

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.03.013

型腔气体反压对微孔发泡泡孔结构与制品表面质量的影响

任建平^{1,2}, 郑贝贝¹, 傅莹龙¹, 张留伟¹, 蒋晶², 李倩²

(1. 台州科技职业学院模具研究所, 浙江台州 318020; 2. 郑州大学微纳成型技术国际联合研究中心, 郑州 450001)

摘要: 设计型腔气体反压辅助微孔发泡注塑 (GCP-MIM) 成型系统、模具及周边设备, 利用这一套系统以聚丙烯 (PP) 材料为研究对象, 研究 GCP-MIM 工艺对注塑 PP 试样泡孔结构与表面质量的影响。结果表明, 随着气体反压持续时间的延长和气体反压压力的增加, 试样泡孔尺寸变小, 泡孔密度升高, 其中反压持续时间从 5 s 延长到 20 s 过程中, 泡孔平均直径减小了 40%, 而泡孔密度提高了 23%。在相同的气体反压压力下, 气体反压持续时间越长, 试样表面粗糙度越低; 与常规注塑不同, 离浇口越远, GCP-MIM 试样的表面粗糙度越低; 与传统微孔发泡注塑相比, GCP-MIM 试样的表面粗糙度明显降低, 表面质量明显变好。

关键词: 气体反压; 微孔发泡; 注塑; 泡孔尺寸; 表面粗糙度

中图分类号: TQ328 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)03-0071-06

Effect of Cavity Gas Counter Pressure on Cell Structure and Product Surface Quality of Microcellular Foaming

Ren Jianping^{1,2}, Zheng Beibei¹, Fu Yinglong¹, Zhang Liuwei¹, Jiang Jing², Li Qian²

(1. Mould Research Institute of Taizhou Vocational College of Science and Technology, Taizhou 318020, China; 2. National International Joint Research Center Micro-Nano Moulding Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Cavity gas counter pressure assisted microcellular injection molding (GCP-MIM) system, mould and peripheral equipment were designed. With polypropylene (PP) material as the research object, this system was used to study the influences of GCP-MIM process on the cell structure and surface quality of the PP injection molded sample. The results show that with the increase of the gas counter pressure duration time and the gas counter pressure, the cell size becomes smaller and the cell density increases, the cell average diameter decreases by 40% when the duration time is extended from 5 s to 20 s, while the cell density is increased by 23%. At the same gas counter pressure, the longer the duration time of the gas counter pressure is, the lower the surface roughness of the sample is. Different from conventional injection molding, the farther away from the gate, the lower the surface roughness of GCP-MIM sample is. Compared with the traditional microcellular foaming injection molding, the surface roughness of GCP-MIM sample is significantly reduced, which indicates the surface quality is significantly improved.

Keywords: gas counter pressure; microcellular foaming; injection molding; cell size; surface roughness

当前, 由于环保和节能的需要, 汽车轻量化已成为节能减排的重要措施之一, 对汽车工业的可持续发展有重要的战略意义^[1-3]。响应环保的提倡与规范, 许多先进绿色成型技术陆续发展并成功应用在生产制造中, 包括模具热浇道系统、双料或双色注塑技术、液体或气体辅助注塑、超临界微孔发泡注塑等; 符合环保应用的新材料也在不断地研发, 包括

生物可分解材料、纳米复合材料、高导电材料、高导热材料、高导热材料等^[4-5]。目前适合汽车轻量化塑件的注塑工艺有薄壁注塑^[6]、碳纤维复合材料注塑^[7]、气体 (液体) 辅助注塑^[8-9]、超临界微孔发泡注塑^[10]。其中, 超临界微孔发泡注塑具有节省制造成本 (减轻质量 6%~12%, 降低料温和模温, 减少周期 15%~35%)、改善塑件质量 (尺寸稳定性好, 减少

基金项目: 2021 年浙江省基础公益研究计划项目 (LGG21E050001), 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)

通信作者: 蒋晶, 博士, 主要研究方向为聚合物微孔发泡行为 E-mail: jiangjing@zhu.edu.cn

收稿日期: 2020-12-29

引用格式: 任建平, 郑贝贝, 傅莹龙, 等. 型腔气体反压对微孔发泡泡孔结构与制品表面质量的影响 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(3): 71-76.

Ren Jianping, Zheng Beibei, Fu Yinglong, et al. Effect of cavity gas counter pressure on cell structure and product surface quality of microcellular foaming[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(3): 71-76.

