

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.10.010

免喷涂金属质感改性塑料模具与制件结构优化

吴掇,余俊宝,范保林,杨亚娣

(会通新材料股份有限公司,合肥 231202)

摘要:针对免喷涂金属质感改性塑料在实际应用过程中经常存在的熔接线及流痕问题,从模具与制件结构的角
度对免喷涂金属质感改性塑料外观缺陷进行了优化验证研究。结果表明,制件结构宜采用简单化结构设计,应尽量
规避筋位、孔、壁厚突变结构的使用;加大浇口尺寸可以大幅减弱流痕及熔接线,其中采用轮辐式浇口是较好的改善
手段;应尽量减少筋位及盲孔结构的使用,如果无法规避,应根据制件结构适当调整筋位及盲孔结构,筋位走向宜垂
直熔体流动方向且筋位结构尽量作减薄(或镂空)处理;当筋位壁厚/制件壁厚 <0.4 时,制件外观面基本不会出现
外观缺陷,随盲孔壁厚/制件壁厚比值不断增大,盲孔位置(或壁厚变化处)外观面缺陷不断减弱;表面蚀纹处理对
缺陷有很好的遮盖作用,其中拉丝皮纹的遮盖效果要好于网格皮纹。

关键词:免喷涂金属质感塑料;熔接线;流痕;筋位走向;壁厚比;表面蚀纹

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)10-0052-07

Optimization of Mould and Part Structure for Spray-Free Metallic Plastics

Wu Luo, Yu Junbao, Fan Baolin, Yang Yadi
(Orinko Advanced Plastic Co. Ltd., Hefei 231202, China)

Abstract : For the problems of welding line and flow mark in the practical application of spray-free metallic plastics, the appar-
ent defects were optimized and verified from the perspective of the mould and part structure. The results show that, simple structure
design should be adopted for the structure of the parts, such as unnecessary rib, hole, wall thickness mutation and other structures
should not be used as far as possible. Increasing the gate size can greatly reduce the flow mark and welding line, and the spoke gate is
a better way. The using of rib and blind hole structure should be reduced as far as possible, if it cannot be avoided, the alignment and
thickness arrangement should be adjusted appropriately according to the structure of the part. The orientation of rib should be vertical
to the melt flow direction and the thinned (or hollowed out) treatment for the rib structure should be done as far as possible. When the
wall thickness ratio of rib/part is controlled at <0.4 , the apparent defects do not appear. The apparent defects at blind hole (or wall
thickness change position) also decrease with the increase of wall thickness ratio of blind hole/part. The surface etching treatment
has a good covering effect on the defects, and the effect of brushed finishing texture is better than that of grid texture.

Keywords : spray-free metallic plastic ; welding line ; flow mark ; orientation of rib ; wall thickness ratio ; surface etch

随着人们生活节奏的不断加快、生活方式日新月异、国内外消费市场逐渐升级,追求体验式、情感化的高品质生活越来越受人追捧,其中对于日常用品的情感需求与日俱增。因此,优秀的产品设计除了要满足产品必备的功能性外,追求更高的审美需求和情感体验变得尤为重要^[1]。免喷涂金属质感改性塑料就是其中一款非常具有发展前景的外观美学材料^[2-4]。

免喷涂金属质感改性塑料实现了金属质感和塑料的完美结合,让塑料实现外观美学的时候,兼顾了一次成型免喷涂,解除了生产过程的限制,为设计师带来高度的设计自由,同时可实现很多喷涂无法实现的视觉效果。与喷涂、电镀、水转印等传统工艺出现的工序复杂,生产成本低,产品容易出现掉漆露底,环境、健康危害大等^[5-8]问题相较,免喷涂金属质感改性塑料真正实现了美学-环保-低成本的完

通信作者: 吴掇,工程师,主要从事塑料改性技术工作 E-mail: wuluo1429@163.com

收稿日期: 2020-07-09

引用格式: 吴掇,余俊宝,范保林,等. 免喷涂金属质感改性塑料模具与制件结构优化[J]. 工程塑料应用,2020,48(10): 52-58.

