when the melt temperature is 190℃, the mould temperature is 60℃ and the filling time is 1.2 s. Compared with the initial results before the orthogonal test, the volume shrinkage decreases by 12.9%, and the warpage total displacement decreases by 13.8%.

Keywords : cable joint coat ; Moldex3D ; simulation ; injection molding ; orthogonal test ; mold flow analysis

随着现代工业的快速健康发展, 塑料的使用范围越来越广泛, 注塑模具技术也得到了前所未有的发展。传统的依靠经验制作模具的方法已经不能适应当前市场的需求, 越来越多的企业开始使用注射模流分析技术来对塑料模具进行辅助设计^[1-2]。Moldex3D在原有传统模流分析软件的基础上拓展了真实的三维模流分析技术, 可以准确反映生产过程中的各种现象, 同时, 其也具有快速分析、运用简

单等特点, 是一款优秀的模流分析CAE软件^[3]。在Moldex3D这类CAE软件的帮助下, 设计者可以通过模拟塑料注塑过程, 来准确预测塑料熔体在模具型腔内部的流动状态, 了解制品在充模过程中的各项参数的分布情况, 如温度、压力、剪切应力、体积收缩率等, 对于模具的设计、试模工艺参数的选定提供了极大的参考价值, 可以显著地缩短模具设计周期, 是今后塑料模具相关企业规模化设计和生产

通信作者: 黄兆阁, 副教授, 主要从事高分子材料高性能化研究

收稿日期: 2022-08-22

引用格式: 毛世明, 修雪颖, 黄兆阁. 基于Moldex3D的电缆接头外套注塑仿真模拟[J]. 工程塑料应用, 2022, 50(11): 84-89.

Mao Shiming, Xiu Xueying, Huang Zhaoge. Injection molding simulation of cable joint coat based on Moldex3D[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(11): 84-89.

模具的一个重点发展方向^[4-6]。Moldex3D内具有庞大的材料数据信息库,对市场上常用的材料信息均有所储存,可以从库中寻找合适的材料进行模流分析。同时Moldex3D也支持材料信息的输入,可以建立使用者自己的材料库^[7]。

对于电缆接头外套来说,在保证材料强度的同时,良好的绝缘性和阻燃性是至关重要的^[8]。为此,笔者根据电缆接头外套的要求,制备了一种聚丙烯(PP)/充油氢化苯乙烯-丁二烯嵌段共聚物(O-SEBS)/阻燃剂(FR)阻燃复合材料,其拉伸强度达到7.73 MPa,拉断伸长率为606%,极限氧指数为34%,UL 94阻燃等级达到V-0级别,兼具优异的力学性能和阻燃性能,是制作电缆接头外套的优良材料。在上述基础上,以电缆接头外套为研究对象,利用Moldex3D的信息输入功能,将自制的PP/O-SEBS/FR阻燃复合材料的信息导入软件,并以此材料作为原料,对电缆接头外套的注塑过程进行仿真模拟,然后对其成型工艺条件进行优化改善,以保证外套成品的外观质量。

