

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.06.013

PA66注塑件组装过程开裂的分析及措施

段凯歌, 陈章成, 王朝, 朱辉, 泮豪, 郑拾玉, 郭献级

(浙江曼瑞德舒适系统有限公司, 浙江温州 325000)

摘要: 尼龙66 (PA66)注塑件在冬季组装过程中容易出现开裂现象,影响产品外观质量,分别从注塑前原料的预处理、注塑工艺参数控制(包括料筒温度、喷嘴温度、模具温度、注射压力、保压时间)和注塑后的调湿工艺这几个方面对出现的开裂原因进行了分析。结果表明,注塑件的预处理和注塑工艺满足要求,但缺少注塑后的调湿工艺,冬季组装过程易开裂是由于注塑件注塑后的含水率极低,冬季外界环境湿度较小,注塑件在短时间不能吸收到足够的水分,相应的抗冲击能力较差,无法承受组装过程的冲击力而出现开裂现象。针对这一问题,采用了两种不同的调湿工艺(水煮处理和恒温恒湿处理)对质量分数20%玻璃纤维增强PA66 (PA66/20%GF)材料进行处理,分别研究了这两种工艺对PA66/20%GF材料吸水率及弯曲性能和简支梁冲击性能的影响。结果表明,恒温恒湿处理的材料吸水率较低,故弯曲性能稍有降低、冲击性能稍有提升;水煮工艺能大幅度提升材料吸水率,材料的缺口冲击强度因此得到大幅度提升,但弯曲性能下降比较明显。两种工艺均能解决注塑件开裂问题,恒温恒湿工艺耗费时间较长,可应用于需要保留较高弯曲性能的场合,而水煮工艺可大幅缩短调湿时间(95 °C, 0.5 h),适合对抗冲击要求较高的场合。

关键词: 尼龙66 注塑件; 开裂; 吸水率; 弯曲性能; 简支梁冲击性能

中图分类号: TQ171 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)06-0080-05

Analysis and Measures for Cracking of PA66 Injection Molded Parts in Assembly Process

Duan Kaige, Chen Zhangcheng, Wang Chao, Zhu Hui, Pan Hao, Zheng Shiyu, Guo Xianji

(Zhejiang Menred Comfort System Co., Ltd., Wenzhou 325000, China)

Abstract : In winter, nylon 66 (PA66) injection molded parts are prone to cracking in assembly process, which affects the appearance quality of the product. The reasons for the cracking were analyzed from the aspects of pre-treatment of raw materials before injection molding, controlling of injection molding process parameters (including barrel temperature, nozzle temperature, mould temperature, injection pressure and holding time) and humidity controlling process after injection molding. The results show that the pre-treatment and injection molding process of the injection molded parts meet the requirements, but there is a lack of humidity controlling process after injection molding. The injection molded parts are prone to cracking during the winter assembly process due to the extremely low water content after injection molding. The humidity of the external environment is low in winter, so the injection molded parts cannot absorb enough water in a short period of time, resulting in poor impact resistance, and cannot withstand the impact force of the assembly process, leading to cracking. In response to this problem, two different humidity controlling processes were used to treat 20 wt% glass fiber reinforced PA66 (PA66/20%GF) material, including boiling treatment and constant temperature and humidity treatment. The effects of the two humidity controlling processes on the water absorption, bending and Charpy impact properties of PA66/20%GF material were studied. The results indicate that the material treated by constant temperature and humidity process has low water absorption, resulting in a slight decrease in bending property and a slight improvement in impact resistance. The boiling process can significantly improve the water absorption, so enhance the impact resistance and significantly decrease the bending property. The two processes can solve the cracking problem of the injection molded parts. Constant temperature and humidity process takes a long time and can be used for occasions needing to retain higher bending property. However, the boiling process can greatly shorten the humidity controlling time (0.5 h at 95 °C) and is suitable for occasions with high impact resistance requirements.

Keywords : nylon 66 injection molded parts ; cracking ; water absorption ; bending property ; Charpy impact property

通信作者: 段凯歌, 硕士, 主要研究方向为高分子材料

收稿日期: 2023-03-23

引用格式: 段凯歌, 陈章成, 王朝, 等. PA66注塑件组装过程开裂的分析及措施[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(6): 80-84.

