

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.02.013

薄壁带筋轮座注射成型表面气纹形成机理与缺陷消除

蔡伟南,徐晓,王子秦,夏琴香,肖刚锋

(华南理工大学机械与汽车工程学院,广州 510640)

摘要:以某薄壁带筋轮座件为研究对象,针对零件表面气纹缺陷,基于 Moldflow 仿真对熔体流动规律和气纹的形成机理进行分析,利用金相显微镜对熔体结合位置冷却后的微观形貌进行观测,对结合位置的气泡与表面气纹的联系进行了分析,结果表明在熔体结合位置缺少相应排气时,熔体前端的空气难以排出,易产生气纹;基于表面气纹缺陷分析,结合模具和产品具体结构,提出增加排气镶件、修改进胶点和调整局部壁厚等解决方案。结果表明,采用修改进胶点至加强筋处同时增加加强筋壁厚的方案,可使熔体最终结合位置从按钮槽附近转移至分型面附近,型腔内气体可从分型面排气槽处排出,能有效避免熔体结合处的困气缺陷。最终通过试模验证,实现了零件表面气纹缺陷的消除。

关键词:薄壁带筋轮座;注射成型;表面气纹;机理分析;气纹消除

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)02-0078-05

Formation Mechanism and Defect Elimination of Air Marks on Surface of Injection Molding of Thin-walled Ribbed Wheel Seat

Cai Weinan, Xu Xiao, Wang Ziqin, Xia Qinxang, Xiao Gangfeng

(School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract : Taking a thin-wall wheel seat with rib as the research object, aiming at the air mark defects on the surface of the part, the melt flow law and the formation mechanism of air marks were analyzed based on Moldflow simulation. The microstructure of the melt after cooling was observed by metallographic microscope, and the relationship between the bubbles and the air marks on the surface was analyzed. The results show that the air at the front end of the melt is difficult to be discharged and gas lines are easy to occur when there is no corresponding exhaust at the joint position of the melt. Based on the analysis of surface air mark defects, combined with the mold and product structure, some solutions were put forward, such as adding exhaust insert, modifying glue point and adjusting local wall thickness. The results show that by modifying the gate location to the stiffener and increasing the wall thickness of the stiffener, the final joint position of the melt can be transferred from near the button groove to near the parting surface, and the gas in the cavity can be discharged from the exhaust groove of the parting surface, which can effectively avoid the gas trapping defect at the melt bonding position. Finally, the elimination of air mark defects on the surface of parts was realized through mold testing.

Keywords : thin-walled ribbed wheel seat ; injection molding ; surface air marks ; mechanism analysis ; air marks elimination

注射成型具有材料利用率高、成型周期短、产品设计灵活及自动化程度高等优点,因此在婴幼儿用品、医疗、航空工业、国防和尖端工业等领域有广泛应用^[1-2]。由于塑料产品结构复杂且注射成型过程中参数众多,消除制品缺陷并提升制品外观质量

较为困难^[3]。注塑制品常见的质量缺陷有:欠注、溢边、翘曲变形、缩痕、熔接痕和气纹等,严重影响产品的表面质量、强度等使用性能^[4]。当零件局部成型区域存在困气时,熔体冷却固化后零件表面会留下气体流动的痕迹即气纹,通常会伴随着烧焦、欠注、

基金项目: 2019~2021 年度广东省重点领域研发计划项目 (2019B090918004)

通信作者: 徐晓,教授,主要研究方向为机械设计及理论、智能模具与精密成型

收稿日期: 2021-12-03

引用格式: 蔡伟南,徐晓,王子秦,等.薄壁带筋轮座注射成型表面气纹形成机理与缺陷消除[J].工程塑料应用,2022,50(2):78-82,95.

Cai Weinan, Xu Xiao, Wang Ziqin, et al. Formation mechanism and defect elimination of air marks on surface of injection molding of thin-walled ribbed wheel seat[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(2): 78-82, 95.

