

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.01.015

汽车仪表板骨架微孔发泡塑件的综合性能

任建平^{1,2,3}, 郑贝贝¹, 傅莹龙¹, 胡富足², 蒋晶³, 李倩³

(1. 台州科技职业学院模具研究所, 浙江台州 318020; 2. 台州市黄岩星泰塑料模具有限公司, 浙江台州 318020;

3. 郑州大学微纳成型技术国际联合研究中心, 郑州 450001)

摘要: 为了研究微孔发泡在大型塑件中的应用问题, 以汽车仪表板骨架塑件为例, 利用 Moldflow 软件模拟分析微孔发泡注塑和传统注塑成型。结果表明, 微孔发泡注射成型在注塑时间、注塑压力、体积收缩和翘曲变形等方面均好于传统注塑成型。通过对塑件泡孔形貌、密度、孔隙率、力学强度、表面粗糙度等性能的检测, 研究微孔发泡实际应用问题。检测结果表明, 微孔发泡能够有效实现产品减重, 且产品力学性能优于传统注塑, 但表面粗糙度较传统注塑差, 汽车外观零件如采用微孔发泡成型须经过表面处理来改善表面缺陷。

关键词: 仪表板骨架; 微孔发泡; 孔隙度

中图分类号: TQ320.52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)01-0075-06

Comprehensive Performance of Microcellular Foamed Plastic Parts of Automobile Instrument Panel Frame

Ren Jianping^{1,2,3}, Zheng Beibei¹, Fu Yinglong¹, Hu Fuzhu², Jiang Jing³, Li Qian³

(1. Mould Research Institute, Taizhou Vocational College of Science and Technology, Taizhou 318020, China;

2. Taizhou Huangyan Xingtai Plastic Mould Co., Ltd., Taizhou 318020, China;

3. National International Joint Research Center of Micro-Nano Moulding Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to study the application of microcellular foaming in large plastic parts, with the automobile dashboard frame plastic parts as an example, Moldflow software was used to simulate and analyze microcellular foam injection molding and ordinary injection molding. The results show that microcellular foam injection molding is better than traditional injection molding in terms of injection time, injection pressure, volume contraction and warping deformation. The practical application of microcellular foam was studied by examining the properties of plastic foam, such as density, porosity, mechanical strength, surface roughness, etc. The results show that microcellular foam can effectively reduce the weight of the product, and the mechanical property of the product is better than that of traditional injection molding, but the surface roughness is worse than that of traditional injection molding. If the auto appearance parts are formed by microcellular foam, surface treatment must be carried out to improve the surface defects.

Keywords: instrument panel framework; microcellular foaming; porosity

与传统注塑塑件相比, 微孔发泡塑件具有成型压力小、密度小、隔音隔热效果佳等优点, 被广泛应用于新能源汽车、航空航天、医疗设备等领域^[1-3]。统计显示, 当现代汽车总质量每降低 10%, 燃油率提高约 7%; 车重每减少 100 kg, 百公里油耗可降低约 0.5 L^[4]。目前, 随着社会的发展和环保节能的需要, 汽车的轻量化已经成为时代潮流。随着汽车行业的快速发展, 汽车零部件的产品日新月异, 为了

发展汽车轻量化, 目前可符合轻量化的绿色射出成型工艺有薄壳射出成型^[5]、碳纤维射出成型^[6]、气体(液体)辅助射出成型^[7]、超临界微细发泡成型^[8]。其中超临界微细发泡的优点有: (1) 节省制造成本, 减重超过 10%; 与传统注塑相比料温和模温均可降低, 从而减少成型周期 20%; 另外较少射出量和采用低黏度熔融塑料, 可以选择小吨位注塑机, 这样发挥小机型可以制造大产品的工艺。(2) 有利于改善

基金项目: 2019 年度高校国内访问工程师项目 (FG2019217), 2019 年台州市科技计划项目 (1902gy37), 2021 年浙江省公益性项目 (LGG21E050001)

通信作者: 任建平, 副教授, 主要从事模具教学与塑料流动行为研究 E-mail: renlinbo411@163.com

收稿日期: 2020-10-31

引用格式: 任建平, 郑贝贝, 傅莹龙, 等. 汽车仪表板骨架微孔发泡塑件的综合性能 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(1):75-80.