1 Moldex3D 软件模拟前处理

1.1 产品参数及造型

电缆接头外套塑件共有两件,分别标记为A件和B件,其结构如图1所示。根据图1的设计图纸,使用CATIA作图软件画出两个电缆接头外套的三

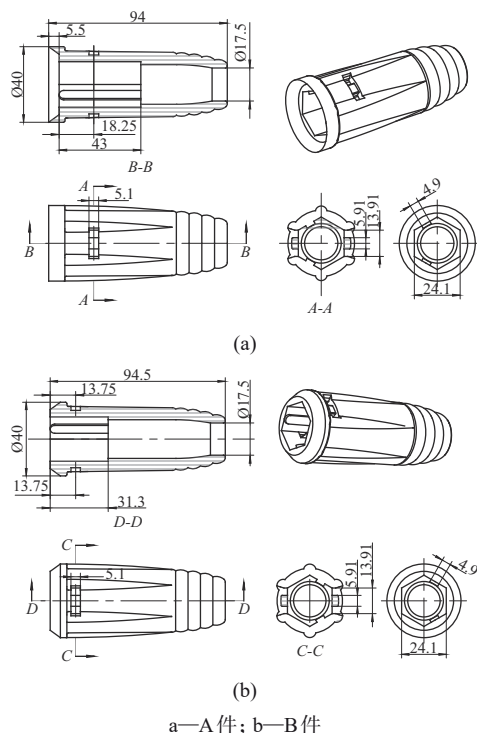


图1 电缆接头外套设计图纸

维模型并导入Moldex3D中,如图2所示。经Moldex3D Studio分析得到模型尺寸,两个电缆接头外套塑件的顶部直径均为17.5 mm,高度均为94.5 mm,底部最大直径均为40 mm,厚度分布为0.193~12.086 mm,平均厚度为6.140 mm,整体厚度比较均匀。这两个塑件区别在于底部的装配部位,样式略有不同(详见图1),对电缆接头起保护作用。塑件总体积约为95.33 cm³,其细小部位和壁厚突变部位少,充模容易,不易发生迟滞现象。模拟所用的材料为自制的PP/O-SEBS/FR阻燃复合材料,将材料参数导入到软件中进行模拟。该材料属于剪切变稀聚合物,注塑时,推荐的模具温度为50℃,熔体温度为200℃,熔体温度变化范围为180~220℃,最大熔体温度为230℃,最大剪切速率为100 000 s⁻¹。

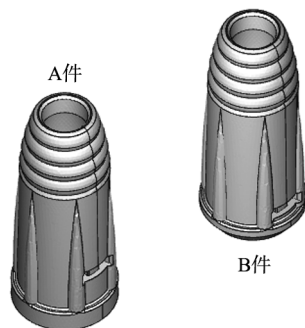


图2 电缆接头外套模型

1.2 网格的修复与建立

将画好的模型导入CAE doctor之中进行处理来优化网格质量,对模型的缺陷之处进行修复。导出模型返回Moldex3D Studio程序中撒点建立Solid表面网格并进行手动修复。在修复表面网格缺陷之后最终对流动和塑件建立实体网格。图3是接头外套模型网格的建立及修复情况,针对塑件的精细部位进行了单独加密撒点。

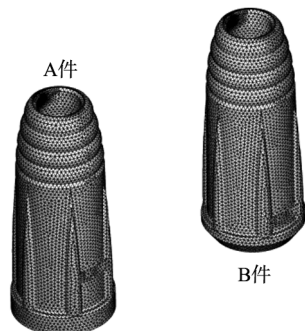


图3 Solid网格模型和修复情况

1.3 浇注系统及冷却水路的建立

流道应设计成自然平衡式布置,以减少熔体的

流动不平衡现象,减少热损失和翘曲变形^[9]。由于两个接头外套为装配件,采用一模两腔进行生产,流道分布和浇口形状如图4所示。依据设计规则,该塑件主流道位于模具中央,主流道尺寸 $\varnothing 3 \sim \varnothing 5$ mm,其余的横向和竖向流道尺寸均为 $\varnothing 5$ mm,流道均采用冷流道。此外,采用潜式浇口浇注,浇口尺寸为 $\varnothing 2 \sim \varnothing 4.5$ mm。选用潜式浇口的优点为其进料位置灵活,在塑件的分型面处不会有进料口的痕迹,且塑件从模具中被顶出时,浇口能被自动切断无须进行后处理;其次,潜式浇口可以设置在塑件表面的隐蔽部位和筋位上,因此在成型时不会在塑件表面留下因喷射带来的气纹和喷痕等问题。建立起浇注系统之后,根据接头外套的特点建立冷却系统,如图5所示。在接头外套的外表面采用环形水路,在Moldex3D中设置属性为冷却水路,直径为8 mm,在底部设置属性为隔水板,直径为10 mm,深入到模具内部,能更好地提高冷却效率,减少因冷却不均匀造成的变形问题。

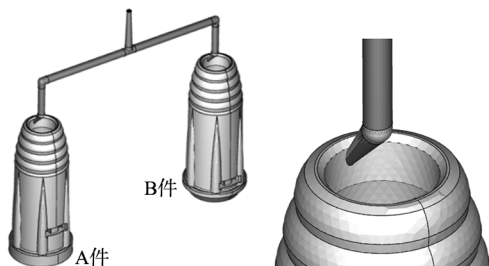


图4 流道分布和浇口形状

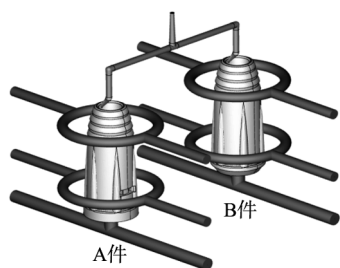


图5 冷却水路分布情况

1.4 成型工艺条件设置

本塑件的总体积约为 95.33 cm^3 ,冷流道体积约为 13.88 cm^3 ,一次射出成型过程中总注射量为 109.21 cm^3 ,采用2个潜式浇口浇注,单个浇口的注射量为 54.61 cm^3 ,注塑填充时间为 $0.8 \sim 1.5 \text{ s}$ 。结合工艺经验确定试模工艺参数如下:充填时间1 s、保压时间3 s、冷却时间12 s、熔体温度 210°C 、模具温度 50°C 、顶出温度 50°C 、开模时间5 s。