熔接痕、料花等缺陷^[5],并且难以通过调整成型工艺参数解决。

陈泽聪等^[6]提出增加排气槽改善模具排气效果,并且在外观允许的情况下,要尽量增大圆角半径,改善排气的顺畅度;钟明强^[7]针对具有多浇口和孔位的模具提出调整不同喷嘴的注塑速率和温度,使熔体合流线向非外观面移动,达到消除气纹的效果;陈小鹿等^[8]提出复杂的制品结构和壁厚变化都易导致熔体流动前沿处残留气体,采用提高料温、降低第一段射胶速度的方法,使型腔内气体有时间排出,极大改善了电容器外壳的气纹问题;王红亮等^[9]模拟汽车保险杠拖车钩孔处的成型过程,通过减小拖车钩孔侧面壁厚,降低侧面料流速度,将熔接末端调整至孔内,使得气穴分布在孔的翻边内,同时增加排气槽和排气镶件,保证气体顺利排出,为保险杠模具设计以及后期塑件设计提供依据。

然而当前对于气纹的研究大多集中在工艺优化和调整零件局部壁厚上,对于进胶点的选取和熔体流动规律之间的研究较少,且缺乏对气纹的微观形貌的观测,无法全面指导类似零件的生产。

笔者以某型号婴儿车后轮座为研究对象,该婴儿车后轮座具有薄壁带筋特征,针对其在注射成型过程中的表面气纹问题,采用金相显微镜观察熔体结合位置处的微观形貌,并利用 Moldflow 模流分析结果对零件气纹产生机理进行了分析,提出采用修改进胶点和调整加强筋壁厚的方法解决后轮座表面气纹缺陷,通过改变熔体的结合位置,使型腔内气体从分型面排气槽排出,达到消除气纹的目的。

1 后轮座结构与材料

某婴儿车后轮座产品图如图 1 所示,采用冷流道侧进胶、一模两穴注射成型生产,主体壁厚为 2.3 mm,属于薄壁零件^[10]。

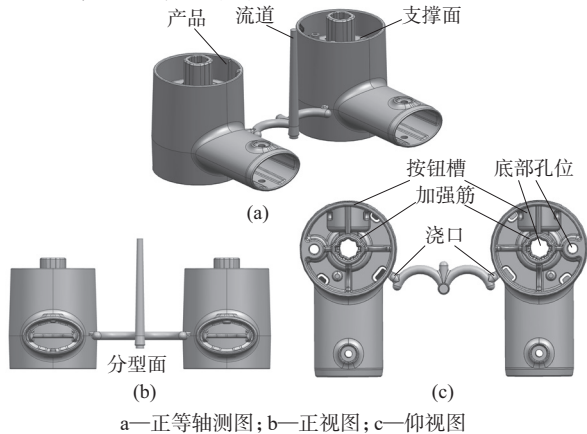


图 1 婴儿车后轮座产品图

由图 1 可知,后轮座结构上存在用于装配的按钮槽、底部孔位、十字形加强筋和用于装配和增加强度的支撑面。由于按钮槽附近为外观面,切除浇口会在零件表面留下切除痕迹,因此进胶点设置在远离按钮槽的一侧。后轮座材料为尼龙 66 (PA66),牌号为 U4820L,属于结晶性塑料。

2 气纹形成机理

2.1 气纹微观形貌观察

困气是由于多股熔体前沿汇聚,型腔中气体被困在零件内部或模腔表面形成的气泡^[11]。熔体冷却固化后气体会在熔体表面留下痕迹,形成气纹。图 2 是后轮座按钮槽附近的气纹,呈白色直线状,每一模零件的按钮槽附近都有一道颜色较淡的气纹。



图 2 气纹实际照片

图 3 是在显微镜下对气纹缺陷观察照片($\times 200$ 倍),多股熔体相汇时由于温度过低不能熔合在一起,在交界位置有一道清晰沟壑即熔接线^[12]。熔体流动时前端存在空气,汇合时气体难以排出导致熔接线两侧存在气泡。熔体充填时由于随着气泡体积增大,气泡的表层厚度会不断减小,其中的染色剂会被不断稀释,最终回到尼龙原料本身的颜色即白色,在宏观上便表现为白色的气纹。

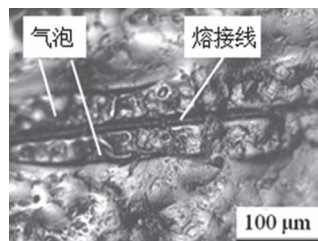


图 3 气纹微观形貌($\times 200$)

