

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.08.018

改性 PC 注射成型中料花形成的可视化研究和原因鉴别

李卫领, 陈小鹿, 吴博, 庞承焕

(金发科技股份有限公司, 广州 510663)

摘要: 为了研究改性聚碳酸酯 (PC) 注射成型中水气、困气、分解气导致的试样表面料花的形成过程, 应用二次元影像测量仪、傅立叶变换显微红外光谱仪、扫描电子显微镜-能谱仪对 5 种改性 PC 试样表面的料花进行分析, 根据得到的形貌可以明显看出料花在注射成型过程中形成细节; 另外利用扫描电子显微镜-能谱仪对困气形成的料花进行元素分析, 发现料花区域的元素种类与正常位置有明显差异, 进一步验证了不同原因形成料花的差异。该方法对改性 PC 注塑成型中的料花形成过程进行了可视化研究并通过形貌分析对不同原因导致的料花进行了鉴别, 完善了注射成型缺陷利用仪器分析表征的手段, 对于其它注射成型缺陷的验证具有借鉴意义。

关键词: 改性聚碳酸酯; 料花形成; 可视化研究; 鉴别

中图分类号: TQ32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)08-0098-05

Visual Research and Cause Identification of Splay Formation in Injection Molding of Modified PC

Li Weiling, Chen Xiaolu, Wu Bo, Pang Chenghuan

(Kingfa Sci. & Tech. Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract : In order to study the process of formation of splay caused by water vapor, trapped gas, and decomposition gas in injection molding of modified polycarbonate (PC), Secondary element image measuring instrument, Fourier transform microscopy infrared spectrometer, scanning electron microscope-energy spectrometer (SEM-EDS) have been used for analysis splay defects of the surfaces of 5 modified PC samples, and it can be clearly seen the formation process of splay in the injection molding from the obtained morphology. In addition, the elemental analysis of the trapped gas formation was performed using SEM-EDS. The type of elements found in the splay area is significantly different from the normal position which have further validated the differences in the formation of splay by different factors. The method verifies the visualization of the formation process of the splay in the injection molding process of the modified PC, identifies the different splay by different causes through the morphology analysis, and the analysis of injection molding defects by instrument is improved. It has guiding significance for the verification of other injection molding defects.

Keywords : modified polycarbonate ; splay formation ; visual research ; identification

聚碳酸酯 (PC) 是一种性能优异的工程塑料, 具有透明度高、耐冲击韧性好、抗蠕变、使用温度范围广、电绝缘性优良、尺寸稳定性好、可靠性高等特点, 因此被广泛应用于电子电气、照明用具、仪器仪表、家用电器、汽车零部件、包装等行业^[1-3]。随着高分子材料行业的快速发展, 改性 PC 的新品种不断涌现, 极大地扩大了它的应用空间。同时其加工技术的研究也越来越受到各方面的重视^[2-12]。

PC 是分子主链段结构中含有苯环、酯键、异丙

基的线型聚合物, 具有树脂的熔体黏度高、对水分敏感等特点, 给注射成型加工带来一定的难度^[2-6]。在正常加工温度 (230 ~ 320 °C) 范围内熔体黏度对剪切速率的敏感性小但对温度的敏感性较大, 近似于牛顿流体行为; 由于酯键的存在, 改性 PC 一般对水分较为敏感, 高温下易发生水解, 容易形成银丝、料花等缺陷^[5-8, 11]。

在注射成型过程中气体的存在是不可避免的, 而且有相当一部分气体还会残留在塑料制品的内

通讯作者: 李卫领, 硕士, 中级工程师, 主要从事高分子材料成分分析及失效分析研究 E-mail : liweilinggood@126.com

收稿日期: 2018-05-31

引用格式: 李卫领, 陈小鹿, 吴博, 等. 改性 PC 注射成型中料花形成的可视化研究和原因鉴别 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(8) : 98-102, 116.