2 基于Moldex3D软件的模式分析结果

2.1 流动波前温度分析

流动波前温度显示的是塑料熔体充填到产品某一位置时厚度方向上中间层的温度。一般来说,厚度方向上中间层的温度最高,因此中间层的温度能够直接反应塑料熔体充填时的状态,此值可以显示热量是如何在成型过程中被熔体所传递以及散逸的。塑件材料熔体流动波前温度分析如图6所示。由图6可以发现,流动波前温度的范围为 $209.9 \sim 212.4^\circ\text{C}$,温度的变化很小,说明塑件材料熔体具有良好的充填效果,没有出现较大的温度差异。



图6 塑件材料流动波前温度分析

2.2 凹痕位移分析

凹痕是注塑件常见的表面缺陷,一般是因为塑件的壁厚增加导致其收缩率局部增大而引起的,经常出现在壁厚突变或者尖角附近,比如加强筋、凸起等位置^[10-11]。凹痕产生的根本原因是热胀冷缩,与塑件外观和保压条件有密切的关系。塑件凹痕位移分析如图7所示。从图7可以发现,在接头外套表面的凸起部位,相较于其它部分凹痕略大,但90%左右的凹痕位移在 0.024 mm 以下,对表面质量的影响微乎其微。

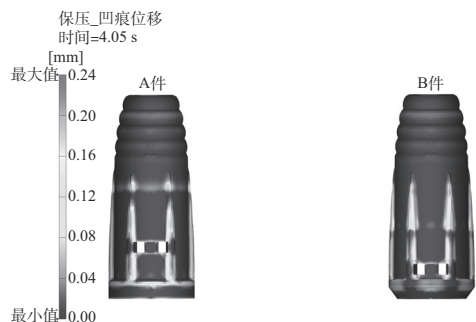


图7 塑件凹痕位移分析

2.3 平坦度分析

在生产或者加工一些塑件时,其表面并不会绝

对平坦,两个平行平面之间的最短距离就是平坦度,也叫作平整度,其数值越小代表表面越平坦。图8显示了接头外套须进行装配的两个底面的平坦度,其值分别为0.118 mm和0.107 mm,两者差值为0.011 mm,两个底面的平坦度相差不大,满足装配要求。

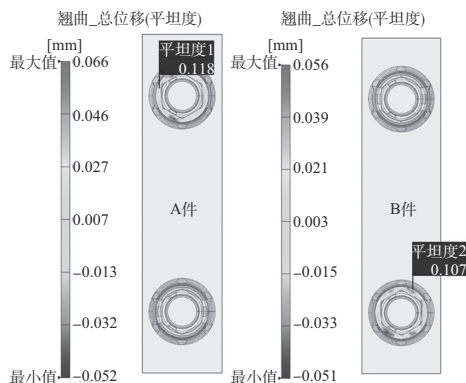


图8 塑件接触面平坦度分析

2.4 体积收缩率分析

体积收缩率是评价塑件尺寸稳定性的一个重要指标,通过塑件体积收缩率的大小及分布情况可以看出塑件尺寸稳定性的优劣。塑件体积收缩率分析如图9所示。由图9可以看出,接头外套侧壁厚度较大,容易累积热量,是导致此处位置体积收缩率比较大的重要原因,最大体积收缩率为8.490%。