Duan Kaige, Chen Zhangcheng, Wang Chao, et al. Analysis and measures for cracking of PA66 injection molded parts in assembly process [J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(6): 80-84.

尼龙66 (PA66)由己二酸和己二胺缩聚而成,是一种优良的工程塑料^[1-4],其综合性能优良,具有强度高、硬度大、刚性好、抗冲击性好、抗蠕变性能好、模量高以及耐腐蚀、耐油、耐热、耐磨和自润滑等优点^[5-8],而且原料易得,成本低,因此广泛应用于服装、装饰、工业工程等领域^[9-13]。为了进一步提高PA66产品的强度,通常在PA66材料中添加玻璃纤维(玻纤)进行改性^[14-16],在提高材料强度的同时还可以减小其收缩率。玻纤含量的添加可以根据客户需要进行调整,常见的玻纤添加量有20%,30%,40%,50%等(均为质量分数)。目前,PA66在车辆上的应用已占到63%左右,在电子电气方面和办公自动化设备上的应用占比达到22%,在机械、光学方面的应用占到5%,因此,PA66复合材料的市场销售增长很快。近年来,随着汽车、电器、通讯、电子、机械等产业的迅速发展,对PA66产品注塑工艺的要求越来越严苛,工艺控制不好则会使产品表面容易出现裂纹、气孔和银纹等现象。笔者在组装一款质量分数20%玻纤增强PA66 (PA66/20%GF)注塑件时发现,注塑件注塑后的表面无异常,但在组装过程中受到外力出现了开裂现象,如图1所示。注塑件开裂不仅会影响产品外观,更重要的是会降低使用寿命,严重的可能造成质量事故,因此必须要找到开裂产生的原因,才能采取有效措施加以消除。

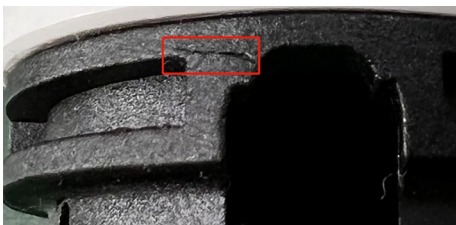


图1 PA66/20%GF注塑件开裂现象

1 PA66注塑工艺要点及组装过程开裂原因分析

1.1 注塑前原料预处理的要点

尼龙类材料对注塑工艺要求严格,注塑前需要进行原料的干燥。干燥处理时需选择合适的干燥的温度和时间:若干燥的温度过高,会引起原料氧化分解,干燥温度过低,除水效率较低;干燥的时间过长,会使原料发生氧化,颜色变黄,干燥时间过短又会达不到除湿的目的。

原料的干燥可以采用鼓风干燥箱和真空干燥箱设备,其中采用鼓风干燥箱干燥PA66原料时的温度通常控制在80~100℃,时间为8~12 h,以除去原料中的水分,使含水率控制在0.1%以下,避免在注

塑过程中出现气泡现象,影响制品外观及力学性能。

1.2 注塑工艺参数控制要点

注塑工艺参数主要分为温度、压力和时间,温度包括料筒温度、喷嘴温度和模具温度等,注射压力和保压时间对注塑件的性能和外观有非常重要的影响,对这些工艺参数的控制要点现分述如下。

由于PA66原料的热稳定性较差,料筒温度不易过高,一般略高于原料的熔融温度即可,但对于玻纤增强的PA66,温度须高于纯的原料,这样可以使原料更好的塑化,增加物料的流动性,保证产品表面质量和性能。通常料筒温度设置如下:喂料区270~285℃,压缩区280~290℃,计量区275~285℃。

喷嘴温度需要单独控制,即单独装设加热器,这也是尼龙类材料注塑过程中必须具备的条件之一。喷嘴温度应稍微低于料筒的后段温度,但是也不能过低,过低会导致物料在喷嘴中过早冷却而堵塞射孔,或者即使熔体能进入模腔也容易造成冷料的痕迹,故通常喷嘴的温度为260~270℃。