Wu Luo, Yu Junbao, Fan Baolin, et al. Optimization of mould and part structure for spray-free metallic plastics[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(10): 52-58.

美整合。目前免喷涂金属质感改性塑料已成功应用在家电(空调、洗衣机、小家电、黑电等),汽车,交通运输,化妆品等行业。

现有免喷涂金属质感改性塑料制件替代金属或喷涂制件的最大问题在于注塑过程中由于料流汇合或紊流导致的流痕和熔接线等外观缺陷^[6,9-13],严重影响塑件的外观质量及力学性能^[14-15]。笔者已经对流痕及熔接线形成机理进行过论述,同时也从成型工艺方面阐述了如何解决这些缺陷^[16]。但是另一方面,模具结构和制件结构对这些缺陷的影响也不可忽视。徐东东^[17]以 Moldflow 软件为平台,研究了免喷涂塑料在电水壶外壳模具上的应用可行性。设置了合理的浇口位置和进浇方式,通过模流分析,对免喷涂塑料的流动过程、前沿温度、熔接线、困气点等进行了系统分析,经实际试模验证,模流分析的结果是准确可靠的。江毅等^[18]从塑件材料、制品结构、模具设计等各环节入手,分析了影响熔接线形成的各种条件,建立了熔接线形成的数学模型,并提出了控制熔接线产生的措施。M. Zhai 等^[19]通过优化浇口位置和模具流道尺寸改变熔体流动方式,从而使熔接线产生在对制件性能影响较小的位置。Chen Meiyung 等^[20]利用模糊理论和 CAE 软件成功预测和控制了熔接线在塑件表面的生成位置,与传统的“试错法”和常规的有限元模拟相比,节省了大量的时间,提高了分析的效率,为模具优化设计提供了重要的理论基础。上述研究成果虽然阐述了注塑件中熔接痕等缺陷形成的原因及模具结构改善方法,但是往往局限于常规非金属质感改性塑料或是只针对浇口排布和顺序控制进胶等方面的改善,缺乏普适性及全面的模具和制件结构方面的实例验证。为此,笔者重点通过从模具结构和制件结构设计方面研究了如何消除免喷涂金属质感改性塑料在注塑过程中的相关缺陷,为改善免喷涂金属质感改性塑料制件的外观质量提供参考。

1 实验部分

1.1 主要原材料

丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS) : 121H,
LG 化学公司;

抗氧剂 1010,168 : 天津利安隆新材料股份有限公司;

光稳定剂: UV-P, 天津利安隆新材料股份有限公司;

润滑剂: 乙撑双硬脂酰胺 (EBS), 苏州联胜化学

有限公司；

金属质感粉体: TH-718, 合肥旭阳铝颜料有限公司。

1.2 主要仪器和设备

平行双螺杆挤出机: KY-lab 型, 科亚装备集团;

注塑机: MJ55 型, 震德集团公司;

缺陷验证板模具: Orinko-QX 型, 会通新材料股份有限公司;

饭煲面盖模具：会通新材料股份有限公司客户制件模具。

1.3 缺陷验证板模具结构设计

缺陷验证板模具为熔接线 / 流痕验证模具, 由其成型的制件各特征如图 1 所示, 其尺寸为 200 mm × 147 mm × 20 mm, 壁厚 2.5 mm。模具正面有三种表面: 浇口左侧区域做拉丝皮纹设计, 浇口右侧区域做网格皮纹设计, 其它区域做高光平面设计; 模具反面有三种结构: 四个壁厚和走向可调的筋位结构, 两个壁厚可调的 doghouse 结构, 一个壁厚比可调的盲孔结构; 模具中间是一个可以更换不同进胶方式的浇口结构。