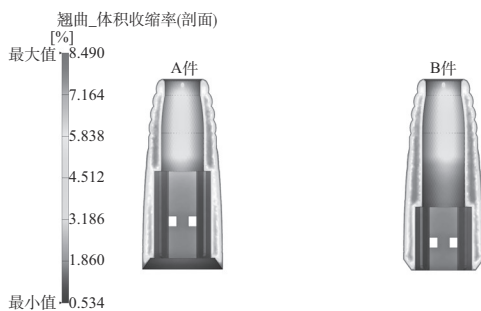


图9 塑件体积收缩率分析

2.5 翘曲结果分析

翘曲变形也是注塑件成型过程中比较常见的一种缺陷,图10显示了接头外套的翘曲总位移。由图10可以发现,最大位移为0.943 mm,在接头外套的两端翘曲变形相对较大,中间部分相对较小。由于所用材料没加入玻璃纤维,因此,取向效应带来的翘曲变形忽略不计,温度差异效应和区域收缩差异效应带来的位移如图11和图12所示。从图11和图12的结果可以发现,由温度差异效应产生的总位



图10 塑件翘曲总位移分析



图11 总温度差异效应位移



图12 总区域收缩差异效应位移

移为0.297 mm,由区域收缩差异效应产生的总位移为0.715 mm,这说明接头外套的翘曲变形主要是由于收缩不均匀造成的。

3 基于Moldex3D的正交试验

3.1 正交试验设计

采用正交试验法,可从全面试验中挑选出具有代表性的点进行较少的试验分析,进而快速得到比较合理的数据和结论。运用这种方法,能分析出塑件在生产过程中最优的成型参数组合,在提高生产效率的同时,还能保证产品具有较高的品质^[12-13]。在塑料注塑所有工艺参数中影响产品质量的主要因素有熔体温度、模具温度、注塑压力、充填时间和保压压力等,因此,为了得到尺寸稳定性最好的接头外套产品,在初步分析结果得到的相关规律基础上,以熔体温度、模具温度和充填时间作为三个因素,每个因素各取三个水平,设计了三因素三水平的正交试验,并对其翘曲总位移和体积收缩率进行

分析。Moldex3D软件的材料加工精灵会根据材料特性推荐一个最佳参数,根据笔者制备的PP/O-SEBS/FR阻燃复合材料,软件推荐的熔体温度为200℃、模具温度50℃、充填时间1.0 s。根据材料精灵的推荐选择和材料适合的加工温度范围设置三个因素的水平:熔体温度(A)分别为190, 200℃和210℃;模具温度(B)分别为40, 50℃和60℃;充填时间(C)分别为0.8, 1.0 s和1.2 s。表1为设计的正交试验的因素水平表。

表1 正交试验因素与水平

水 平	因 素		
	$A/^\circ\text{C}$	$B/^\circ\text{C}$	C/s
1	190	40	0.8
2	200	50	1.0
3	210	60	1.2

3.2 体积收缩率和翘曲总位移极差分析

表2为电缆接头外套的体积收缩率和翘曲总位移的正交试验结果。

表2 体积收缩率和翘曲总位移正交试验结果

试验号	$A/^\circ\text{C}$	$B/^\circ\text{C}$	C/s	体积收缩率/%	翘曲总位移/mm
1 [#]	1	1	1	7.455	0.819
2 [#]	1	2	2	7.426	0.814
3 [#]	1	3	3	7.395	0.813
4 [#]	2	1	2	7.961	0.880
5 [#]	2	2	3	7.930	0.877
6 [#]	2	3	1	7.992	0.883
7 [#]	3	1	3	8.462	0.940
8 [#]	3	2	1	8.523	0.947
9 [#]	3	3	2	8.490	0.943

表3为体积收缩率极差分析结果。从表3可知,因素 A, B, C 的最大体积收缩率的极差由大到小的顺序为 $A > C > B$ 。说明因素 A (熔体温度)对体积收缩率影响最显著,因素 C (充填时间)次之,而因素 B (模具温度)的极差为0.001,说明因素 B 对体积收缩率的影响微乎其微。从表3可以看出,各因素水平的变化对接头外套的体积收缩率的影响趋势,在选择水平范围内,熔体温度越低,充填时间越长,接头外套的体积收缩率越小,而模具温度的变化对体

表3 体积收缩率极差分析

项 目	A	B	C
k_1	7.425	7.959	7.990
k_2	7.961	7.960	7.959
k_3	8.492	7.959	7.929
R	1.067	0.001	0.061

注: k_1, k_2, k_3 分别表示水平1, 2, 3所对应的试验指标数值之和的平均值, R 表示极差,下表同。

积收缩率几乎没有影响。

塑件的最大体积收缩率越小,其尺寸稳定性就越佳,品质也相对较好,从而降低塑件产生质量缺陷的概率。可以分析出当熔体温度为190℃、模具温度为60℃、充填时间为1.2 s时,接头外套的最大体积收缩率最小,所以综合可知,相对于接头外套的最大体积收缩率来说,最优工艺参数组合为 $A_1B_3C_3$ 。