Li Weiling, Chen Xiaolu, Wu Bo, et al. Visual research and cause identification of splay formation in injection molding of modified PC[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(8) : 98-102, 116.

部。制品表面的料花可能是由水气、困气、分解气中的某一种气体为主的作用结果或几种气体共同作用的结果,它与原材料、模具、成型系统、工艺参数的调节以及天气的变化(如湿度等)等因素有较大的关系^[3-8,11-12]。如何从源头控制气体的含量是解决料花问题的关键,这就关系到如何对相似外观的料花异常加以客观、可视化的区分和鉴定,可视化的验证对于注射成型已经成为当前的研究热点^[13-17]。

笔者利用二次元影像测量仪、傅立叶变换显微红外光谱(Micro-FTIR)仪、扫描电子显微镜-能谱仪(SEM-EDS)对5种不同改性PC试样(PC-1, PC-2, PC-3, PC-4和PC-5)表面的料花进行形貌及定性分析;根据形貌测试结果,可以直观和形象地看出气泡沿着熔体流动方向不断被拉长进而形成密集的椭圆形气泡形貌,而且利用SEM-EDS的元素分析对困气引起的改性PC表面的料花进行定性鉴别,另外利用料花微观形貌差异对困气和分解导致的料花进行了鉴别。因此光学分析法为注射成型缺陷的分析鉴定提供了一种有效的分析方法且具有简单、快速的特点。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PC-1, PC-2, PC-3, PC-4和PC-5制件:自制。

1.2 主要设备及仪器

Micro-FTIR仪:IN 10型,赛默飞世尔科技中国有限公司;

二次元影像测量仪:YVM 3020型,东莞源欣光电仪器有限公司;

SEM-EDS:S-3400N型,日本日立集团。

1.3 试样制备

利用制样机对PC-1, PC-2, PC-3, PC-4和PC-5制件进行切割,得到适合分析的样品尺寸,用于分析测试。

1.4 性能测试

(1) 二次元影像测量仪分析表面形貌。

利用二次元影像测量仪对5种不同的改性PC试样进行表面形貌分析。测试方法:打开光源及测量软件,将切割好的待测样品(样品尺寸小于 $8\text{ cm} \times 8\text{ cm} \times 5\text{ cm}$)置于样品台上,调节镜头高度和放大倍数调节旋钮,使图像清晰,并保存图像,对于不同位置的观察可以手动摇动样品台进行样品的移动,并完成拍摄,保存图像用以数据对比分析。

(2) Micro-FTIR仪分析表面形貌。

利用Micro-FTIR仪的显微镜功能对于5种不同的改性PC试样进行表面形貌分析,待测样品尺寸小于 $6\text{ cm} \times 6\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ 。测试条件:常温,ATR模式;成像技术:焦平面技术,放大倍数150倍;软件功能:单图形貌分析和面扫描形貌拼接。通过以上测试条件和功能,完成5种改性PC表面料花的形貌拍摄。

(3) SEM分析表面形貌。

利用SEM对5种不同的改性PC试样进行表面形貌分析。测试方法:对切割好的待测样品(尺寸小于 $4\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 3\text{ cm}$)进行喷金处理后抽真空测试。工作电压:10~15 kV,工作距离:10 mm;发射电流:108 μA ,利用调节白平衡并放大到合适倍数进行调焦使图像清晰,保存图像,对于不同位置的观察可以移动样品台进行相应部分的形貌拍摄,保存图像用于数据对比分析。

(4) SEM-EDS分析元素。

利用SEM得到的图像,同步传到EDS分析软件中,再通过调节信号强度(工作电压:15 kV,工作距离:10 mm,发射电流:108 μA)进行相应区域的元素分析。

1.5 料花形成机理

注射成型充填过程中产生的气泡(可能是水气、困气及分解气等)经熔体的前沿呈喷射流动,在流动过程中气泡由圆形被拉伸成椭圆形,并可能伴随翻卷现象,最后接触到模具的边壁,形成一连串在光照下闪闪闪烁的大大小的泡点,被冷却固化的带有气泡的塑料定位在制品表面,白色线条常称为银纹,白色团块称之为料花。