2.2 气纹形成机理分析

图 4 为后轮座的 Moldflow 充填模拟结果,模具上对应按钮槽的位置存在用于侧向抽芯的滑块,熔体在型腔中流动时遇到滑块会分成上下两股,流动模拟结果如图 4a 所示;按钮槽一侧有两股熔体,由于后轮座结构类似于圆柱,按钮槽对侧又存在一股熔体,最终有三股熔体在外观面结合,如图 4b 所示。

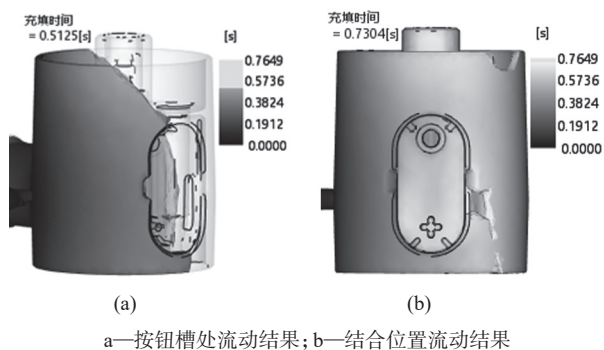


图4 熔体流动示意图

图5为前模仁和后模芯的排气槽,由于熔体结合位置在分型面下方,远离分型面和后模芯的排气槽,被熔体包裹的气体将很难排出。

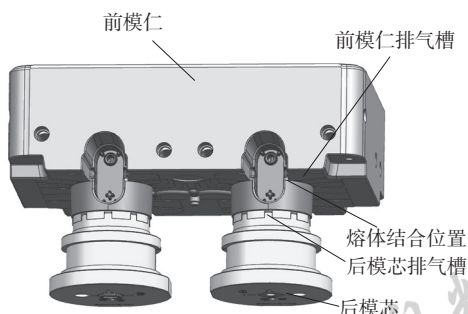


图5 排气槽示意图

图6为Moldflow气穴模拟结果,气穴结果表示可能发生困气位置,从图6可知气穴位置与实际情况接近,在分型面下方、按钮槽附近存在困气情况。



图6 气穴模拟结果

2.3 气纹解决方案分析

后轮座的困气是由于三股熔体结合形成熔接痕,熔接痕处的气体无法排出型腔而形成的,因此可以通过改善熔接痕的方法来解决困气缺陷,改善熔接痕的方法包括以下几个方面^[13-16]:

(1) 调整注塑工艺参数。增加注塑压力和保压压力,使熔体在熔接痕处以高压熔合;提高模具温度,减少熔体汇聚时不同熔体的温度差异,保证温差在10℃以下。

(2) 修改模具结构。改变浇口位置和数量,使得熔接痕转移至非外观面或者易排气区域;在熔体汇

聚区域增加排气镶块或增加排气槽,改善排气效果。

(3) 改进产品结构如修改产品壁厚或者修改成圆角,从而改变熔体在型腔内的流动状态,使得熔体在合理位置汇聚。

经过实际调机,气纹没有明显改善,因此主要从模具结构和产品结构出发解决气纹问题。结合熔接痕改善方案并且考虑到增加浇口可能会导致更严重的熔接痕问题,得出以下针对后轮座气纹的改善方案:

(1) 在气纹位置附近增加排气镶件,改善排气。

(2) 修改进胶点或者调整零件局部壁厚,改变熔体流动状态从而转移困气位置。

3 气纹缺陷消除

3.1 增加镶件

后轮座的气纹发生在零件外表面,模具中前模仁与后模仁是和外表面直接接触的,但若在前模仁或者后模仁处增加镶件,由于存在镶件间隙,成型时外观面上会留下镶件的拼接线,反而使产品美观度下降。因此在后模芯处增加镶件从而改善排气,如图7所示。在后模芯处增加镶件虽然避免了在零件外观面留下镶件线,但是由于困气位置在零件外表面,而镶件间隙在零件内表面,可以改善模具排气效果但不能彻底改善零件困气问题。