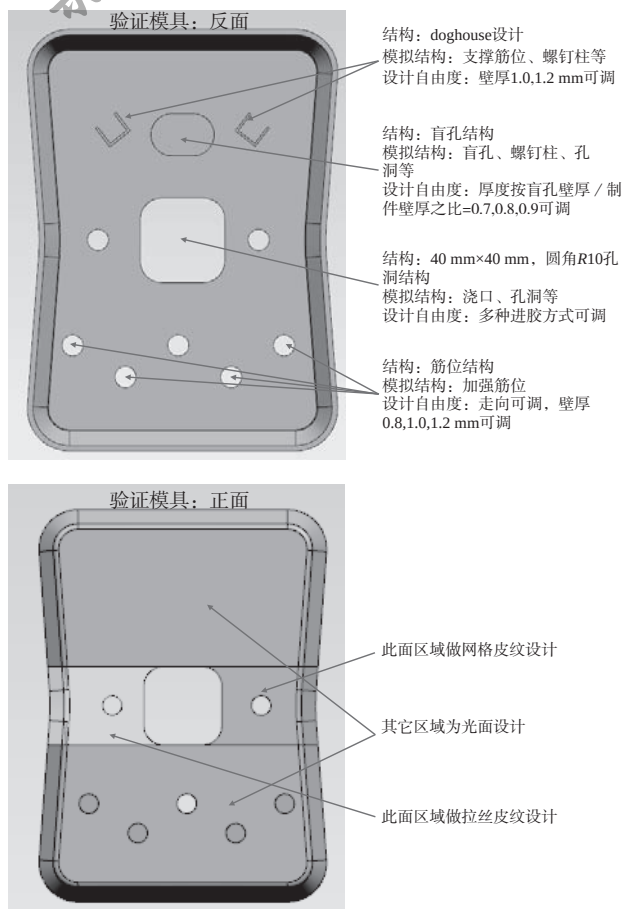


图1 免喷涂金属质感改性塑料注塑缺陷验证板各特征示意图

1.4 改性加工及成型验证

材料的改性加工及成型验证过程见文献[16]。

2 结果与讨论

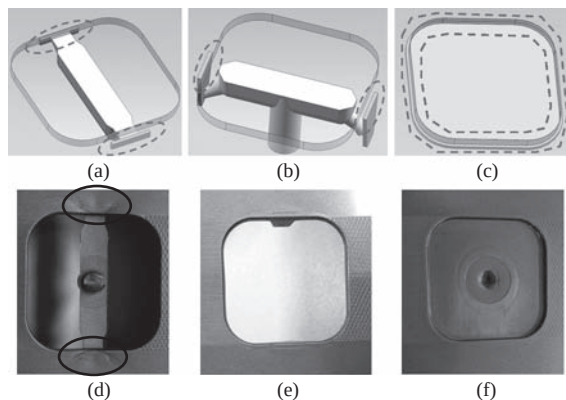
2.1 浇口验证

在实际的模具开发过程中,为了减少人工去除浇口工序或是使制件浇口处更加美观,制件浇口一般设计得比较小,从而实现开模自动去除浇口程序或者减少人工去除浇口的困难。然而这种浇口在注射速度高、剪切速率大、剪切应力大等条件下,会发生熔体破裂、熔体流动不稳、塑料降解等现象,宏观表现为雾斑、水花、银纹、黄化、褐线、喷流痕等外观缺陷。对于免喷涂金属质感改性塑料,由于色粉中和片状金属粉体的取向会进一步扩大这些缺陷,所以免喷涂金属质感改性塑料注塑模具浇口的设计非常重要。