模具温度对制品质量影响很大,且尼龙材料是结晶性较高的材料,物料在模腔中冷却时会伴随着结晶并产生较大的收缩。模具温度较低时,产品的结晶度低、伸长率高、韧性较好;模具温度较高时,产品的结晶度会比较高,硬度变大,弹性模量增大,耐磨性较好,吸水率变低,但收缩率会稍有增大。模具温度的选择应该根据产品的形状和壁厚来确定,对于形状比较复杂且壁厚的产品,模具温度应该选择低值,以防止产品产生气泡或者凹陷的情况,而对于形状简单且壁薄的产品,采用高模具温度有利于熔体能够充满模腔,防止熔体出现过早凝固的现象。通常模具温度控制在60~80℃。

注射压力,是指在注射时,螺杆或柱塞端面施加于熔料单位面积上的压力。在注射的过程中,选择注射压力时,应考虑注塑的制品不容易产生粘模和飞边。对于厚的制品,宜选择较低的注射压力和较高的注射速率,注射压力为60~150 MPa。

成型周期中的保压时间控制十分重要,对于PA66材料来讲,由于熔体温度比较高,若设定的保压时间太长可能会引起脱模困难,而保压时间过短可能会引起制品收缩率增大,影响产品外观及性能,一般保压时间按照6 mm壁厚需用1 min左右时

间进行保压的方法来估算。

1.3 注塑后调湿工艺要点

尼龙产品在注塑后含水率极低,小于0.1%。可以将尼龙产品在湿度为65%的条件下放置一段时间,从而使产品达到平衡吸湿量的过程,常用的加热介质为乙酸钾水溶液或热水,温度80~100℃,处理时间8~16 h,用这种方法调湿处理所耗费的时间较长,生产效率较低,且调试的均匀性较差。另外一种方法是将注塑好的产品放入热水中煮2 h后,再自然冷却半小时,使制品在较短的时间内达到吸水平衡,避免在空气中缓慢吸水而引起尺寸的连续变化,对减小注塑件的内应力有利,能防止脆性断裂,且水煮过程中产品与空气隔离,不会造成产品表面因接触氧气而氧化变色的情况。

1.4 注塑件开裂原因分析

笔者使用的PA66/20%GF注塑件由两部分组成:上端为双头螺纹,可用于自动控制系统的开启,做导程导向使用;下方为内外卡扣结构,内卡扣用于固定主要核心部件,外卡扣用于螺纹圈的限位,中心直通空心,可由指示部件上下运动并做行程指示显示。该注塑件在组装过程中易出现开裂,在冬季时这种开裂现象出现得更为频繁,严重影响了产品质量,故查找开裂原因非常重要。根据前述的各阶段工艺要点,核查该PA66注塑件的注塑工艺,发现原料注塑前在80℃的鼓风干燥箱中干燥8 h,料筒温度为喂料区275℃、压缩区285℃、计量区280℃,喷嘴温度为280℃,模具温度为60℃,注射压力为70 MPa,保压时间为15 s。由此可以得出,无论是注塑前原料的干燥处理还是注塑时的工艺参数控制,都在要求范围之内,但缺少了注塑后的调湿处理程序,注塑完直接进行组装工作,从而导致产品因内应力过大而开裂。所以,为了解决这种开裂现象,需采用合适的调湿工艺,为此,笔者采用了恒温恒湿处理和水煮两种调湿工艺,对比了这两种调湿工艺对PA66/20%GF吸水率和力学性能的影响,为解决PA66注塑件的开裂问题提供借鉴。

2 实验部分

2.1 主要原料

PA66/20%GF材料:市售。

2.2 主要设备及仪器

实验用注塑机:WZS10D型,上海新硕精密机械有限公司;

恒温恒湿箱:HSP-150BEII型,上海坤天实验室仪器有限公司;

恒温介质箱:JJTANK-01型,承德市金建检测仪器有限公司;

电子天平:FA2004型,上海佑科仪器仪表有限公司;

万能试验机:XWW-20T型,承德市金建检测仪器有限公司;

复合式冲击试验机:HIT-2492型,承德市金建检测仪器有限公司。

2.3 试样制备

采用实验用注塑机注塑力学性能测试样条,弯曲性能测试样条(弯曲样条)尺寸为10 mm×4 mm×80 mm,缺口冲击强度测试样条(冲击样条)尺寸为10 mm×4 mm×80 mm(缺口深度2 mm,缺口类型A型),注塑工艺为:模具温度60℃,注塑温度280℃,保压时间10 s。