2 结果与讨论

2.1 改性PC的二次元影像测量分析

利用二次元影像测量仪对PC-1, PC-2, PC-3, PC-4和PC-5试样进行表面形貌分析,结果如图1和图2所示。

从图1可以看出,PC-1, PC-2, PC-3试样的表面均存在一些发亮的气泡点,部分气泡点存在交叉和部分破裂。推测是气体随着熔体向前流动,由圆形气泡逐渐被拉成椭圆状。以上过程与料花的形成机理中气泡的形成过程基本一致,初步实现了料花的形成过程的可视化验证。

另外从图1还可以看出,PC-1, PC-2, PC-3试样表面的气泡分布较为均匀,说明气体是在熔体流动过程中均匀地被带到制件表面,可能是注塑加工

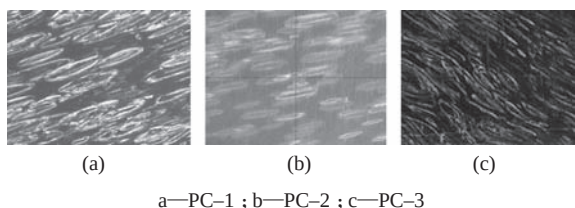


图1 PC-1、PC-2 和 PC-3 试样表面二次元影像测量形貌图

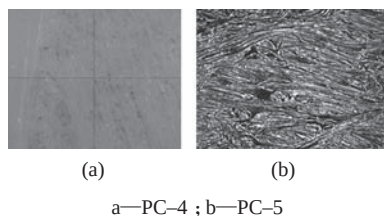


图2 PC-4 和 PC-5 试样表面二次元影像测量形貌图

过程中塑料成型阶段产生的水气导致的料花。水气的来源可能是原材料未充分烘干或者是加工环境湿度较大,材料发生重新吸水所致。因此在改性 PC 加工过程中,为避免因水气导致料花的产生需要充分干燥物料,且加工环境的湿度也需要进行控制。

从图 2a 可以看出,PC-4 试样表面呈现出多股熔体流动汇集的情况,且熔体中存在一些黑褐色物质,表面有发黄特征。可能是微弱的困气烧焦引起的。困气的原因可能来自一些与材料的配方体系不相容的杂质。因此在改性 PC 加工过程中需要对加工的螺杆和螺筒进行充分清机,减少杂质的残留。

从图 2b 可以看出,PC-5 试样表面也存在典型的椭圆状气泡形貌,且和 PC-1, PC-2, PC-3 试样表面的料花形貌相比,PC-5 试样表面的料花中的气泡形貌排列杂乱,部分区域出现多股熔体夹杂和气泡交汇的特征,且表面存在发黄的微弱炭化现象。可能是 PC 基材发生了分解。树脂发生分解的原因可能有 3 个方面:一方面可能是体系中本身使用了回收料,另外一方面可能是夹杂水分过多,导致 PC 树脂发生水解产生降解,第三个可能是配方中含有一些耐热性较差的组分加工过程中发生分解,导致体系中小分子较多。因此改性 PC 因分解产生的料花需要充分评估真正的原因进行改善。