设计了搭底浇口、潜伏式浇口和轮辐式浇口三种浇口形式,由此成型的缺陷验证板特征如图2所示。从图2可以看到,三种浇口中轮辐式浇口对应的缺陷验证板外观最好,不仅浇口边缘无流痕,且同时不会产生熔接线,其次为潜伏式浇口,搭底浇口方案下的流痕最为严重。潜伏式浇口的优势来源于浇口到制件之间的扁平嵌片冷流道,此冷流道起到对高注射速度的缓冲作用,保证熔体进入模腔时更加柔和,从而减少了流痕出现的几率。轮辐式浇口对于流痕和熔接线的解决效果最好,但其结构导致后续浇口的修整非常困难,这是注塑厂商非常难以接受的,最好的解决办法是配合模内切浇口进行应用,这样在解决流痕及熔接线缺陷的同时,可以完成浇口的去除,实现自动化连续生产。另外对于流痕严重的搭底浇口设计,也可以通过降低注射速度来进行改善,当注射速度从30%降低至5%时浇口处流痕已经非常轻微,如图3所示。需要说明的是,在调整注射速度的同时应适度提高注塑温度,否则虽然浇口处的缺陷得到解决,但整个制件会出现欠注的现象。

2.2 筋位结构验证

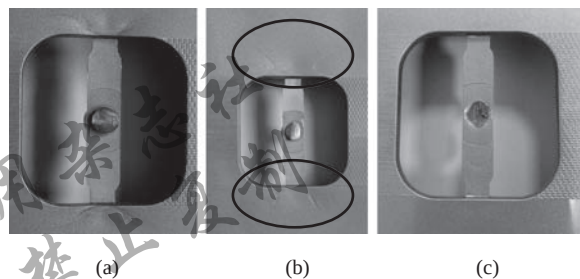
在实际制件结构设计中,考虑强度、变形等作用,制件往往需要设计补强筋位结构,但这种结构在免喷涂金属质感塑料成型过程中非常易出现缺陷,特别是流痕缺陷。对筋位的走向及壁厚进行了验证研究,结果如图4所示(筋位的壁厚和设计壁厚有轻微出入,图4中标注的是实际测量的壁厚)。从图4缺陷验证板的验证来看,可以得出以下结论。



a—搭底浇口; b—潜伏式浇口; c—轮辐式浇口;

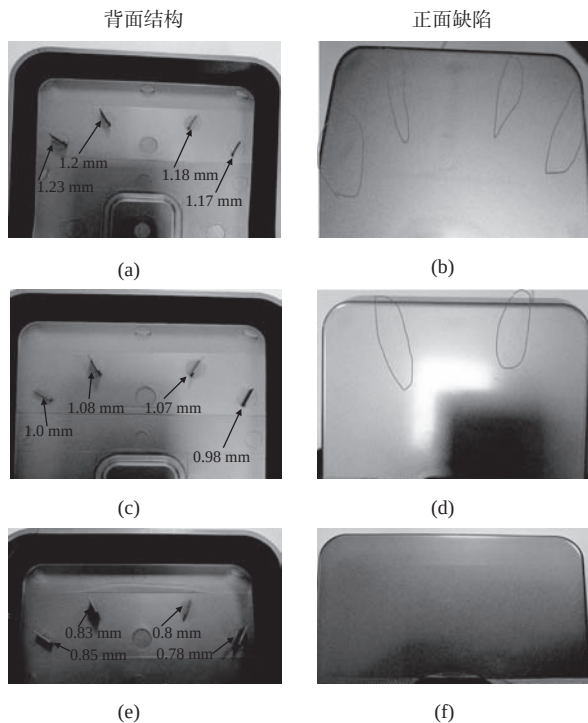
d, e, f—搭底浇口、潜伏式浇口、轮辐式浇口对应的缺陷验证板特征

图2 不同浇口设计方案的示意图及缺陷验证板特征照片



注射速度: a—30%; b—10%; c—5%

图3 不同注射速度下搭底浇口设计缺陷照片



a, b—1.2 mm 壁厚筋位背面结构及其正面四条清晰流痕

c, d—1.0 mm 壁厚筋位背面结构及其正面两条流痕

e, f—0.8 mm 壁厚筋位背面结构及其正面无流痕

图4 不同壁厚筋位结构下缺陷验证板缺陷照片

(1) 流痕的强弱与筋位的厚薄及筋位走向息息相关。

(2) 筋位壁厚越大,越易产生流痕,从实验结果来看当筋位壁厚小于 1 mm 时,正面流痕缺陷已基本完全消除。由此可以推断,筋位流痕的消除条件为筋位壁厚 / 制件壁厚 < 0.4 ,而且在实际的大型制件生产中,由于注塑压力和制件尺寸一般都比较小,这个值可能还要进一步减小。