内应力,改善平整度减少翘曲)、设计灵活(无须担心凹痕,可以设计薄壁和厚加强筋)等优点^[11],使其在汽车轻量化领域中具有非常重要的应用价值。由于温度与压力的变化规律、树脂基体与发泡剂组合及配比、CAE研发等问题都尚未得到很好地解决,使得成型过程难以控制。另外由于微孔的逃逸和破裂导致微孔发泡塑件表面光洁度不高,塑件表面易产生涡流痕、银纹、表面微泡和表面开孔等缺陷^[12]。这种表面缺陷的存在使微孔发泡在外观塑件的应用受到限制。

型腔气体反压(GCP)辅助微孔发泡注塑(GCP-MIM)工艺是在传统微孔发泡注塑(MIM)基础上发展起来的。在GCP-MIM过程中,GCP有利于泡孔核克服临界自由能垒,有效提高微孔发泡体的均相成核率,且有助于降低引起泡孔破裂的泡孔内压力,最终减少泡孔破裂的机会,减少甚至消除塑件的表面螺旋纹缺陷,有助于提高塑件的表面质量。S. C. Chen等^[13]利用GCP技术控制聚苯乙烯(PS)材料微孔发泡程度,探究熔体在模腔内的流动行为,发现与传统注塑工艺相比,气体反压压力由5 MPa增加到15 MPa时,PS的熔体黏度降低了30%。J. W. S. Lee等^[14]同样在MIM中利用GCP技术,成功降低产品表面粗糙度,虽然产品的减重比由12.8%降低至10.2%,但泡孔均匀性较好。董桂伟等^[15]利用变模温和GCP协同控制MIM技术,实现产品表面气泡形貌和内部泡孔结构的良好调控,但还处在实验阶段,没有形成工程数据。

笔者设计了GCP-MIM成型系统、模具及周边设备,利用该系统以聚丙烯(PP)材料为研究对象,研究GCP-MIM工艺对注塑PP试样泡孔结构与制品表面质量的影响,为工程上GCP-MIM工艺的实际应用提供必要的工程数据。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PP: AP-203S, 熔体流动速率 24 g/10 min (230℃, 2.16 kg), 密度 1.03 g/cm³, 收缩率 1.0%~1.3%, 金发科技股份有限公司;

物理发泡剂(氮气): 工业级, 纯度 99.9%, 市售。

1.2 主要仪器与设备

注塑机: 420C All Rounder 1000-350 型, 最大锁模力 100 t, 最大注塑压力 200 MPa, 最大注塑体积 350 cm³, 螺杆直径为 45 mm, 德国 Arburg 公司;

超临界供气系统: T-200 型, 美国 Trexel 公司;

扫描电子显微镜(SEM): Keysight 8500 型, 美国 Agilent 公司;

高倍率 3D 激光扫描显微镜: VK-X200 型, 日本基恩士公司。

1.3 GCP 控制系统与模具

有别于 MIM, GCP-MIM 流程如图 1 所示。模具闭合后首先对模具型腔内的气体进行加压, 当气体压力达到设定的压力值时方可进行熔体的注塑; 熔体填充过程中动态调节气体反压压力使其相对稳定; 气体反压持续时间达到设定值时, 模具型腔气体卸压, 冷却取出塑件。笔者研发的 GCP 控制系统如图 2 所示, 高压氮气发生器在空气压缩机和调压阀的作用下按照设定的数字提供气源, 可以提供一定压力的高压气源, 在模内反压气体的控制配合设计上, 将气体入口与气体出口设计在模腔底部。

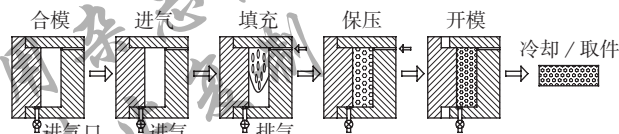


图1 GCP-MIM 工艺流程

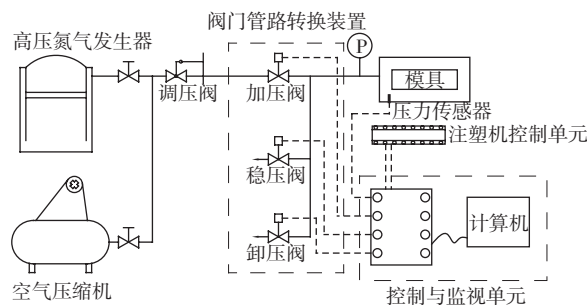


图2 GCP 控制系统

笔者自行研发了一副 GCP-MIM 试样模具, 型腔尺寸为 143.0 mm × 18.5 mm × 3.0 mm, 如图 3 所示, 为了保证充填过程中反压气体的连续性, 并防止入口、出气口阻塞, 利用模内气体反压监控系统, 调节气体压力以维持模腔内压稳定。反压结束后由气体回收装置将作用后的气体通过卸压装置从模具型腔内排出, 回收作为高压气体发生装置的气源, 这