2.4 性能测试

弯曲性能测试:参考GB/T 2918-2018,首先对注塑好的5根弯曲样条进行状态调节40 h以上,调节环境为温度23℃、相对湿度50%;然后按GB/T 9341-2008用万能试验机测试样条的定挠度弯曲应力(挠度为厚度的1.5倍),测试条件为传感器500 N、试验速度2 mm/min。

冲击性能测试:参考GB/T 2918-2018,首先对注塑好的10根冲击样条进行状态调节16 h以上,调节环境为温度23℃、相对湿度50%;然后根据GB/T 1043.1-2008使用复合式冲击试验机测试样条的缺口冲击强度,测试条件为A型缺口、简支梁冲击模式、预扬角114°、摆锤能量5 J。

3 结果与讨论

3.1 恒温恒湿处理对PA66/20%GF材料吸水率和力学性能的影响

将PA66/20%GF原料注塑成弯曲样条和冲击样条,采用恒温恒湿箱在不同的恒温恒湿条件下分别进行预处理,预处理时间均为24 h,用电子天平称量预处理前后样条的质量变化,计算样条的吸水率,并测试了样条的定挠度弯曲应力和缺口冲击强度,测试结果见表1。

从表1可以看出,随湿度的增加,恒温恒湿处理后材料吸水率呈现缓慢增加的趋势,由于吸水后材料的韧性增强,材料的柔性变好,相应的定挠度弯

表1 23℃下恒温恒湿24 h处理PA66 GF20%的吸水率及力学性能

序号	相对湿度/%	吸水率/%	定挠度弯曲应力/MPa	缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)
1	30	0.09	164.05	8.91
2	40	0.14	163.95	9.01
3	50	0.23	162.67	9.11
4	60	0.26	154.63	9.24
5	70	0.30	152.89	9.50
6	80	0.44	151.79	9.54

曲应力逐渐减小,缺口冲击强度不断增大,但总体来看,减小和增大的幅度都较小。采用恒温恒湿处理,材料的吸水平衡所需要的时间较长,吸水率增大不是很明显,因此弯曲性能和冲击性能的变化也不太明显。

3.2 水煮处理对PA66/20%GF材料吸水率和力学性能的影响

将PA66/20%GF原料注塑成弯曲样条和冲击样条,采用恒温介质箱在95℃的水中分别将样条煮不同的时间,用电子天平称量水煮前后样条的质量变化,计算样条的吸水率,并测试了样条的定挠度弯曲应力和缺口冲击强度,结果见表2。

表2 95℃下水煮处理PA66 GF20%的吸水率及力学性能

序号	水煮时间/h	吸水率/%	定挠度弯曲应力/MPa	缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)
7	0.5	1.384	98.48	15.03
8	1.0	2.086	85.74	18.02
9	2.0	2.823	71.90	21.36
10	3.0	3.290	63.97	25.13
11	3.5	3.653	62.54	25.54
12	4.0	3.655	62.32	25.31

从表2可以看出,随水煮时间从0.5 h增加到4 h,材料的吸水率从1.384%增加到3.655%,3.5 h和4 h的吸水率接近,说明在3.5 h时材料的吸水率已接近饱和,吸水后材料的韧性变好,定挠度弯曲应力变小,而对应的缺口冲击强度从15.03 kJ/m²增加到25.31 kJ/m²,材料的冲击性能有了很大的提升。

3.3 PA66注塑件组装过程开裂的解决措施

PA66注塑件组装过程尤其是冬季组装过程易开裂,主要是因为注塑件注塑后含水率极低,小于0.1%,而冬季外界环境湿度较小,注塑件不能吸收到充足的水分,材料的抗冲击能力较差,无法承受组装过程的冲击力而出现开裂现象。因此,为了解决注塑件在组装过程出现的开裂现象,笔者采取了2种注塑后的调湿方案进行尝试:第一,将注塑好的1 000个注塑件放入温度23℃、相对湿度50%的恒温恒湿箱中预处理24 h,之后再行组装试验;第

二,将注塑好的1 000个注塑件放入95℃的水中煮0.5 h,之后进行组装试验。以上2种方案所组装的全部产品未出现破裂现象,证明笔者对于开裂原因分析合理,采取的2种措施均能有效解决PA66注塑件组装过程的开裂问题。但从表1和表2可以看出,恒温恒湿处理后PA66 GF20%材料的吸水率相对较低,故冲击性能的变化相对较小,而弯曲性能得到较好保持;水煮后PA66 GF20%材料的吸水率得到大幅度提升,相应的冲击性能提升明显。综合来看,恒温恒湿调湿耗费时间较长,可用于需要保留较高弯曲性能的场合,而水煮工艺可大大缩短调湿时间,适合对抗冲击要求较高的场合。