(3) 筋位走向与熔体流动方向垂直(即垂直走向)时,不易产生流痕缺陷,见图 5;当筋位走向与熔体流动方向平行(即平行走向)时,流痕缺陷非常明显,见图 4a,图 4b。产生这种现象的原因可能是在充填的过程中,平行走向的筋位与垂直走向的筋位中气体排放方式不相同。平行走向的筋位在料流充填筋位过程中,其中的气体部分通过筋位中嵌件缝隙排出,这部分气体对流痕不起作用,部分气体通过主外观面排出(相同气压情况下此处排气比嵌件缝隙排气更加容易),这部分气体会造成此处片状金属粉体的排序紊乱,形成明显的流痕缺陷。而垂直走向的筋位在充填的过程中,筋位中的气体只会通过筋位中嵌件缝隙排出,所以不会在正面形成流痕缺陷,分析示意图如图 6 所示。

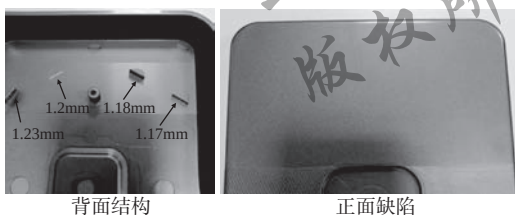


图 5 改变筋位走向下缺陷验证板缺陷照片

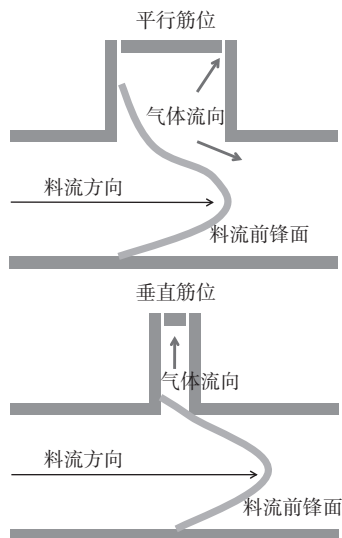
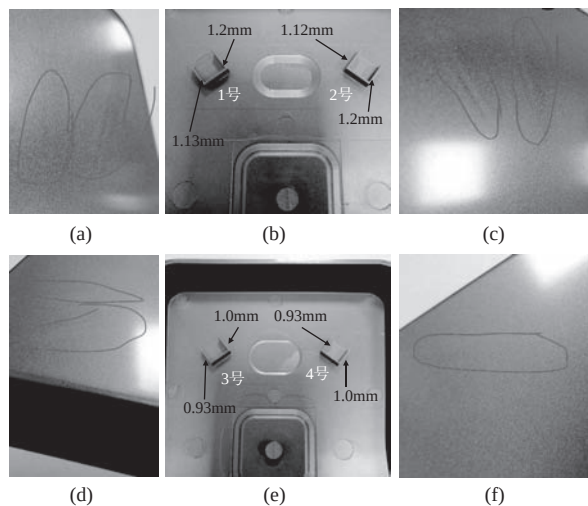