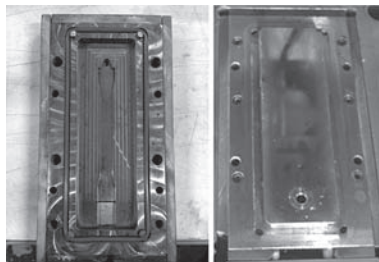


图3 GCP-MIM 试样模具

样可以节省部分能耗。因此设计调压阀组件,气体来源与泄压为同一个出入孔,使模腔与调压阀件互相连通,从而形成一个密闭的空间,在软件设定模内反压气体目标压力后,再利用压力传感器调节模腔内气体压力。

1.4 成型工艺

在使用 GCP-MIM 技术时,注塑延迟时间是一个至关重要的参数。将注塑延迟时间设置为 5 s,其目的在于将熔体充填到模腔前,先让反压气体均匀地充填到模腔内。采用的注塑工艺参数见表 1,为了保证型腔内气体反压压力设定值的稳定,待模温恒定后,GCP 控制系统会按照设定的压力值先向型腔内注气 5 s,然后熔体充填进入型腔,此时模内气体反压设备按照设定的气体反压持续时间注气。

表 1 注塑工艺参数

参 数	数 值
熔融温度 / °C	180
模具温度 / °C	45
注塑速度 / (mm · s ⁻¹)	125
注塑压力 / MPa	6
反压压力 / MPa	0, 4, 8, 12
反压持续时间 / s	0, 5, 10, 15, 20
冷却时间 / s	40

1.5 测试与表征

(1) 泡孔结构测试。

发泡试样在液氮中浸泡 10 min 后淬断、镀金,然后通过 SEM 对试样断面进行拍照,利用 Image-Pro Plus 软件计算 SEM 照片中的泡孔尺寸和泡孔密度,计算公式见式 (1) 和式 (2)。

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N} \quad (1)$$

$$N_f = \left(\frac{NM^2}{A} \right)^{3/2} \quad (2)$$

式中: D ——泡孔平均直径, μm ;

D_i ——单个泡孔直径, μm ;

N_f ——泡孔密度, 个 / cm^3 ;

N ——统计面积中泡孔个数;

M ——SEM 照片的放大倍数;

A ——SEM 照片中泡孔面积, cm^2 。

(2) 表面粗糙度测试。

借助高倍率 3D 激光扫描显微镜对试样表面进行扫描,检测位置如图 4 所示,分别在试样近浇口端、中间端和末端选取三个位置测量表面粗糙度和表面形貌,研究 GCP-MIM 工艺对试样表面质量的影响规律。

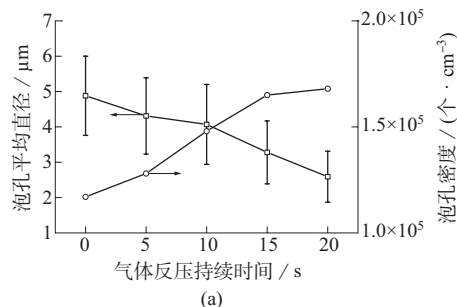


图 4 高倍率 3D 激光扫描显微镜扫描部位 (试样宽 1 mm)