Ren Jianping, Zheng Beibei, Fu Yinglong, et al. Comprehensive performance of microcellular foamed plastic parts of automobile instrument panel frame[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(1):75-80.

塑件质量,如改善平整度,减少翘曲、产品尺寸稳定性好、内应力小。(3)微孔发泡塑件设计更有发挥余地,与传统注塑相比无须担心凹痕,可以设计薄壁和厚加强筋^[9]。诸多优点导致超临界微细发泡成型在汽车轻量化领域中具有非常重要的应用价值。

微孔发泡在大型塑件上运用较少,为了发挥微孔发泡注射的产业化优势^[10-12],笔者以汽车仪表板骨架塑件为例,利用 Moldflow 软件模拟分析微孔发泡注塑存在的流动问题并进行工艺调式,通过对塑件泡孔形貌、孔隙度、力学强度、表面粗糙度等性能的检测,研究微孔发泡实际应用问题。

1 塑件结构和技术要求

汽车仪表板骨架塑件的结构如图 1 所示,材料为 20% 玻纤增强聚丙烯,塑件最大尺寸为 1217.00 mm×436.50 mm×323.00 mm,最大投影面积为 4541 cm²,体积为 2822 cm³,壁厚为 2.5 mm。该塑件尺寸大,壁较薄,属于大型薄壁塑件,塑件在各向异性的作用下体积收缩不均匀,导致产品翘曲变形较难达到技术要求。为了改善塑件翘曲变形又适应汽车轻量化的要求,可采用微孔发泡注塑成型技术。产品一模一腔,采用 13 点顺序阀点浇口进浇形式。塑件要求的各项技术指标如下:(1)表面无涡流痕、银纹、微泡及开孔,无缩痕、熔接痕、应力痕、冷料斑、飞边、毛刺等缺陷,MT3 精度等级。(2)相对常规注射,模具锁模力减少 10%,注塑压力 <50 MPa,成型周期减少 15%,模具制品减重 10%,改善制品变形 >30%,增强产品力学性能 15%。(3)模具各运动部件滑配间隙,生产时动定模各处冷却温差在 10℃ 范围内。

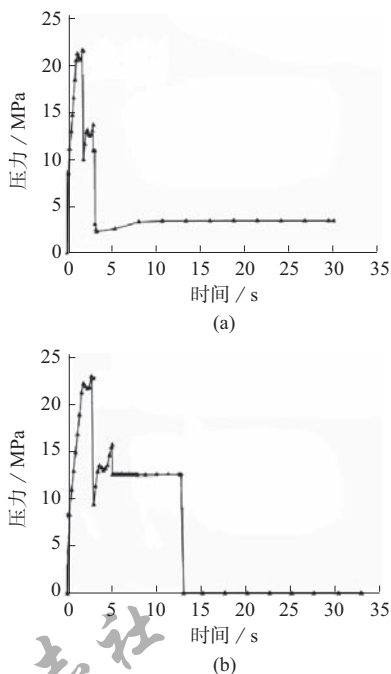


图 1 汽车仪表板骨架塑件结构

2 微孔发泡与传统注塑对比分析

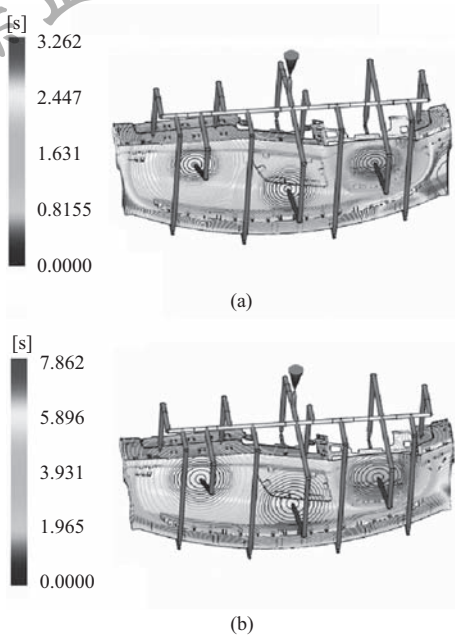
利用 Moldflow 软件对比分析了微孔发泡与传统注塑的注塑压力、充填时间、体积收缩和翘曲变形,如图 2~图 5 所示。