图 6 不同筋位走向下填充过程中排气示意图

2.3 doghouse 结构验证

在实际制件结构设计中,经常会采用 doghouse 的结构设计,其或者单独使用,或者作为卡扣槽、支撑筋位、螺钉柱等结构的支撑结构进行应用,所以对其进行缺陷研究也十分必要。在缺陷验证板结构中,设计了两个 doghouse 结构,并对其进行了缺陷验证,结果如图 7 所示(doghouse 的壁厚和设计壁厚有轻微出入,图 7 中标注的是实际测量的壁厚)。根据图 7 有以下结论:doghouse 结构壁厚对流痕影响很大,壁厚越大,流痕缺陷越明显。doghouse 结构对流痕缺陷的影响,可以拆分成三个筋位分别进行分析:平行于流动方向的两条筋位流痕缺陷明显,垂直于流动方向的筋位基本无流痕缺陷。这和之前对筋位结构的分析非常吻合。但需要注意一点的是,同厚度 doghouse 结构的平行筋位比单独筋位所产生的流痕要更明显。图 4c、图 4d 中,对于厚度为 1 mm 的筋位,其正面无流痕,而对于图 7e、图 7d,可以看到,1 mm 厚度的 doghouse 结构中两条平行筋位在正面可以形成清楚可见的缺陷。这种现象的形成应该和上述对筋位排气的分析相吻合,在 doghouse 结构中,垂直筋位边与两条平行筋位边是连通的,在填充过程中,垂直筋位中的排气会经过平行筋位进行排出,导致平行筋位的排气量大大增加,使得相同壁厚情况下, doghouse 结构的平行筋位处的流痕更加严重。



a—1 号 doghouse 正面两条清晰流痕; b—1 号和 2 号 doghouse 1.2 mm 壁厚筋位结构; c—2 号 doghouse 正面两条清晰流痕; d—3 号 doghouse 正面两条轻微流痕; e—3 号和 4 号 doghouse 1.0 mm 壁厚筋位结构; f—4 号 doghouse 正面两条轻微流痕

图 7 不同壁厚 doghouse 结构下缺陷验证板缺陷照片

边支撑脚。

(3) 加大皮纹深度。皮纹深度翻倍,由 0.15 mm 增加至 0.3 mm。

经过改进后,注塑的制件表面外观良好(见图 11 中改善后制件照片),得到客户的认可。

3 结语

(1) 制件结构中出现通孔、筋位、doghouse、盲孔等结构时,免喷涂金属质感改性塑料在注塑过程中其流痕及熔接线缺陷很容易出现。

(2) 在三种浇口结构设计中,轮辐式浇口对应的制件外观最好,其次是潜伏式浇口,最差的是搭底浇口。另外,在浇口确定的情况下,调整注射速度可以在一定程度上改善浇口处缺陷的产生,需具体情况具体对待。

(3) 在筋位结构中,筋位处流痕的产生与筋位厚度和走向息息相关。筋位厚度越薄,越不易产生流痕缺陷,筋位走向垂直流动方向,也不易产生流痕缺陷,当筋位厚度/制件壁厚 < 0.4 时,无论筋位走向如何,流痕缺陷都会基本消除。

(4) 在 doghouse 结构中,该结构对流痕缺陷的影响,可以拆分成三个筋位分别进行分析,筋位壁厚及走向对流痕的影响同样适用,只是相同的条件下,由于三条筋位边是连通的,在填充过程中,doghouse 结构筋位产生的流痕更加严重。