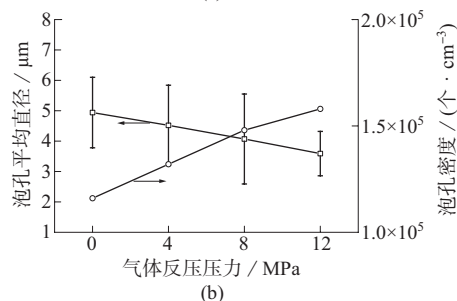
2 结果与讨论

2.1 气体反压持续时间和压力对泡孔结构的影响

图 5 是不同气体反压持续时间和压力对试样内部泡孔平均直径和泡孔密度的影响。由图 5a 可以看出,随着气体反压持续时间的增加,泡孔密度逐渐增加,泡孔尺寸逐渐变小。这可能是因为,在一定气体反压压力作用下,较长的反压作用时间有助于提高泡孔的均相成核效率,提高泡孔的成核密度,最终使试样泡孔尺寸减小、密度增加。反压持续时间从 5 s 延长到 20 s 过程中,泡孔平均直径减小了 40%,而泡孔密度提高了 23%。由图 5b 可以看出,反压时间为 10 s 时,随着反压压力增大,制品内部泡孔尺寸逐渐变小,泡孔密度逐渐增加,呈现与反压持续时间相同的变化趋势。这可能是因为随着反压压力的增加,超临界气体在熔体中的溶解度增大,减小了气体 / 聚合物间的表面张力,从而降低形成临界气泡核的自由能垒。或者说,反压压力的增加还会增大泡孔内外的压力差,从而降低形成临界气泡核所需的吉布斯自由能^[16]。



(a)



(b)

a—气体反压持续时间 (气体反压压力为 8 MPa);

b—气体反压压力 (气体反压持续时间为 10 s)

图 5 不同气体反压持续时间和压力下试样内部的泡孔平均直径和泡孔密度

2.2 GCP-MIM 对试样表面粗糙度的影响

表 2 列出气体反压压力为 8 MPa 时不同气体反压持续时间下试样的表面粗糙度。从表 2 可知,

在相同气体反压压力下,反压持续时间越长试样表面粗糙度越低,表面质量越好。

表2 不同气体反压持续时间下试样的表面粗糙度 μm

项 目	气体反压持续时间 /s				
	0	5	10	15	20
近浇口端	37.02	15.49	12.11	10.12	9.08
中间端	34.55	14.00	11.92	10.02	7.06
末端	30.78	12.37	9.88	9.56	7.04
平均值	34.12	13.95	11.30	9.90	7.73

常规注塑(IM), MIM和GCP-MIM工艺成型试样的表面粗糙度及相应表面形貌如表3和图6所示。

表3 三种工艺成型试样的表面粗糙度 μm

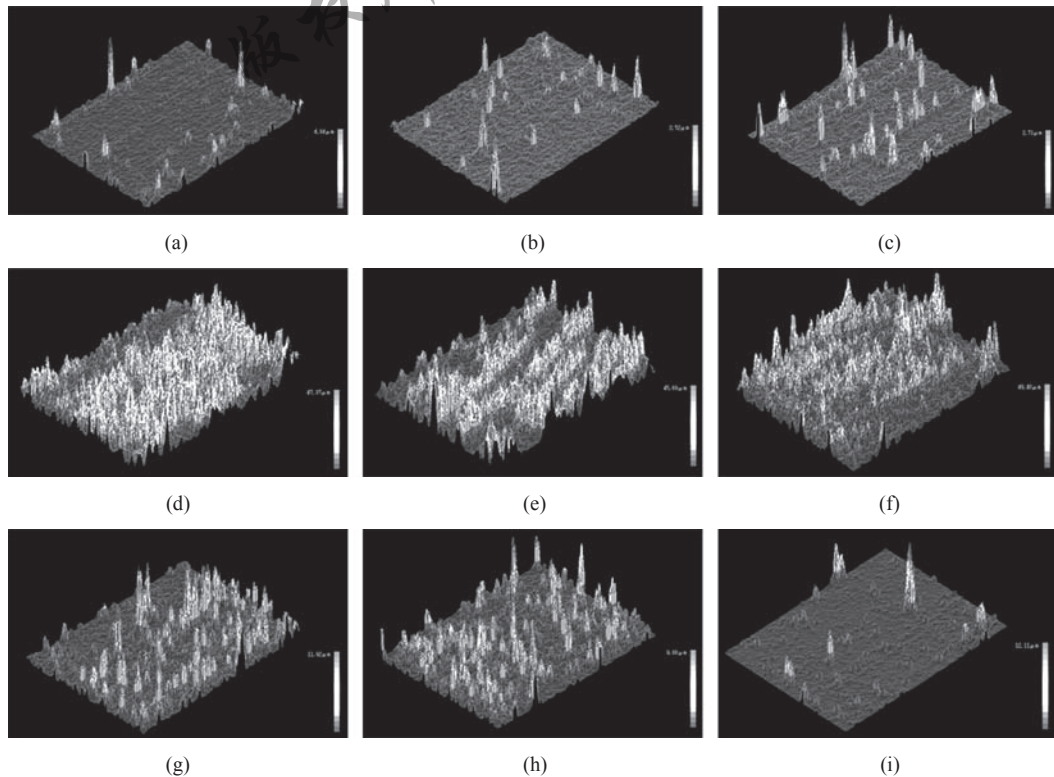
项 目	IM	MIM	GCP-MIM
近浇口端	2.42	48.40	9.08
中间端	2.75	46.35	7.06
末端	4.74	44.79	7.04
平均值	3.30	46.51	7.73