2.2 改性 PC 的 Micro-FTIR 分析

利用显微红外光谱仪中的显微镜对 PC-1, PC-2, PC-3, PC-4 和 PC-5 试样进行表面形貌分析,结果如图 3 和图 4 所示。

从图 3 可以看出,PC-1, PC-2, PC-3 试样的表面均存在一些椭圆形气泡状形貌,且 PC-1 试样表面的气泡呈现彩色形貌。由于配方体系不同,料花

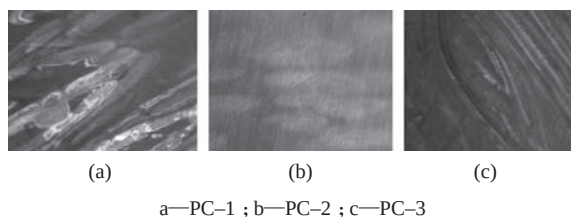


图3 PC-1、PC-2 和 PC-3 试样表面 Micro-FTIR 分析形貌图

的形貌也存在差异,但整体上与气体随着熔体流动至样品表面时,圆形气泡被拉长,与料花形成机理相一致,说明采用 Micro-FTIR 仪的显微形貌分析也可以较好地用于料花形成过程的可视化研究。根据图 3 中的形貌可以看出,表面的料花较为平滑且分布较为均匀,与前述二次元影像测量仪分析的规律较为相似,可能是水气导致的料花。

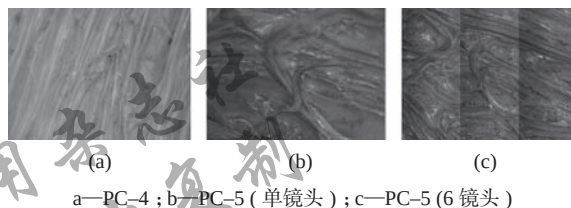


图4 PC-4 和 PC-5 试样表面 Micro-FTIR 分析形貌图

从图 4a 可以看出,PC-4 试样表面的熔体中存在一些黑色和灰色的点,可能熔体中夹杂异物,且表面也有发黄迹象,表明树脂基体存在微弱炭化现象,可能是困气导致的。困气的原因可能是熔体前端的黑色杂质产生的,黑色杂质可能来自螺杆中的碳化物,也可能是原材料中夹杂的灰尘颗粒等。

从图 4b 和图 4c 可以看出,PC-5 试样表面的熔体流动呈现多向且表面平整性较差,尤其从图 4c 的 6 镜头形貌拼接图可以看出,PC-5 试样表面的料花形貌存在熔体表面形貌粗细不均现象,可能与基体分解有关,且由于分解形成的气体影响了熔体的正常流动而出现多股熔体交叉的层叠状椭圆形料花气泡形貌。此料花形貌图也可以间接证明料花的形成过程。

2.3 改性 PC 的 SEM 分析

利用 SEM 对 PC-1, PC-2, PC-3, PC-4 和 PC-5 试样的表面进行形貌分析,结果如图 5 和图 6 所示。

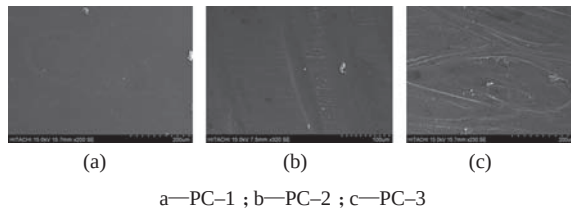


图5 PC-1、PC-2、PC-3 试样表面 SEM 分析形貌图

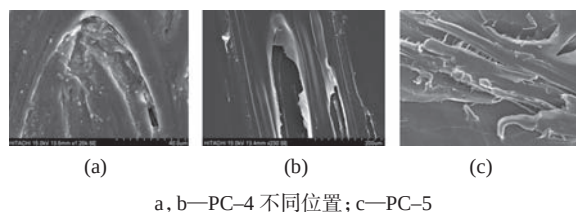


图6 PC-4 和 PC-5 试样表面 SEM 分析形貌图

从图 5 可以看出, PC-1, PC-2, PC-3 试样的表面也存在一些椭圆形气泡状形貌。由于喷金的影响,不同配方体系试样表面的气泡形貌深浅存在差异,总体来说深度较浅。椭圆形气泡形貌同样验证了料花形成机理是正确的。SEM 的形貌分析对于料花形成过程的可视性验证提供了新的分析手段。根据 PC-1, PC-2, PC-3 试样表面的 SEM 形貌图中气泡的深浅程度及分布的规律性可知,与前述二次元影像测量仪和 SEM 的分析结果相一致,可以确定此料花的形成原因是水气导致的,加工过程中需要控制材料体系中的含水量。