从图 2 可以看出,微孔发泡产品充填更加均匀,而传统注塑在产品充填末端时充填较为困难,导致注塑时间增加,生产周期延长。



a—微孔发泡, b—传统注塑

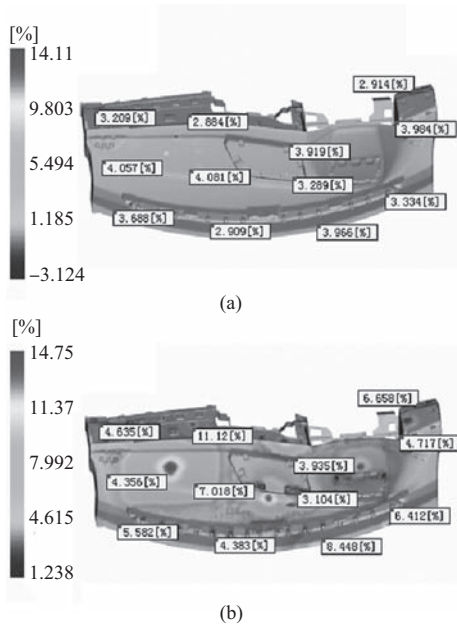
图 2 微孔发泡与传统注塑注塑压力对比



a—微孔发泡; b—传统注塑

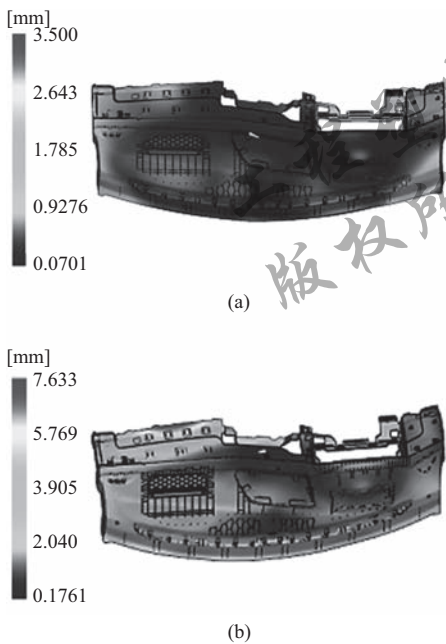
图 3 微孔发泡与传统注塑充填时间对比

从图 3 分析结果看,在传统注塑工艺条件下注射时间为 7.86 s,最高注塑压力为 22.75 MPa,保压时间为 8 s;微发泡工艺条件下注射时间为 3.2 s,最高注塑压力为 21.55 MPa,且无保压时间。若传统注塑在 3.2 s 时间的状态下,注塑压力将会大幅度增加,预计会到 50 MPa 左右。这是因为超临界



a—微孔发泡; b—传统注塑

图4 微孔发泡与传统注塑体积收缩对比



a—微孔发泡; b—传统注塑

图5 微孔发泡与传统注塑翘曲变形对比

流体加入到熔融塑料中降低了塑料黏度,提高了塑料的流动性,从而改善聚合物的可加工性。另外传统注塑需要采用保压才能确保塑料填满,防止翘曲,而微孔发泡成型由于超临界流体伴随熔融塑料在模具型腔中迅速膨胀,达到了普通注塑保压的效果。