表4为翘曲总位移极差分析结果。从表4可知,因素 A, B, C 的最大翘曲总位移的极差由大到小的顺序为 $A > C > B$ 。说明因素 A (熔体温度)对翘曲总位移影响最显著,因素 C (充填时间)次之,而因素 B (模具温度)的极差为0.001,说明因素 B 对翘曲总位移几乎无影响。从表4可以看出,各因素水平的变化对接头外套的翘曲总位移的影响趋势,在选择水平范围内,熔体温度越低,充填时间越长,接头外套的翘曲总位移越小,熔体温度变化引起的翘曲总位移变化最大,充填时间较小,而模具温度的变化对翘曲总位移几乎没有影响。

表4 翘曲总位移极差分析

项 目	A	B	C
k_1	0.815	0.880	0.883
k_2	0.880	0.879	0.879
k_3	0.943	0.879	0.877
R	0.128	0.001	0.006

塑件的翘曲变形量越小,其尺寸稳定性就越好。从表4还可以分析出当熔体温度为190℃、模具温度为60℃、充填时间为1.2 s时,接头外套的翘曲变形总量最小,所以综合可知,相对于接头外套的最大翘曲变形来说,最优工艺参数组合为 $A_1B_3C_3$ 。

3.3 翘曲总变形与体积收缩率优化后结果

以接头外套的体积收缩率以及翘曲总位移这两个判断标准进行正交试验,进行极差分析得出最优工艺参数组合为熔体温度190℃、模具温度60℃、充填时间1.2 s时,在此工艺参数组合下的综合结果最好。图13和图14是在最优工艺参数组合下得到的体积收缩率以及翘曲总位移。结合图9、图10和图13、图14发现,与正交试验前的初始结果进行对比,最优工艺参数组合下的体积收缩率由8.490%降低为7.395%,翘曲总位移由0.943 mm降为0.813 mm,体积收缩率降低了12.9%,翘曲总位移降低了13.8%,说明用极差方法分析得到的接头外套的最优工艺参数组合基本可行。

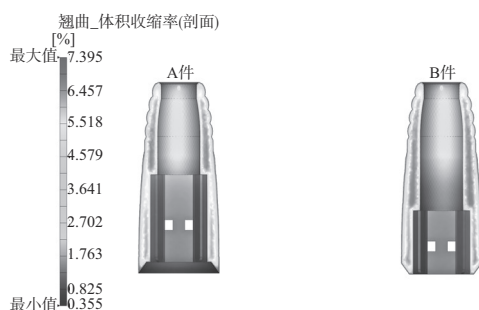


图13 最优工艺参数组合下的体积收缩率分析

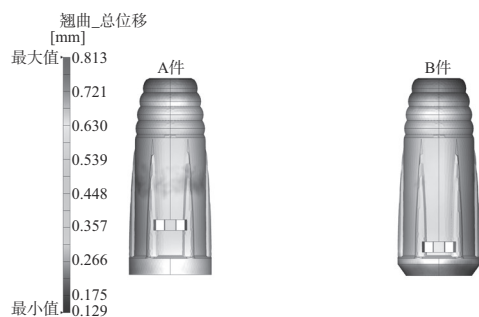


图14 最优工艺参数组合下的翘曲总位移分析

4 结论

(1)通过对接头外套的体积收缩率以及翘曲总位移的极差分析发现,熔体温度对体积收缩率和翘曲变形的影响最大,充填时间次之,模具温度的影响最小。

(2)基于Moldex3D软件对电缆接头外套进行正交试验,以体积收缩率和翘曲总位移作为判断的标准,进行极差分析综合得出的最优工艺参数为 $A_1B_3C_3$,与正交试验前的初始结果进行对比,体积收缩率由8.490%降低为7.395%,翘曲总位移由0.943 mm降为0.813 mm,体积收缩率降低了12.9%,翘曲总位移降低了13.8%。