由表3可以看出, IM试样在近浇口端的表面粗糙度为 $2.42\ \mu\text{m}$,中间端为 $2.75\ \mu\text{m}$,末端为 $4.74\ \mu\text{m}$,即近浇口端的表面质量最好,末端的表面质量最差,这也可以从图6a~图6c中观察到。这是因为对于IM试样,其末端熔体温度较低,流动性较差,熔体在流动时受的阻力较大,且存在熔体起始冷却温度较低,没有足够的结晶时间等因素,造成试样末端的表面质量较差;反之在近浇口端,熔体温度

度较高、流动性较好,熔体在流动时受的阻力较小,且熔体起始冷却温度较高,具有较长的结晶时间,使得IM试样在近浇口端的表面质量较好,而离浇口越远,试样的表面质量越差。

对于MIM试样,表3显示,近浇口端的表面粗糙度为 $48.40\ \mu\text{m}$,中间端为 $46.35\ \mu\text{m}$,末端为 $44.79\ \mu\text{m}$,试样近浇口端的表面质量较差,这个结果和IM试样相反,即离浇口越远,试样表面质量越好,这也可以从图6d~图6f中观察到。原因在于,在MIM初期阶段,熔体内部的气体会率先往流动方向移动,在靠近浇口处开始成核、发泡,在MIM末期阶段,熔体流动到末端处,熔体内所剩的气体含量较少,发泡情况较差,且凝固层较厚,所以表面粗糙度较低;另一方面,近浇口端的熔体温度较末端的高,气体容易在较高温的近浇口端成核、发泡,且凝固层较薄,使得靠近浇口处的表面质量较差。

结合表2和表3可以看出,不同气体反压持续时间下GCP-MIM试样的表面粗糙度在3种位置的变化情况与MIM试样相同,但均明显低于MIM试样。这是因为在MIM的初始阶段,带有超临界流体的塑料熔体通过模具浇口进入到模具型腔,由于型腔压力较流道压力小,压力会迅速降低进而导致塑料熔体中超临界流体溶解度降低而成核、发泡;



IM试样: a—近浇口端, b—中间端, c—末端; MIM试样: d—近浇口端, e—中间端, f—末端; GCP-MIM试样: g—近浇口端, h—中间端; i—末端

图6 三种工艺成型试样的表面形貌

随着注塑的推进,熔体的料峰受到塑料流动行为的影响而发生变形,特别在没有外部压力作用时,料峰前端处的气泡会破裂而涌出,与正在冷却的模具内壁接触,最后滞留在塑件表面,从而使 MIM 试样的表面粗糙度明显高于 IM 试样。而当料峰前端有一定压力时,压力会防止微孔破裂,当注塑结束,浇口冷却关闭后,模具型腔压力再次迅速降低,填充过程中后端未发泡的气体溶解度降低到一定值时开始迅速发泡,得到较为均匀的泡孔结构,即采用 GCP-MIM 时,模腔内会存在一定的反压压力,从而使试样的表面质量优于 MIM 试样,这也可以从图 6g~图 6i 中观察到。总之,型腔内饱和压力对塑件内部泡孔的成核、长大具有重要的影响^[17-18]。

3 结论

(1) 研究了一种 GCP-MIM 工艺,开发了一整套 GCP-MIM 试样模具和气体反压控制系统,能提高微孔发泡成型塑件表面质量。

(2) 随着气体反压持续时间的延长,泡孔尺寸变小,泡孔密度升高,其中反压持续时间从 5 s 延长到 20 s 过程中,泡孔尺寸减小了 40%,而泡孔密度提高了 23%;随着气体反压压力增大,制品内部泡孔尺寸逐渐变小,泡孔密度逐渐增加。