从图4体积收缩率看,微孔发泡体积收缩均匀,而传统注塑体积收缩不均,若要优化到相对较为均匀的程度则需要较长的保压时间,从而增加生产周

期。然而微孔发泡工艺在无需保压过程就能够达到体积收缩均匀的状态,从而节省生产成本、节约时间,提高生产效率。

从图5体积收缩看,微孔发泡变形较小且更均匀,传统注塑由于体积收缩不均导致产品变形略大。

3 产品检测

为了解传统注塑与微孔发泡注射工艺、形貌、性能之间的关系,确保测试结果符合国家标准,针对样品不同区域进行水切割,如图6、图7所示,基于

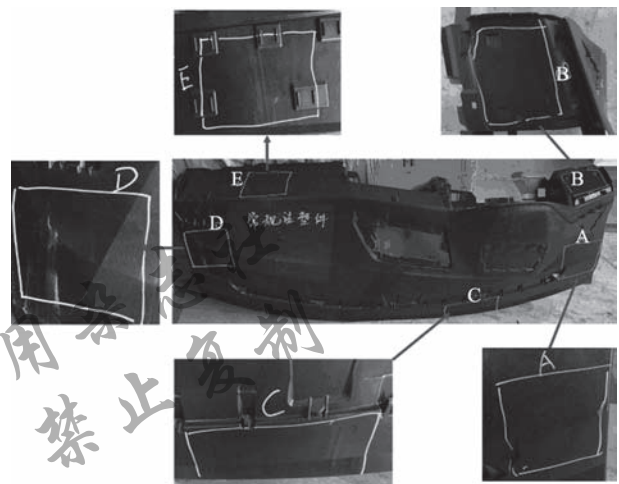
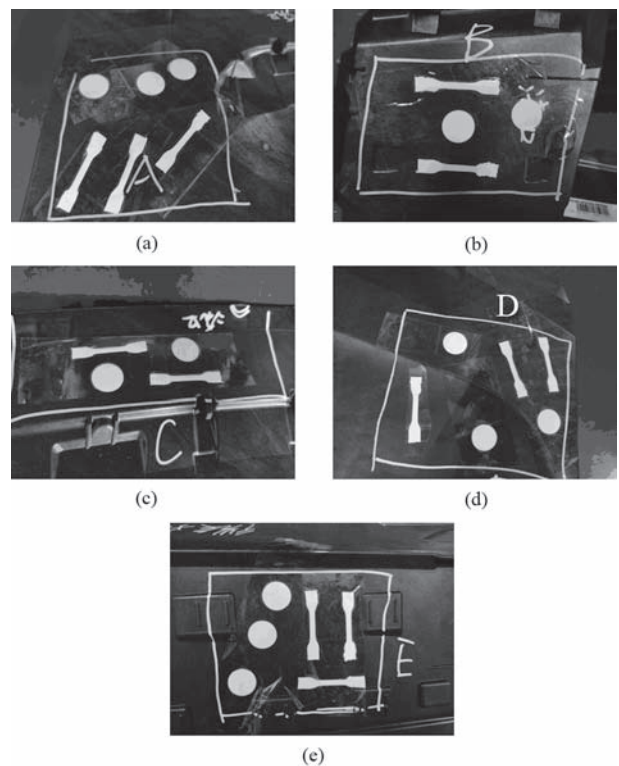


图6 取样位置



a—A 区域; b—B 区域; c—C 区域; d—D 区域; e—E 区域

图7 五处区域样品切割示意图

切割出的标准尺寸样品进行结构表征以及性能测试。

3.1 泡孔形态表征及尺寸统计

为了清楚地观察塑件泡孔相貌特征,采用扫描电子显微镜 (SEM) 观察样品 5 处断面微观结构,如图 8 所示。利用 Image-Pro Plus 软件计算 SEM 图

片中的泡孔尺寸和泡孔密度,结果见表 1。从图 8 和表 1 可以看出,泡孔呈无规则多边形,分布不均匀,五处测试区域平均泡孔尺寸在 3 μm 左右,泡孔密度平均在 1.42×10^5 个/cm²。泡孔较密集、均匀且无明显的泡孔合并,泡孔直径分布较集中,这说明泡孔结构是较为理想状态。