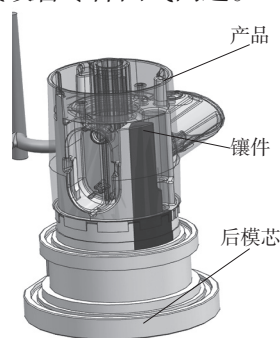
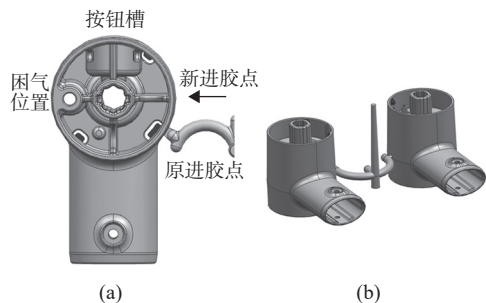


图7 镶件示意图

3.2 改进胶点至加强筋处同时增加壁厚

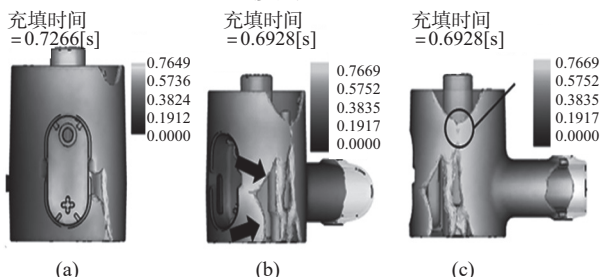
原进胶点在远离按钮槽的一侧,困气位置在按钮槽附近影响外观。因此可将进胶点向加强筋处移动,使得熔体最后结合位置在非外观面,改变困气位置,减少对外观的影响,如图8所示。

修改进胶点熔体流动情况对比如图9所示,图9a为原始模型的流动模拟,有三股熔体在分型面下方结合,困气严重;图9b为修改进胶点后按钮槽附近熔体流动情况,改进胶点后,按钮槽上下的两股熔体在结合后会继续向前流动,由于按钮槽对侧熔体还未结合,包围的气体会向前流动,因此按钮槽附近



a—进胶点对比; b—修改进胶点后的零件示意图

图8 修改浇口示意图



a—原始流动状态; b—修改进胶点后的流动状态; c—浇口对侧困气

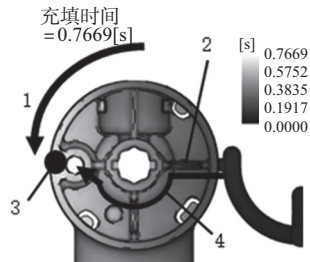
图9 修改浇口前后的流动状态对比

不会出现困气。

熔体在浇口对侧的流动状态如图9c所示,按钮槽一侧的熔体与按钮槽对侧的熔体结合时,由于后轮座内部存在筋位,流经筋位的熔体又在此处汇合,中间有气体被包围且离排气槽较远,因此修改进胶点至加强筋处后,困气位置会从按钮槽附近转移至浇口对侧分型面上方位置。

单纯修改进胶点仍会导致零件浇口对侧的气纹,因此再调整零件壁厚从而改变困气位置。图10为筋位内熔体流动示意图,侧壁熔体流至浇口对侧,而加强筋内熔体未流至浇口对侧,零件内部便会出现困气,严重时可能出现烧焦和欠注。因此通过调整筋位壁厚的方法改变加强筋内的熔体流速,改变熔体结合位置即改变浇口对侧困气位置。

考虑到模具加工难度,采用增加筋位壁厚的方法增加筋位内熔体流速,使其更快到达浇口对侧,避



1—侧壁熔体流动方向; 2—浇口处加强筋; 3—困气位置;

4—加强筋内熔体流动方向

图10 筋位内熔体流动示意图

免出现筋位内熔体与侧壁熔体在孔位内结合导致困气严重且难以排气的情况。根据实际生产经验(壁厚过大会导致零件内部产生空洞),将图10浇口处筋位壁厚向两侧增加0.2 mm。