(3) 距离浇口越远,IM 试样的表面粗糙度越高,MIM 试样和 GCP-MIM 试样的表面粗糙度变化情况与之相反;MIM 试样的表面粗糙度明显高于 IM 成型试样,采用 GCP-MIM 后,试样的表面粗糙度下降明显,其表面质量优于 MIM 试样。随着气体反压持续时间延长,GCP-MIM 试样的表面粗糙度逐渐降低。

参考文献

- [1] 李少军,黄汉雄,许琳琼.微孔发泡聚乳酸/木纤维复合材料的泡孔结构[J].化工学报,2013,64(11):4262-4268.
Li Shaojun, Huang Hanxiong, Xu Linqiong. Cellular structure of microcellular poly(lactic acid)/wood fiber composite foams[J]. CIESC Journal, 2013, 64(11):4262-4268.
- [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. 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] 王恒,张翔,曾祥补,等.微孔注塑发泡制品表面质量的研究进展[J].塑料工业,2017,45(10):30-34.
Wang Heng, Zhang Xiang, Zeng Xiangbu, et al. Research progress on surface quality of microcellular injection molded parts[J]. China Plastics Industry, 2017, 45(10):30-34.
- [5] 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.
- [6] Lyu M Y, Choi T G. Research trends in polymer materials for use in lightweight vehicles[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2015, 16(1):213-220.
- [7] Nguyen-Tran H D, Hoang V T, Do V T, et al. Effect of multiwalled carbon nanotubes on the mechanical properties of carbon fiber-reinforced polyamide-6 / polypropylene composites for lightweight automotive parts[J]. Materials, 2018, 11(3).DOI:10.3390/ma11030429.
- [8] Parvez M A, Ong N S, Lam Y C, et al. Gas-assisted injection molding: The effects of process variables and gas channel geometry[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 121(1):27-35.
- [9] Jong W R, Hwang S S, Kao C H, et al. Visualization of counter pressure mechanism in gas-assisted injection molding process[J]. Journal of the Chinese Institute of Engineers, 2017, 40(6):459-470.
- [10] Wang Guilong, Zhao Guoqun, Dong Guiwei, et al. Lightweight and strong microcellular injection molded PP / talc nanocomposite[J]. Composites Science and Technology, 2018, 168:38-46.
- [11] Shaayegan V, Wang Guilong, Park C B. Effect of foam processing parameters on bubble nucleation and growth dynamics in high-pressure foam injection molding[J]. Chemical Engineering Science, 2016, 155:27-37.
- [12] 胡瑞生,王毅,张翔.注塑微发泡制品表面质量和发泡形貌的研究进展[J].工程塑料应用,2016,44(3):135-140.
Hu Ruisheng, Wang Yi, Zhang Xiang. Research progress on surface quality and foam morphology of microcellular injection molded Parts[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(3):135-140.
- [13] Chen S C, Chung M H, Lin Y W, et al. Rheological characterization of polystyrene melts dissolved with supercritical nitrogen fluid during microcellular injection molding[J]. E-Polymers, 2010, 10.Doi:10.1515/epoly.2010.10.1.1446.
- [14] Lee J W S, Lee R E, Wang Jing, et al. Study of the foaming mechanisms associated with gas counter pressure and mold opening using the pressure profiles[J]. Chemical Engineering Science, 2017, 167:105-119.
- [15] 董桂伟,赵国群,李帅,等.变模温与型腔气体反压辅助微孔发泡注塑技术及其产品内外泡孔结构演变[J].高分子材料科学与工程,2020,36(1):89-98.
Dong Guiwei, Zhao Guoqun, Li Shuai, et al. Dynamic mold

- temperature control and cavity gas counter pressure assisted microcellular injection molding and evolution of inner and outer cell structure of the molded parts[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2020, 36(1):89-98.
- [16] Baldwin D F, Park C B, Suh N P. A microcellular processing study of poly (ethylene terephthalate) in the amorphous and semicrystalline states.Part II:Cell growth and process design[J]. Polymer Engineering and Science, 1996, 36(11):1 446-1 453.
- [17] 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.
- [18] 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.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,我刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过20个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。通讯作者信息(包括姓名,学历或职称,主要研究方向,电子邮箱)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以200~300字为宜,英文摘要可略详。关键词要求3~8个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,横纵坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将*.opg, *.dwg, *.eps等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少16篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过3人时可全部著录,超过3人时,只著录前3位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆杂志社网站 <http://www.epa1973.net>, 点击“作者投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过3个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。