参考文献

- [1] 张世阳,陈荣创,高广宇,等.商用车外视镜镜框注塑模具设计[J].工程塑料应用,2021,49(10):93-97.
Zhang Shiyang, Chen Rongchuan, Gao Guangyu, et al. Injection mould design of rear view mirror frame for commercial vehicle[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(10):93-97.
- [2] 李伟,张晓黎.基于UG和Moldflow的过桥弯管圆弧抽芯注塑模具设计[J].工程塑料应用,2021,49(8):93-98.
Li Wei, Zhang Xiaoli. Design of arc core pulling injection mold for bridge elbow based on UG and Moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(8):93-98.
- [3] 李渊博,夏金林,杨健宇,等.基于CAE模拟分析的汽车注塑仪表板产品设计[J].汽车零部件,2019(7):28-32.
Li Yuanbo, Xia Jinlin, Yang Jianyu, et al. Product design of automobile injection molding instrument panel based on simulation analysis of CAE[J]. Automobile Parts, 2019(7):28-32.
- [4] 翟豪瑞,葛晓宏,陈长秀,等.基于Moldex3D碳罐本体优化分析及模具设计[J].模具工业,2018,44(1):40-45,52.
Zhai Haorui, Ge Xiaohong, Chen Changxiu, et al. Optimization analysis of carbon canister based on Moldex3D and the mould design[J]. Die & Mould Industry, 2018, 44(1):40-45, 52.
- [5] 方塑,张有忱,徐春栋,等.基于Moldex3D的护目镜注塑成型工艺优化和缺陷改善研究[J].塑料工业,2021,49(7):61-65.
Fang Su, Zhang Youchen, Xu Chundong, et al. Research on Moldex3D-based injection molding process optimization and defect improvement of goggles[J]. China Plastics Industry, 2021, 49(7):61-65.
- [6] 王良柱,徐静.基于Moldflow的汽车仪表板本体骨架变形分析及结构改进[J].塑料工业,2021,49(3):59-63,68.
Wang Liangzhu, Xu Jing. Deformation analysis and structural improvement of the instrument frame based on moldflow[J]. China Plastics Industry, 2021, 49(3):59-63, 68.
- [7] 关德君,王伟,高波. CAE技术在塑料设计优化领域的应用[J].塑料科技,2021,49(7):97-99.
Guan Dejun, Wang Wei, Gao Bo. Application of CAE technology in the field of plastic design optimization[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(7):97-99.
- [8] 姜冬,程格格,刘杰. PVC/GR/SiO₂ 电缆套的制备和阻燃性能研究[J].塑料科技,2021,49(5):31-34.
Lou Dong, Cheng Gege, Liu Jie. Preparation and flame retardant performance of PVC/GR/SiO₂ cable sleeve[J]. Plastic Science and Technology, 2021, 49(5):31-34.
- [9] 王东峰,陈泽中,刘会,等.基于Moldflow的汽车扰流板模流分析及翘曲优化[J].塑料工业,2014,42(9):42-45.
Wang Dongfeng, Chen Zezhong, Liu Hui, et al. The analysis of car spoiler and warpage optimization based on moldflow[J]. China Plastics Industry, 2014, 42(9):42-45.
- [10] 符立华,赵贵呈,任建平.基于顺序阀与复杂抽芯技术的汽车门槛精密模具设计[J].工程塑料应用,2022,50(8):91-96.
Fu Lihua, Zhao Guicheng, Ren Jianping. Design of precision die for automobile threshold based on sequence valve and complex core pulling technology[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(8):91-96.
- [11] 肖清武,柳和生,黄益宾,等. 注气工艺对外部气体辅助注塑成型制品翘曲与凹痕的影响[J].高分子材料科学与工程,2019,35(8):112-117.
Xiao Qingwu, Liu Hesheng, Huang Yibin, et al. Influence of gas injection processing conditions on warpage and sink mark of part by external gas-assisted injection molding[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2019, 35(8):112-117.
- [12] 孙晋,李永泉,李峰. 注塑成型工艺参数对汽车保险杠翘曲变形的影响研究[J].塑料工业,2011,39(5):49-53.
Sun Jin, Li Yongquan, Li Feng. Effect of the injection molding processing parameters on automobile bumper warpage deformation[J]. China Plastics Industry, 2011, 39(5):49-53.
- [13] 修雪颖,汪圣尧,黄兆阁.基于Moldflow的注塑阀门应用与仿真[J].现代塑料加工应用,2020,32(5):56-59.
Xiu Xueying, Wang Shengyao, Huang Zhaohe. Application and simulation of injection valve based on moldflow[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2020, 32(5):56-59.