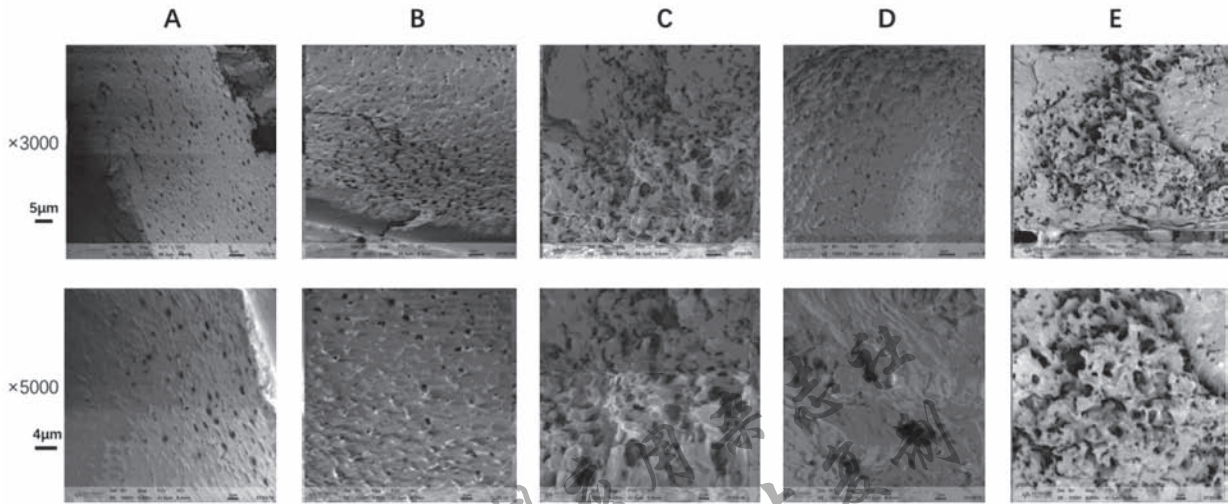


图 8 微孔发泡 SEM 图片

表 1 泡孔平均尺寸及泡孔密度统计结果

测试位置	平均泡孔直径 / μm	泡孔密度 / (个·cm ²)
A	2.09 ± 0.72	1.63×10^5
B	2.28 ± 0.89	1.68×10^5
C	4.07 ± 1.13	1.28×10^5
D	2.3 ± 1.08	1.28×10^5
E	3.88 ± 1.12	1.17×10^5

3.2 样品密度及孔隙率测试

产品的密度和孔隙率是微孔发泡材料的重要物理参数,尤其是在汽车轻量化技术领域。为了准确测量微孔发泡对产品性能的影响,采用 ULTRAFOAM1200E 全自动孔隙率测试仪,依据国标 GB/T 1033.1-2008 测量传统常规注塑样品密度 ρ_s ; 依据国标 GB/T 6343-2009 测量发泡样品的密度 ρ_f ; 样品内部孔隙率 = $(1 - \rho_f / \rho_s) \times 100\%$, 减重率 = $(1 - m_f / m_s) \times 100\%$, 其中 m_s , m_f 分别代表样品发泡前后的质量。孔隙率及样品减重率统计结果见表 2。

表 2 孔隙率及样品减重率统计结果

测试位置	常规注塑样品	发泡样品		
	密度 / (g·cm ⁻³)	密度 / (g·cm ⁻³)	孔隙率 / %	减重率 / %
A	1.11	0.93	16.22	16.34
B	1.10	0.90	18.18	15.82
C	1.11	0.94	15.32	13.18
D	1.10	0.94	14.55	15.92
E	1.10	0.95	13.64	13.97
平均	1.10	0.93	15.58	15.04

从表 2 可知,五处检测位置常规注塑样品的密度平均值在 1.1 g/cm³,微孔发泡塑件密度为 0.93 g/cm³,相对常规注塑密度下降了 10%,平均孔隙率为 15.58%,样品有效减重为 15.04%。有效减轻了塑件的质量,这对汽车轻量化非常重要。

3.3 力学性能对比测试

为了比较分析传统常规注塑与微孔发泡注塑对产品力学性能的影响,采用电子万能力学试验机 (UTM 2203),依据国标 GB/T 1040.2-2006 进行单轴拉伸测试,结果见表 3。五处测试区域内微孔注塑样品拉伸强度比常规注塑高 25.6%,拉伸弹性模量提升 22.5%。

表 3 拉伸测试结果对比

测试位置	拉伸强度 / MPa		拉伸弹性模量 / MPa	
	常规注塑	微孔发泡	常规注塑	微孔发泡
A	27.2	36.6	206.2	254.0
B	28.2	35.3	214.1	257.4
C	29.9	37.0	218.2	271.6
D	26.7	32.8	206.0	256.4
E	30.3	36.7	219.8	263.5
平均	28.4	35.7	212.8	257.8