图11为进胶点改至筋位处同时增加筋位厚度后的流动模拟情况,熔体最后结合位置在分型面,熔体包围的气体可以通过分型面的排气槽排出,外观面上不会有气纹。

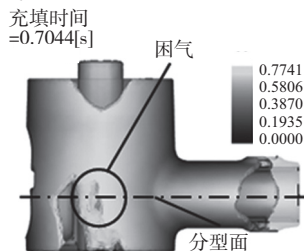
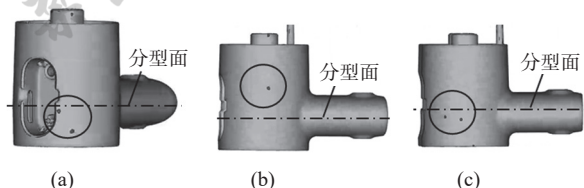


图11 修改进胶点同时增加壁厚的流动情况

图12为修改进胶点、增加筋位壁厚的气穴位置对比情况,进胶点改至筋位处,会使气穴位置从按钮槽附近转移至浇口对侧分型面上方;修改进胶点同时增加筋位壁厚,可使得气穴位置转移至分型面处。



a—原始模型; b—修改进胶点至加强筋位置;

c—改进胶点后增加加强筋壁厚

图12 气穴位置对比

3.3 改进胶点至加强筋处同时改分型面

由3.2的分析可知,将进胶点移至加强筋处,会在支撑面的浇口对侧产生困气。因此可以将进胶点移至加强筋位置后,再向前模方向移动,使其位于支撑面上,如图13所示。修改后的浇口正对着原困气位置,熔体将会先充填原因气位置使得困气位置不是熔体最后结合点,从而避免熔体将空气包围于一点的情况。



图13 提高进胶点的示意图

图 14 为修改后的分型面,由于此进胶点不在原分型面上,需要修改分型面,产品分型线与拔模斜度都会变动,对产品外观改动较大;前后模仁都需要进行重新加工,模具改动也较大。

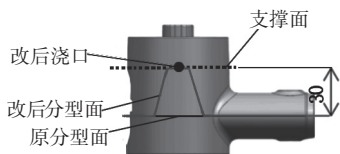


图 14 修改后的分型面

图 15 是进胶点改至筋位处后再提高进胶点的流动模拟情况,熔体在浇口对侧支撑面上结合后,再分别向上和向下流动,气体可从前模芯和后模芯的排气槽排出,不会形成困气,外观面上无气纹。

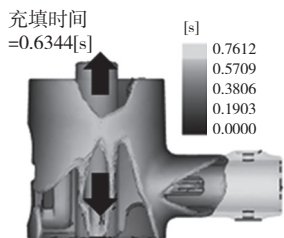


图 15 提高进胶点后的流动情况

4 改善方案对比及改模验证

从 Moldflow 分析结果、改善效果和模具加工难易等方面将三个方案进行对比,对比结果见表 1。由表 1 可知,方案一增加镶件,不能彻底改善气纹;方案三需要修改分型面,模具与产品外观改动较大;方案二可改善困气缺陷,且无需修改分型面,模具与产品外观改动都较小,因此选择方案二进行改模验证。方案二改模后的零件外观如图 16 所示,外观面的气纹消除,外观质量有明显提升。

表 1 改模方案对比

方案	改善效果及缺点
方案一: 后模模芯增加镶件	模具加工简单,但由于不是直接在困气位置增加镶件,仍可能有气纹
方案二: 在加强筋处进胶,同时增加加强筋壁厚	分型面的浇口对侧存在困气,气体可从分型面排气槽排出
方案三: 在加强筋处进胶,同时提高至支撑面处	零件外观面无困气但需要修改分型面,产品外观和模具改动较大



图 16 改模后的零件外观面

5 结论

(1) Moldflow 充填和气穴模拟结果表明,薄壁带筋轮座气纹是由于三股熔体在分型面下方结合,且结合位置远离分型面和后模芯的排气槽,导致困气严重,零件表面出现气纹。

(2) 对气纹微观形貌的观测表明,模具排气不佳的情况下熔接痕两侧易出现气泡,气泡体积增大,表层体积减小,着色剂稀释,使困气位置出现塑胶原料本身的颜色即白色,最终导致白色直线状的气纹。

(3) 在薄壁带筋轮座加强筋处进胶会导致浇口对侧困气,须增加加强筋壁厚加快筋位内的熔体流速,避免多股熔体在零件内部结合导致困气,使得型腔中气体都可从排气槽排出,达到消除气纹的目的。