由图 6a 可以看出, PC-4 试样的熔体前端存在与体系相容性较差的小颗粒状物质,且还存在一些空洞。可能是夹杂的气体占据了熔体的位置,导致未填充完全。由图 6b 可以明显看到试样表面形成椭圆状气泡破裂的形貌图,为典型的料花形貌特征,更加有力地证明了料花形成过程的合理性。PC-4 试样熔体的前端存在不相容的杂质颗粒(见图 6a),这与二次元影像测量仪和 Micro-FTIR 的分析结果相一致,不相容的颗粒杂质可能是导致困气产生的真正原因,PC-4 试样表面是气泡破裂后的形貌(见图 6b),说明困气产生的料花形貌可能是多种形态的。

由图 6c 可以看出, PC-5 试样表面的熔体存在较为不规则的流动,而且可以看出熔体的“藕断丝连”现象,可能是熔体中存在一些断裂的低分子量的链段,冷却过程中熔体形貌有较大差异引起的。说明料花的形成原因可能是 PC 树脂分解导致的。由于 PC 树脂分解后,分子量分布变宽,熔体黏度发生变化,产生的小分子物质形成的气泡及不同分子量分布的树脂遇到模具表壁冷却固化速度不一致,从而形成树脂分解产生的料花的特征形貌,可以用来区分其它原因导致的料花。

2.4 改性 PC 的 SEM-EDS 分析

利用 SEM-EDS 对 PC-1, PC-2, PC-3 和 PC-5 试样表面的正常区域和料花位置进行元素分析,分析结果列于表 1。

表 1 4 个改性 PC 试样表面元素能谱分析结果

试样	正常区域			料花区域		
	C	O	Si	C	O	Si
PC-1	73.83	25.08	1.09	71.56	27.00	1.44
PC-2	69.43	27.61	2.96	69.27	27.13	3.60
PC-3	71.37	28.63	/	72.64	27.26	/
PC-5	68.46	31.54	/	69.31	30.69	/

从表 1 数据可以看出,4 个不同改性 PC 试样表面的料花位置和正常位置的元素含量差别较小。

表 2 为 PC-4 试样表面料花位置和正常位置的能谱分析数据结果。

表 2 PC-4 试样表面元素能谱分析结果

元素	正常位置	料花位置
C	70.42	54.38
O	23.46	25.55
Si	5.08	2.28
Al	1.04	1.10
Na	/	3.06
Cl	/	6.46
K	/	4.25
Ca	/	2.93

由表 2 可以看出,从料花位置的元素组成来看,正常位置的元素组成主要是 C, O, Si 和 Al 四个元素,相对于正常位置的元素组成,料花位置的元素组成多出了 Na, Cl, K 和 Ca 四个元素,可能是在注射成型过程中,注塑机未清理干净或者残存其它杂质,由于 PC 的熔体黏度较大,会将杂质带出,而杂质与熔体相容性较差,夹杂的气体形成料花,夹杂的气体导致局部熔体温度过高,导致部分 PC 出现烧焦炭化现象(PC 分解产生小分子物质,严重情况下形成碳化物导致颜色变深),可能会进一步造成体系中气体增多,进而随着熔体流动,翻卷至制件表面形成料花。