3.4 表面粗糙度及影响机理

图 9 为表面粗糙度形成机理及 C 处表面粗糙度。微孔发泡注塑表面粗糙度为 21.8 μm,而传统

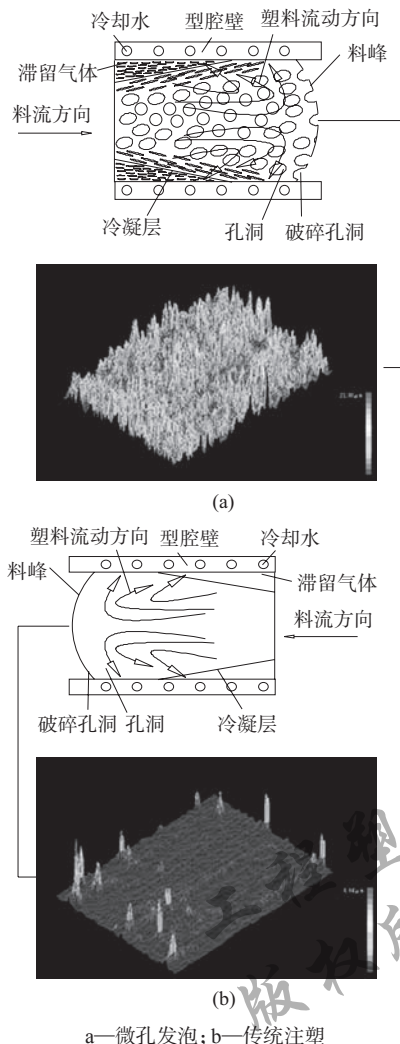


图9 表面粗糙度形成机理及C处表面粗糙度

注塑时表面粗糙度为 $8.64 \mu\text{m}$ 。通过对比可以明显看出微孔发泡的表面质量比传统注塑要差。微孔发泡注塑成型一般由四个阶段组成:塑料和超临界流体均相、泡孔形核、泡孔长大和塑料冷却固化。熔融塑料通过浇口进入模具型腔,料峰前沿的空气压力等于大气压力,塑料和超临界流体均相在此碰到迅速的压力降,熔体中的热力学不稳定、模具型腔的阻力等诸多因素影响,料峰处的泡孔开始长大,同时受到剪切流动和喷泉流动行为的影响,泡孔开始长大,这些长大的泡孔随着塑料熔体逐渐向前迁移,迁移的过程中又受到拉伸和拖曳,特别是熔体最外面的一层拉伸和拖曳特别严重,当大于包裹在泡孔外面熔体所承受的力,泡孔破裂逸出,气体释放^[13-14]。随着注射压力的推进,后续的熔体就会变成料峰继续向前推进,破裂的泡孔并未形成均匀的表面就被推向模具内壁,模具内壁比较冷,塑料遇冷就冷却凝

固,因此从而形成一种带有凹孔和褶皱等形貌杂乱的塑料表面。

该例中造成微孔发泡注塑产品的表面粗糙度大、光泽度低,表面质量不高,低于常规注塑,其质量达不到外观件的要求,因此要解决微孔发泡注塑产品表面气泡痕问题的基础是要彻底探明漩涡状流痕、银纹流痕等表面气泡痕缺陷的形成过程,深刻掌握表面气泡痕缺陷的形成机理。截至目前,变模温条件、型腔气体反压等工艺条件下微孔发泡注塑产品的外观质量有所改变,但表面气泡痕的演变规律及如何消除微孔发泡注塑产品表面气泡痕的机理等尚未解决。

根据注塑填充过程中熔体流动行为的分析可以得出微孔发泡注塑产品表面气泡痕形成过程,如图9所示,从SEM分析、粗糙度分析来看,常规注塑比微孔发泡注射表面质量要好,因此微孔发泡目前只在汽车内饰件中使用较广,为此,汽车外观零件如采用微孔发泡成型,注塑产品必须经过表面处理,通过打磨、抛光、电镀等工序来改善表面缺陷。