(5) 在盲孔结构中,随着盲孔壁厚的增加,相应流痕缺陷会慢慢变短变淡。通过配合工艺参数的调整,可以实现盲孔处缺陷的减弱甚至消除。

(6) 在皮纹结构中,皮纹结构对熔接线缺陷具有一定的遮盖作用,相对于网格皮纹,拉丝皮纹对于熔接线的遮盖作用更好。

参考文献

- [1] 黄晓靖. 2014 中国设计趋势展望[J]. 中国广告, 2014(3):30-31.
Huang Xiaojing. Prospect of Chinese design trend in 2014[J]. Chinadvertising, 2014(3):30-31.
- [2] 林洁龙, 杨波, 丁正亚, 等. 免喷涂外观美学树脂的应用[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(10):36-40.
Lin Jielong, Yang Bo, Ding Zhengya, et al. Applied of paint-free resin with aesthetics exterior[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(10):36-40.
- [3] 袁海兵. 铝颜料在免喷涂聚丙烯复合材料中的应用研究[J]. 广东化工, 2013, 40(10):38-39.
Yuan Haibing. Applied Research of aluminum pigment in the spray-free polypropylene composites[J]. Guangdong Chemical Industry, 2013, 40(10):38-39.
- [4] 段继伟, 段红珍, 车呈芳. 纳米片状铝粉颜料的制备及应用进展[J]. 辽宁化工, 2007, 36(5):334-336.
Duan Jiwei, Duan Hongzhen, Che Chengfang. Advances in research on preparation and applications of the nano-sheetlike aluminium powders[J]. Liaoning Chemical Industry, 2007, 36(5):334-336.
- [5] 孟征, 孙兆懿, 贺芳, 等. 高光免喷涂 ABS/PMMA 合金研究进展[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(2):134-139.
Meng Zheng, Sun Zhaoyi, He Fang, et al. Advance in research of ABS/PMMA alloy with high-gloss and free-spraying[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(2):134-139.
- [6] 董前年, 张彩云, 徐瞳瞳, 等. 铝颜料的分类及其在塑料行业中应用概述[J]. 山东化工, 2015, 44(15):95-98.
Dong Qiannian, Zhang Caiyun, Xu Tongtong, et al. The classification of aluminum pigments and its application in plastics industry[J]. Shandong Chemical Industry, 2015, 44(15):95-98.
- [7] 莫荣强, 雷春堂. 家电壳体用高分子材料及其应用技术的发展趋势[J]. 塑料工业, 2019, 47(2):6-10.
Mo Rongqiang, Lei Chuntang. Development trend of polymer materials and application for household appliances shell[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(2):6-10.
- [8] 王斌, 周霆, 董建廷, 等. 不同加工工艺对 ABS 金属闪光效果影响的研究[J]. 工程塑料应用, 2010, 38(10):40-43.
Wang Bin, Zhou Ting, Dong Jianting, et al. Study on effect of processing conditions on metallic flashing color of ABS[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(10):40-43.
- [9] 刘瑾, 胡先海, 陈敬之. 水性铝颜料的制备工艺研究[J]. 新技术新工艺, 2008(9):83-86.
Liu Jin, Hu Xianhai, Chen Jingzhi. Study on the preparation technology of water-based aluminum pigment[J]. New Technology & New Process, 2008(9):83-86.
- [10] Hashizume Y, Nakao T. Aluminum pigment, process for its production and resin composition containing the same: US6602339[P]. 2003-08-05.
- [11] 梁耀文, 张军, 胡新国. 免喷涂材料浅析及在冰箱的应用研究[C]//2017 年中国家用电器技术大会论文集. 北京: 中国家用电器协会, 2017:109-117.
Liang Yaowen, Zhang Jun, Hu Xinguo. Study on the application of free-painting material in refrigerator[C]//Proceedings of 2017 China household electrical appliances technology conference. Beijing: China Household Electrical Appliances Association, 2017:109-117.
- [12] 周启花, 张扬, 雷明辉. 免喷涂材料及其应用概述[J]. 广东化工, 2019, 46(16):94-96.
Zhou Qihua, Zhang Yang, Lei Minghui. Overview of spray-free materials and their applications[J]. Guangdong Chemical Industry, 2019, 46(16):94-96.
- [13] 闵成勇. 铝粉填充改性 ABS 树脂复合材料的研究[D]. 广州:

广东工业大学,2013:72-76.

Min Chengyong. Research on modified ABS composites with aluminum powder filling[D]. Guangdong:Guangdong University of Technology, 2013:72-76.

- [14] Malduarnera S C, Manisali A I, Riggs D C. Weld line structures and properties in injection molded polypropylene[J]. Polymer Engineering & Science, 1981, 21(17):1 149-1 155.

- [15] Patcharaphun S, Jariyatammanukul P. The effect of thickness on the weld-line strength of injection molded thermoplastic composites[J]. Polymerplastics Technology and Engineering, 2010, 49(13):1 305-1 309.

- [16] 吴掇, 杨亚娣, 余俊宝. 免喷涂金属质感改性塑料成型工艺优化[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(8):71-86.

Wu Luo, Yang Yadi, Yu Junbao. Optimization of molding process for spray-free metallic plastics[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(8):71-86.