参考文献

- [1] 欧相麟,王大中,宁凯军. 汽车注塑件典型缺陷分析及其解决措施[J]. 工程塑料应用,2014,42(1):51-55.
Ou Xianglin, Wang Dazhong, Ning Kaijun. Analysis of typical defects in automobile injection parts and solving measures[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(1):51-55.
- [2] 宋满仓,刘莹,祝铁丽,等. 微流控芯片注塑成型缺陷的成因与对策[J]. 机械工程学报,2011,47(6):33-38.
Song Mancang, Liu Ying, Zhu Tieli, et al. Analysis of injection molding defects for microfluidic chip[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47(6):33-38.
- [3] Dang Xuan-phuong. General frameworks for optimization of plastic injection molding process parameters[J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2014, 41:15-27.
- [4] 陈叶娣,严小锋. 车内杯座注塑成型缺陷分析及注塑模具设计[J]. 塑料,2020,49(1):119-123.
Chen Yedi, Yan Xiaofeng. Injection molding defect analysis and injection mold design of inner cup seat[J]. Plastics, 2020, 49(1):119-123.
- [5] 洪建明. 基于 Moldflow 流动模拟的电源按键困气缺陷改善[J]. 中国塑料,2013,27(3):87-91.
Hong Jianming. Improvement of air trap defects of power buttons based on flow simulation of Moldflow[J]. China Plastics, 2013, 27(3):87-91.
- [6] 陈泽聪,黄存芳. 薄壁注塑件外观缺陷分析与解决方案讨论[J]. 电器,2013(S1):585-588.
Chen Zecong, Huang Cunfang. Analysis and solution for visual defect of the thin-wall Injection molded parts[J]. China Appliance, 2013(S1):585-588.
- [7] 钟明强. 改性 PP 注射成型中气痕/气泡缺陷的原因及解决方法[J]. 工程塑料应用,2008(7):30-32.
Zhong Mingqiang. Causes and solutions of air marks/bubbles of modified polypropylene during injection molding[J]. Engineering Plastics Application, 2008(7):30-32.

(下转第 95 页)