4 结论

(1) Moldflow 分析结果表明,微孔发泡注射成型在注塑时间、注塑压力、翘曲变形等方面均好于普通注塑成型。

(2) 检测结果表明,微孔发泡产品的密度、力学性能符合实践要求,但表面粗糙度较普通注塑差,汽车外观零件如采用微孔发泡成型须经过表面处理来改善表面缺陷。

参考文献

- [1] 周卫华,周南桥,吴宏武.精密注射成型新技术[J].工程塑料应用,2002,30(8):27-31.
Zhou Weihua, Zhou Nanqiao, Wu Hongwu. New technology of precision injection molding[J]. Engineering Plastics Application, 2002, 30(8):27-31.
- [2] 谈桂春,赵志鸿,吕召胜,等.2014年我国工程塑料加工技术进展[J].工程塑料应用,2015,43(5):126-135.
Tan Guichun, Zhao Zhihong, Lyu Zhaosheng, et al. Advance in processing technology of engineering plastics of China in 2014[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(5):126-135.
- [3] Jiang Jing, Wang Shiwei, Li Qian. Effect of mold temperature on the structures and mechanical properties of micro-injection molded polypropylene[J]. Materials & Design, 2015, 88:245-251.
- [4] Kumar V. Phenomenology of bubble nucleation in the solid state nitrogen-polystyrene microcellular foams[J]. Colloids and Surfaces

- A:Physicochem Eng Aspects,2005,263:336-340.
- [5] 褚建忠. 深型腔汽车车仪表板模具创新设计[J]. 塑料工业,2017,45(10):42-44.
- Chu Jianzhong. Innovative design of injection mould for automobile dashboard with deeper cavity[J]. China Plastic Industry,2017,45(10):42-44.
- [6] 任建平. 短碳纤维增强 PBT/CF 复合材料性能研究[J]. 塑料,2016,45(3):61-64.
- Ren Jianping. Research of property of short carbon fiber reinforced PBT/CF composite by injection[J]. Plastics,2016,45(3):61-64.
- [7] 赵战锋. 基于气辅注射成型工艺 CAE 优化的汽车手柄模具设计[J]. 中国塑料,2020,34(3):78-84.
- Zhao Zhanfeng. Mold design of automobile handle based on gaim CAE optimization[J]. China Plastics,2020,34(3):78-84.
- [8] 胡广洪,姜朝东,濮仲佳,等. 微细发泡注塑成型工艺与微泡尺寸的关系[J]. 塑料工业,2007,35(2):20-22.
- Hu Guanghong, Jiang Chaodong, Pu Zhongjia, et al. Relationship between microcellular foaming injection molding process and cell size[J]. China Plastics Industry,2007,35(2):20-22.
- [9] 付大炯. 压力诱导流动加工增强增韧结晶聚合物及其微孔发泡研究[C]. 广州:华南理工大学,2016.
- Fu Dajiong. Pressure-induced flow processing to strengthen and toughen crystalline polymers[C]. Guangzhou:South China University of Technology,2016.
- [10] 李冰,胡彪,胡广洪. 微细发泡注射成型制品表面质量改善的研究[J]. 中国塑料,2016,30(6):65-69.
- Li Bing, Hu Biao, Hu Guanghong. Research on improving the surface quality of micro-foam injection molded products[J]. China Plastics,2016,30(6):65-69.
- [11] 张翔,王恒,蒋团辉,等. 气体反压对微孔发泡注塑制品泡孔质量的影响[J]. 工程塑料应用,2018,46(11):62-68.
- Zhang Xiang, Wang Heng, Jiang Tuanhui, et al. The effect of gas back pressure on the cell quality of microcellular foamed injection molded products[J]. Engineering Plastics Application,2018,46(11):62-68.
- [12] Park C B, Cheung L K. A study of cell nucleation in the extrusion of polypropylene foams[J]. Polymer Engineering and Science,1997,37(1):1-10.
- [13] Chen S C, Liao W H, Chien R D. Structure and mechanical properties of polystyrene foams made through microcellular injection molding via control mechanisms of gas counter pressure and mold temperature[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer,2012,39(8):1 125-1 131.
- [14] Tsivintzelis I, Angelopoulou A G and Panayiotou C. Foaming of polymer with supercritical CO₂:An experimental and theoretical study[J]. Polymer,2007,48:5 928-5 939.