2.5 不同料花产生原因与形貌的对应关系

通过对 5 种不同改性 PC 产生的料花形貌图与料花的原因进行对比分析,可以发现明显的规律,对于 PC-1, PC-2, PC-3 试样表面的料花,二次元影像测量仪和 Micro-FTIR 及 SEM 分析形貌图均出现了规律性分布的椭圆形气泡形貌,且深度较浅,与水气形成的料花相近;对于 PC-4 试样表面的料花,二次元影像测量仪和 Micro-FTIR 及 SEM 分析形貌图均可以看出黑色点及熔体的前端存在杂质,且表面发黄的特征说明树脂存在困气烧焦现象,说明该类型料花为困气导致;对于 PC-5 试样表面的料花,二次元影像测量仪和 Micro-FTIR 及 SEM 分析形貌图均出现多股熔体夹杂和气泡交汇的特征,形貌较为杂乱,部分熔体粗细不均,且表面存在发黄的微弱炭

化现象,部分熔体有“藕断丝连”痕迹,与PC树脂分解的料花形成过程相一致,可以根据上述形貌判断此类料花是由分解导致。表3列出了不同料花产生原因与形貌特征的关系,根据表3可以较好地实现改性PC中不同原因产生料花种类的鉴别。

表3 不同料花产生原因与形貌特征的关系

料花种类	形貌特征	元素分析
困气	气泡破裂并伴随轻微炭化现象	元素数量及含量存在差异
分解	气泡汇集交叉且出现“藕断丝连”痕迹	元素含量变化较小
水气	多呈现椭圆形气泡形貌,但深度较浅	元素含量差异较小

3 结论

利用二次元影像测量仪、Micro-FTIR及SEM对5种改性PC表面的料花进行了形貌分析,并根据产生椭圆形的气泡形貌与料花的形成机理中料花的形成过程相一致,实现了料花形成过程的可视化研究;另外对PC-4试样表面料花产生的原因进行了进一步研究,利用形貌图及能谱分析结果对料花形成的原因进行了定性分析,找到了该产品改善的方向。最后利用料花的不同特征形貌对不同原因产生的料花进行了定性鉴别。此项研究对于其它注射成型加工异常问题的分析具有借鉴意义。