- 2021, 65(7):1429–1440.
- [6] Bideskan A S, Ebrahimzadeh P, Teimouri R. Fabrication of bi-layer PMMA and aluminum 6061-T6 laminates by laser transmission welding: Performance prediction and optimization[J]. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 2020, 3(2):150–159.
- [7] Hubeatir K A. Laser transmission welding of PMMA using IR semiconductor laser complemented by the Taguchi method and grey relational analysis[J]. *Materials Today:Proceedings*, 2020, 20(4):466–473.
- [8] 李品,孙跃东,谭文胜. 红外加热辅助激光透射焊接异种聚合物[J]. *激光技术*, 2019, 43(3):307–313.
Li Pin, Sun Yuedong, Tan Wensheng. Laser transmission welding of heterogeneous polymers assisted by infrared heating[J]. *Laser Technology*, 2019, 43(3):307–313.
- [9] 庞振华,张卫,任豪,等. 激光技术在异种塑料材料焊接中的应用[J]. *机电工程技术*, 2014, 43(4):96–100.
Pang Zhenhua, Zhang Wei, Ren Hao, et al. Applications of laser technology on the welding of dissimilar plastics[J]. *Mechanical & Electrical Engineering Technology*, 2014, 43(4):96–100.
- [10] 伍彦伟,刘会霞,李品,等. 激光透射焊接聚碳酸酯和聚苯醚实验研究[J]. *中国激光*, 2015, 42(5):147–153.
Wu Yanwei, Liu Huixia, Li Pin, et al. Experimental study of laser transmission welding between polycarbonate and polyphenylene oxide[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2015, 42(5):147–153.
- [11] 上官同英,刘冬敏,陈志. 激光透射焊接掺杂玻璃纤维 ABS 和 PP 塑料工艺研究[J]. *应用激光*, 2019, 39(1):93–97.
Shangguan Tongying, Liu Dongmin, Chen Zhi. Laser transmission welding of fiberglass-doped ABS and PP[J]. *Applied Laser*, 2019, 39(1):93–97.
- [12] 诸金,尹秀萍,钱佳为,等. 一种激光焊接易加工的 PC/ABS 合金材料及其制备方法: CN201911370458.5[P]. 2019-12-26.
Zhu Jin, Yin Xiuping, Qian Jiawei, et al. The invention relates to PC/ABS alloy material easily machined by laser welding and its preparation method: CN201911370458.5[P]. 2019-12-26.
- [13] Mamuschkin V, Haeusler A, Engelmann C, et al. Enabling pyrometry in absorber-free laser transmission welding through pulsed irradiation[J]. *Journal of Laser Applications*, 2017. DOI:10.2351/1.4983515.
- [14] Mingareev I, Weirauch F, Olowinsky A, et al. Welding of polymers using a 2 μ m thulium fiber laser[J]. *Optics and laser technology*, 2012, 44(7):2095–2099.
- [15] Nguyen N P, Behrens S, Brosda M, et al. Modelling and thermal simulation of absorber-free quasi-simultaneous laser welding of transparent plastics[J]. *Welding in the World*, 2020, 64:1–8.
-
- (上接第 82 页)
- [8] 陈小鹿,林家庆,王海兰,等. 电子电器注塑件典型缺陷分析及其解决措施[J]. *广州化工*, 2019, 47(8):120–124.
Chen Xiaolu, Lin Jiaqing, Wang Hailan, et al. Analysis of typical defects in electronic appliance injection parts and solving measures[J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2019, 47(8):120–124.
- [9] 王红亮,尤志军,张栋. 保险杠拖车钩孔气痕浅析[J]. *模具制造*, 2016, 16(12):53–54.
Wang Hongliang, You Zhijun, Zhang Dong. Research on bumper gas mark in trailer coupling hole position[J]. *Die & Mould Manufacture*, 2016, 16(12):53–54.
- [10] 陈文. 薄壁塑件翘曲变形控制及工艺优化[D]. 荆州:长江大学, 2020.
Chen Wen. Warpage deformation control and process optimization of thin-walled plastic parts[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2020.
- [11] 段家现,闫西坡. 手机壳体注塑成型困气缺陷的消除方法[J]. *工程塑料应用*, 2015, 43(9):49–53.
Duan Jiaxian, Yan Xipo. Method of eliminating air trap defects for injection molding of phone shell[J]. *Engineering Plastics Application*, 2015, 43(9):49–53.
- [12] 王梦寒,涂顺利,余春丽. 基于 Kriging 和 NSGA- II 的辅以困气改善的熔接痕优化策略[J]. *化工学报*, 2018, 69(10):4449–4455.
Wang Menghan, Tu Shunli, Yu Chunli. Optimization strategy of weld line assisted by air traps improvement based on Kriging and NSGA- II [J]. *CIESC Journal*, 2018, 69(10):4449–4455.
- [13] Raju B S, Sekhar U C, Drakshayani D N. Optimizing multiple quality characteristics of stereolitho-graphy process via taguchi method-based grey analysis for SL5530 epoxy resin material to enhance part quality[J]. *Procedia Materials Science*, 2014(5):2532–2541.
- [14] 夏玉峰,杜婉婉,陈邦华,等. 顺序注塑成型在消除空调导风板熔接痕中的应用[J]. *工程塑料应用*, 2013, 41(2):48–51.
Xia Yufeng, Du Wanwan, Chen Banghua, et al. Application of sequential injection molding on eliminating weld lines of air conditioning wind deflector[J]. *Engineering Plastics Application*, 2013, 41(2):48–51.
- [15] 石波,刘斌. 注塑成型过程中制品质量的控制研究现状分析[J]. *塑料工业*, 2012, 40(10):9–13.
Shi Bo, Liu Bin. Analysis of present research on product quality control in the injection molding process[J]. *China Plastics Industry*, 2012, 40(10):9–13.
- [16] 王华金,唐西西,杨娟. 基于 Moldflow 的计算机面板注塑成型方案对比分析[J]. *塑料科技*, 2020, 48(2):98–104.
Wang Huajin, Tang Xixi, Yang Juan. Contrastive analysis of injection moulding schemes for notebook panel based on moldflow[J]. *Plastics Science and Technology*, 2020, 48(2):98–104.