4 结论

(1)对于PA66注塑件组装过程中出现的开裂原因,分别从注塑前原料的预处理、注塑工艺参数控制和注塑后的调湿工艺等方面进行了分析。

(2)由于注塑件注塑结束后未进行调湿,含水率极低,相应的抗冲击能力较差,无法承受组装过程的冲击力,从而产生了开裂现象。

(3)采用水煮和恒温恒湿处理两种不同的调湿工艺对PA66材料进行处理,发现采用恒温恒湿调湿工艺处理材料时,吸水率随湿度的增加缓慢提升,故弯曲性能和冲击性能变化也较小;水煮工艺能大幅度提升材料吸水率,相应的冲击性能得到大幅度提升,但弯曲性能下降也比较明显。

(4)两种调湿工艺均能解决PA66注塑件组装过程的开裂问题。恒温恒湿工艺调湿耗费时间较长,可用于需要保留较高弯曲性能的场合,而水煮工艺可大幅缩短调湿时间,适合对抗冲击要求较高的场合。

参考文献

- [1] 左雄志. 国内聚酰胺66产业链发展现状与展望[J]. 合成纤维工业, 2022, 45(5): 75-79.
Zuo Xiongzi. Development status and prospect of polyamide 66 industrial chain in China[J]. China Synthetic Fiber Industry, 2022, 45(5): 75-79.
- [2] 李传斌, 陈巍, 程德康, 等. 聚酰胺66聚集态结构转变的研究[J]. 塑料工业, 2018, 46(6): 23-27.
Li Chuanbin, Cheng Wei, Chen Dekang, et al. Study on the aggregation structure transition of polyamide 66[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(6): 23-27.
- [3] Fryer C, 王毅. 聚酰胺6和聚酰胺66开发初期[J]. 国际纺织导报, 2021, 49(5): 2-3.
Fryer C, Wang Yi. Early development of polyamide 6 and polyamide 66 [J]. Melliand China, 2021, 49(5): 2-3.