参考文献

- [1] 刘擂文. 回收PC与ABS共混体系增韧阻燃改性研究[D]. 武汉: 湖北大学, 2017.
Liu Leiwen. Study on toughened and flame retardant modification of recycled PC and ABS blends[D]. Wuhan: Hubei University, 2017.
- [2] 黄正刚, 郝同辉, 赵辉, 等. PC回收料/ABS合金的增韧研究[J]. 胶体与聚合物, 2015(2): 75-77.
Huang Zhenggang, Hao Tonghui, Zhao Hui, et al. Toughening study of recycled PC/ABS alloy[J]. Chinese Journal of Colloid & Polymer, 2015(2): 75-77.
- [3] 魏莎莎, 林哲乔, 胡盛财, 等. 玻纤增强型聚碳酸酯注塑成型参数优化及超声波辅助成型研究[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2017, 50(5): 766-773, 789.
Wei Shasha, Lin Zheqiao, Hu Shengcai, et al. Glass fiber reinforced polycarbonate injection molding parameters optimization and ultrasonic assisted forming research[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2017, 50(5): 766-773, 789.
- [4] 王大中. 注塑产品缺陷机理及解决方案100例[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2015.
Wang Dazhong. 100 cases of defect mechanism and solution for injection molding products[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2015.
- [5] 葛勇, 王韬, 郎建林, 等. 注射成型塑化过程对聚碳酸酯性能的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2017, 33(6): 113-118.
Ge Yong, Wang Tao, Lang Jianlin, et al. Effect of injection molding plasticizing process on the properties of polycarbonate[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2017, 33(6): 113-118.
- [6] 刘晓曼. 厚壁透明件车灯导光条的注塑工艺研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2015.
Liu Xiaoman. Study on injection molding process of automotive light guide with thick and transparent wall[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2015.
- [7] 喻选, 辛勇. 聚合物注塑成型充模阶段流动取向分子机理研究[J]. 材料导报, 2018(2): 327-332.
Yu Xuan, Xin Yong. Exploration on orientation mechanism of polymer during flow stage in injection molding[J]. Materials Review, 2018(2): 327-332.
- [8] 孔玲佩, 肖作良, 段友顺, 等. 聚碳酸酯注塑工艺条件研究[J]. 工程塑料应用, 2015(5): 54-57.
Kong Lingpei, Xiao Zuoliang, Duan Youshun, et al. Study on injection molding technology of polycarbonate[J]. Engineering Plastics Application, 2015(5): 54-57.
- [9] 邱琪浩, 徐小武, 周志峰, 等. 聚碳酸酯的热稳定性能研究[J]. 化工生产与技术, 2016, 23(1): 20-23.
Qiu Qihao, Xu Xiaowu, Zhou Zhifeng, et al. Study on the thermal stability of polycarbonate[J]. Chemical Production and Technology, 2016, 23(1): 20-23.
- [10] 王克俭, 曹国荣, 杨光威, 等. 聚碳酸酯光学制品注塑成型的残余应力[J]. 高分子材料科学与工程, 2018(2): 88-92.
Wang Kejian, Cao Guorong, Yang Guangwei, et al. Residual stress in polycarbonate optical injection molded products[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2018(2): 88-92.
- [11] 胡东升. PC树脂的缺陷种类与形成原因及对策[J]. 科技资讯, 2016, 14(23): 40-41.
Hu Dongsheng. Defect types and causes of PC resins and its countermeasures[J]. Science & Technology Information, 2016, 14(23): 40-41.
- [12] 钱晶, 吴超. 聚碳酸酯加工的抗黄变性能研究[J]. 工程塑料应用, 2015(9): 115-118.
Qian Jing, Wu Chao. Study on anti-yellowing property of polycarbonate processing[J]. Engineering Plastics Application, 2015(9): 115-118.
- [13] 左军超. 聚合物熔体绕环形型腔充型流动特性的可视化研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2015.
Zuo Junchao. Visualization study on polymer filling flow behaviors of injection molding in ring-shaped cavity[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2015.
- [14] 冯刚, 林克伟, 王华峰, 等. 注塑成型可视化技术的最新研究进展及前景预测[J]. 塑料工业, 2014, 42(12): 9-12, 33.
Feng Gang, Lin Kewei, Wang Huafeng, et al. The latest techno-