- [17] 徐东东. 基于 Moldflow 的免喷涂塑料在电水壶外壳上的仿真

研究[J]. 塑料工业, 2017, 45(12):63-66.

Xu Dongdong. Simulation study of free-painting plastic on kettle shell base on Moldflow[J]. China Plastics Industry, 2017, 45(12):63-66.

- [18] 江毅, 肖任贤. 注塑件熔接痕产生机理及控制方法的研究[J]. 材料科学, 2009, 61(4):61-63.

Jiang Yi, Xiao Renxian. Study on Forming mechanism and controlling methods of weld line on injection molding parts[J]. Material Sciences, 2009, 61(4):61-63.

- [19] Zhai M, Lam Y C, Au C K. Runner sizing and weld line positioning for plastics injection moulding with multiple gates[J]. Engineering with Computers, 2006, 21:218-224.

- [20] Chen Meiyung, Chen Yicheng, Chen Shichung. Fuzzy control on manufacturing welding systems: To apply fuzzy theory in the control of weld line of plastic injection-molding[M]//Bai Ying, Zhuang Hanqi, Wang Dali. Advanced fuzzy logic technologies in industrial applications. London:Springer, 2006:315-324.

(上接第38页)

- [9] 李泽国, 李毕忠. 高性能复合抗菌剂在抗菌塑料上的应用[J]. 新材料产业, 2009(9):58-61, 74.

Li Zeguo, Li Bizhong. Application of high performance composite antibacterial agents in antibacterial plastics[J]. Advanced Materials Industry, 2009(9):58-61, 74.

- [10] 刘伟时. 抗菌纤维的发展及抗菌纺织品的应用[J]. 化纤与纺织技术, 2011, 40(3):22-27.

Liu Weishi. Development of antibacterial fibers and application of antibacterial textiles[J]. Chemical Fiber & Textile Technology, 2011, 40(03):22-27.

- [11] 马洁, 张瑞寅. 含铜抗菌纤维[J]. 合成纤维, 2016, 45(12):6-8, 17. Ma Jie, Zhang Ruiyin. Copper containing antibacterial fiber[J]. Synthetic Fiber in China, 2016, 45(12):6-8, 17.

- [12] 陈丹, 徐晓玲, 段惺, 等. 铜纳米粒子的可控制备及其抗菌性能研究[J]. 功能材料, 2012, 43(6):803-805.

Chen Dan, Xu Xiaoling, Duan Xing, et al. Controlled preparation and antibacterial properties of Copper nanoparticles[J]. Journal of Functional Materials, 2012, 43(6):803-805.

- [13] 秦益民. Cupron 铜基抗菌纤维的性能和应用[J]. 纺织学报,

2009, 30(12):134-136.

Qin Yimin. Properties and application of Cupron Cu-based antibacterial fiber[J]. Journal of Textile Research, 2009, 30(12):134-136.

- [14] 柏志飞, 杜海涛, 李起龙, 等. 色母对 PBT 熔融结晶及力学性能的影响[J]. 现代传输, 2019(2):71-73.

Bai Zhifei, Du Haitao, Li Qilong, et al. Effect of color masterbatch on melting crystallization and mechanical properties of PBT[J]. Modern Transmission, 2019(2):71-73.

- [15] 葛铁军, 吴姝. 导热聚对苯二甲酸丁二醇酯的制备及不同成核剂对其结晶性能的影响[J]. 化工新型材料, 2019, 47(6):152-155.

Ge Tiejun, Wu Shu. The preparation of thermal conductive polybutylene terephthalate and the influence of different nucleating agents on its crystallization property[J]. New Chemical Materials, 2019, 47(6):152-155.

- [16] 李珊珊, 乔辉, 丁筠, 等. 酞菁蓝颜料对 PET 结晶性能的影响[J]. 现代塑料加工应用, 2018, 30(2):42-44.

Li Shanshan, Qiao Hui, Ding Yun, et al. Effect of phthalocyanine blue pigment on crystallization property of PET[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2018, 30(2):42-44.