- [4] 周雷. PA66产品尺寸稳定性的影响因素[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(1):126-131.
Zhou Lei. Influencing factors on dimensional stability of PA66 products[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(1):126-131.
- [5] 刘畅, 刘可, 李圆圆, 等. PA66/6的制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(1):1-7.
Liu Chang, Liu Ke, Li Yuanyuan, et al. Preparation and properties of co-polyamide 66/6[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(1):1-7.
- [6] 王佳臻, 崩平宇, 刘会敏, 等. 国内尼龙6、尼龙66产业的发展现状[J]. 合成纤维, 2021, 50(3):8-11.
Wang Jiazhen, Kuai Pingyu, Liu Huimin, et al. Development status of nylon 6 and nylon 66 in China[J]. Synthetic Fiber in China, 2021, 50(3):8-11.
- [7] 魏馨. PA6/PA66共聚酰胺及其纤维制备与结构、性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2022.
Wei Xin. Preparation, structure and properties of PA6/PA66 copolyamide and its fibers[D]. Shanghai: Donghua University, 2022.
- [8] 龚继辽, 文健, 刘滨滨, 等. 单环氧化物接枝改性PA6材料的制备及其性能研究[J]. 中国塑料, 2019, 33(6):1-7.
Gong Jiliao, Wen Jian, Liu Binbin, et al. Preparation and properties of monoepoxy compound-grafted polyamide 6[J]. China Plastics, 2019, 33(6):1-7.
- [9] 李益仁, 汤廉, 吉鹏, 等. 11-氨基十一酸改性PA6的制备及性能研究[J]. 合成纤维, 2018, 47(3):20-25.
Li Yiren, Tang Lian, Ji Peng, et al. Preparation and characterization of PA6 modified by 11-aminoundecanoic acid[J]. Synthetic Fiber in China, 2018, 47(3):20-25.
- [10] 周心宇, 石伟, 刘侨. 四苯乙烯交联型聚酰胺的固相合成及其物化性质分析[J]. 合成化学, 2021, 29(1):76-80.
Zhou Xinyu, Shi Wei, Liu Qiao. Solid-state synthesis and physicochemical properties of crosslinked polyamide with tetraphenylethene skeleton[J]. Chinese Journal of Synthetic Chemistry, 2021, 29(1):76-80.
- [11] 郭红. POE-g-MAH的制备及其改性PA6的研究[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2019.
Guo Hong. Preparation of POE-g-MAH and study on its modification of PA6[D]. Shenyang: Liaoning University, 2019.
- [12] 王雪梅, 李发学, 俞建勇. D-山梨醇改性PA6及其等温结晶动力学[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2020, 46(6):857-861, 873.
Wang Xuemei, Li Faxue, Yu Jianyong. Modification of PA6 by D-sorbitol and its isothermal crystallization kinetics[J]. Journal of Donghua University (Natural Science Edition), 2020, 46(6):857-861, 873.
- [13] 汤杰. 尼龙6/66原位共聚物的序列分布、结晶行为及其反应动力学研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2018.
Tang Jie. Study on sequence distribution, crystallization behavior and reaction kinetics of in-situ copolymer of nylon 6/66[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2018.
- [14] 张九夫, 罗开强, 徐军, 等. 长玻璃纤维增强PA66复合材料的综合性能及其影响因素研究[J]. 中国塑料, 2022, 36(3):1-8.
Zhang Jiufu, Luo Kaiqiang, Xu Jun, et al. Study on comprehensive properties and influencing factors of long glass fiber reinforced PA66 composites[J]. China Plastics, 2022, 36(3):1-8.
- [15] 张青, 张雨溪, 张斌, 等. 纳米二硫化钼制备及对PA66的改性[J]. 工程塑料应用, 2022, 50(3):147-152.
Zhang Qing, Zhang Yuxi, Zhang Bin, et al. Preparation of nanomolybdenum disulfide material and its modification to PA66[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(3):147-152.
- [16] 郭斌, 李军艳. 聚酰胺改性的研究进展[J]. 煤炭与化工, 2021, 44(8):123-126, 138.
Guo Bin, Li Junyan. Research progress of polyamide modification[J]. Coal and Chemical Industry, 2021, 44(8):123-126, 138.

(上接第72页)

- Wang Shangying, Qin Yuzhi, Zhou Chuan. Optimization design of injection mold for automobile air guide plate based on moldflow software[J]. Die & Mould Manufacture, 2021, 21(1):50-54.
- [11] 吴俊超. 基于Moldflow的汽车仪表板大型塑件注塑模工艺优化[J]. 中国塑料, 2021, 35(12):121-128.
Wu Junchao. Process optimization of injection mold for large plastic parts of automobile dashboard based on Moldflow[J]. China Plastics, 2021, 35(12):121-128.
- [12] 赵选民. 试验设计方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006:64-84.
Zhao Xuanmin. Experiment design method[M]. Beijing: Science Press, 2006:64-84.
- [13] 申长雨. 注射成型模拟及模具优化设计理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2009:1-10.
Shen Changyu. Injection molding simulation and mold optimization design: Theory and methods[M]. Beijing: Science Press, 2009:1-10.
- [14] 刘锋, 庞建军, 陈宇轩, 等. 基于Taguchi与BPNN-PSO的薄壁注塑件翘曲变形优化[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(2):74-79.
Liu Feng, Pang Jianjun, Chen Yuxuan, et al. Optimization of warpage deformation of thin-wall injection molded part based on taguchi test and BPNN-PSO[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(2):74-79.
- [15] 王超房, 黄明, 赵振峰, 等. 基于预变形的长条状注塑制品翘曲控制[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(8):46-49.
Wang Chaofang, Huang Ming, Zhao Zhenfeng, et al. Warpage control of injection-molded strip-like plastic parts based on pre-deformed design[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(8):46-49.
- [16] 朱成兵, 江子斌, 李金国. 基于反翘曲变形技术的空调导风板优化分析[J]. 塑料科技, 2018, 46(4):99-102.
Zhu Chengbing, Jiang Zibin, Li Jinguo. Optimization analysis of air deflector based on reverse warpage deformation technology[J]. Plastics Science and Technology, 2018, 46(4):99-102.