- Jin Zuquan, Wu Nian. Polycarbonate resin and application[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2009.
- [7] 袁志伟,彭汉,黄文娴.PC/PBT合金增韧研究[J].合成材料老化与应用.2011,40(4):26-30.
- Yuan Zhiwei, Peng Han, Huang Wenxian. Study on toughening of PC/PBT alloy[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2011, 40(4):26-30.
- [8] 孙树林,童艳玲,邹德音,等.核壳结构改性剂对PBT/PC共混物的增韧作用[J].高分子材料科学与工程.2011,27(12):52-55.
- Sun Shulin, Tong Yanling, Zou Deyin, et al. Toughening of PBT/PC blends with core-shell modifier[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2011, 27(12):52-55.
- [9] 魏刚,彭娅,龙盛如,等.PBT/PC/E-MA-GMA三元共混体系的力学性能与亚微相态[J].合成树脂及塑料,2006,23(5):61-64, 69.
- Wei Gang, Peng Ya, Long Shengru, et al. Mechanical properties and sub-microscopic phase state of ternary system of PBT/PC/E-MA-GMA[J]. China Synthetic Resin and Plastics.2006, 23(5):61-64, 69.
- [10] Bai Huiyu, Zhang Yong, Zhang Yinxi, et al. Toughening modification of PBT/PC blends with PTW and POE[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2006, 101:54-62.
- [11] Kalkar A K, Siesler H W, Pfeifer F, et al. Molecular orientation and relaxation in PBT/PC blends[J]. Polymer, 2003, 44:7 251-7 264.
- [12] 吕通建,段伟,李文龙,等.KTR-6C对PC/PBT共混体系性能的影响[J].塑料工业,2006,34(4):20-22.
- Lyu Tongjian, Duan Wei, Li Wenlong, et al. Effect of KTR-6C on property of PC/PBT alloy[J]. China Plastics Industry, 2006, 34(4):20-22.
- [13] 吴承旭,周健,李雪飞,等.PBT/PC合金塑料的性能与微观结构[J].化工学报,2010,61(6):1 571-1 576.
- Wu Chengxu, Zhou Jian, Li Xuefei, et al. Properties and microstructure of polybutylene terephthalate/polycarbonate alloy plastics[J]. CIESC Journal.2010, 61(6):1 571-1 576.
- [14] 朱亚峰.乙烯-丙烯酸酯-甲基丙烯酸缩水甘油酯三元共聚物对PC/PBT共混体系性能的影响[J].塑料工业,2009, 37(S1):51-53.
- Zhu Yafeng. Effect of AX8900 on the properties of PC/PBT blends[J]. China Plastics Industry, 2009, 37(S1):51-53.
- [15] Emiliano L, Jozesf K K. Impact modification of PA6 and PBT by epoxy-functionalized rubbers[J]. Macromolecular Symposia, 2003, 202:59-66.
- [16] Tsai C H, Chang F C. Polymer blends of PBT and PP compatibilized by ethylene-co-glycidyl methacrylate copolymers[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1996, 61:321-323.
- [17] Balakrishnan S, Neelakantan N R, Saheb D N, et al. Rheological and morphological behaviour of blends of polycarbonate with unmodified and maleic anhydride grafted ABS[J]. Polymer, 1998, 39:5 765-5 771.
- [18] 陈玉君,侯巩.聚对苯二甲酸丙二酯的热降解性能研究[J].聚酯工业,2005,18(2):27-30.
- Chen Yujun, Hou Gong. Study on heat degradation of poly(tetramethylene terephthalate)[J]. Polyester Industry, 2005, 18(2):27-30.

(上接第102页)

- logical advances and prospect of injection molding visualization technology[J]. China Plastics Industry, 2014, 42(12): 9-12, 33.
- [15] 杨磊,姜开宇,王龙飞.物理可视化技术在聚合物成型分析中的应用[J].精密成形工程,2016(1):1-6, 36.
- Yang Lei, Jiang Kaiyu, Wang Longfei. Application of physical visualization technology in polymer molding analysis[J]. Journal of Netshape Forming Engineering 2016(1): 1-6, 36.
- [16] 吉智.超声辅助注射成型充模流动特性的可视化研究[D].大连:大连理工大学,2014.
- Ji Zhi. Visualization research on polymer filling flow characteristics of ultrasonic-assisted injection molding[D]. Dalian:Dalian University of Technology, 2014.
- [17] 姜开宇,左军超,杨磊,等.聚合物熔体环绕型芯充型流动行为的物理可视化分析[J].高分子材料科学与工程,2016,32(1):120-124.
- Jiang Kaiyu, Zuo Junchao, Yang Lei, et al. Visualization analysis on polymer filling behavior of injection molding of ring-shaped workpieces[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2016, 32(1): 120-124.

本刊声明

近期有不法网站和个人假借本刊名义向广大读者征稿,同时收取高额注册费、审稿费、版面费。本刊特此声明:《工程塑料应用》为中国兵器工业集团第五三研究所(山东非金属材料研究所)主办,杂志社所在地为山东省济南市,本刊唯一合法投稿邮箱为 www.epa1973.com,本刊未委托任何机构和个人从事征稿和组稿业务。请广大作者牢记本刊投稿邮箱,辨别来电属地,不要给个人账号汇款,防止受骗。本刊保留对相关网站和个人追究法律责任的权利。

(工程塑料应用杂志社)