

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.02.014

注射速度对高透光性 PMMA 制件光学性能的影响^{*}

王忠辉, 辛勇

(南昌大学机电工程学院, 南昌 330031)

摘要: 以某平板类仪表板模具为例, 以聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 为实验材料, 通过单因子实验研究了注射速度对高透光性制件的应力双折射、雾度和透光率的影响。结果表明, 随着注射速度 (螺杆速度) 由 25 mm/s 至 55 mm/s 逐步提高, 相同点位处制品的应力双折射率呈准线型逐渐下降的趋势, 雾度呈倒“V”趋势变化, 且在注射速度为 30 mm/s 时达到极大值, 而透光率则与雾度变化趋势相反, 同样在注射速度为 30 mm/s 时达极小值。在注射速度一定的条件下, 随着测量点距离进浇位置的增大, 应力双折射率会在浇口前方出现一个峰值, 并以该峰值为中心呈下降趋势, 雾度逐渐升高, 透光率总体呈下降趋势。

关键词: 聚甲基丙烯酸甲酯; 注射速度; 应力双折射; 雾度; 透光率

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)02-0064-05

Effect of Injection Velocity on Optical Properties of High Transmittance PMMA Injection Molded Parts

Wang Zhonghui, Xin Yong

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract : By single factor experiment, the effect of injection velocity on the stress birefringence, haze and light transmittance of high transmittance parts was studied, considering poly(methyl methacrylate)(PMMA) flat shell instrument panel mould as an example. The results show that at the same point of the parts, with the injection velocity (screw speed) gradually increasing from 25 mm/s to 55 mm/s, the stress birefringence show a gradual downward trend and close to quasi-linear, the haze appears inverted "V" change trends, and reaches a maximum value when the injection velocity is 30 mm/s. The change trend of the light transmittance is opposite to the haze, it reaches the minimum when the injection velocity is 30 mm/s. Under certain conditions of the injection velocity, with the distance between measuring point and the gate position increasing, stress birefringence will appear a peak in front of the gate, and with the peak as the center showing a downward trend, the haze gradually increase, light transmittance show a downward trend.

Keywords : poly(methyl methacrylate) ; injection velocity ; stress birefringence ; haze ; transmittance

聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 是迄今为止合成透明材料中质地最优异、价格又比较适宜的品种。其作为性能优异的透明材料广泛应用于各种灯具、光学玻璃、仪表表盘、罩壳、光导纤维、防弹玻璃、各种医用、军用等领域^[1]。在注塑产品的生产中, 注射速度、熔体温度、模具温度和保压压力等工艺参数都会对产品的光学性能产生影响, 内应力、雾度和透光率是表现光学性能的重要参数^[2-3]。R. Wimberger-Friedl^[4-5] 研究发现双折射与透明材料本身和制品的残余应力有关, 并且分子取向会使制件产生内应力。Yu Liyong 等^[6] 研究结果表明制件结构复制度的主要影响因素是注射速度和模具温度, 这也可以间接说明注射速度对制件的表面光泽度有较大的影响。G. D. Shyu 等^[7-8] 用模拟的方法研究了双折射对制件光学性能的影响, 结果表明双折射值会沿着

靠近浇口的方向逐渐增加。A. I. Isayev^[9-10] 在自由淬火和注射成型无定型聚合物的双折射对比实验中发现, 分子取向主要由残余流动应力引起。胡爱华^[11] 研究得出结晶度、原材料黄色指数和抗黏剂的种类及加入的量都会对薄膜雾度有影响。陈孟磊等^[12] 研究发现, 随着注射速度的上升, 制件的表面光泽度得到提高, 提高注射速度可以减少注塑件的熔接痕。葛勇等^[13] 通过研究注射工艺参数对聚碳酸酯残余应力的影响得出不同成型参数下制得的试

^{*} 国家自然科学基金项目 (51365038), 江西省科技支撑计划项目 (20122BBE500044, 20151BBE50033), 江西省高校科技落地计划项目 (KJLD12058)

联系人: 辛勇, 教授, 博士生导师, 主要从事注塑成型新技术及精密模具数字化设计与制造研究

收稿日期: 2016-12-07

样其残余应力分布趋势基本相同,而主要的影响参数是熔体温度。王正有等^[14]在研究加入成核剂对聚合物透光率的影响中得出,加入成核剂可以使球晶的尺寸减小,使可见光在球晶界面上不再发生折射、散射,故聚丙烯的透光率会提高。黄峡宏等^[15]在研究注射成型聚苯乙烯的取向和残余应力得出浇口处的分子取向比远离浇口的高。徐文莉^[16]研究透明塑件的光学性能,表明制件在充填末端的位置的透光率会随着注射速度的不同而变化,并且在不同位置处的变化趋势不同。笔者以某仪器表盘的 PMMA 平板件进行研究分析,通过注射成型得到制件,用雾度/透光率测定仪及应力仪对注塑产品的光学性能进行测量,对得到的数据进行分析处理,以研究注射速度对制件光学性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PMMA: CM-207, 台湾奇美实业股份有限公司生产。

1.2 主要设备及仪器

精密注塑成型机: M-100C 型, 日本 MEIKE 公司;

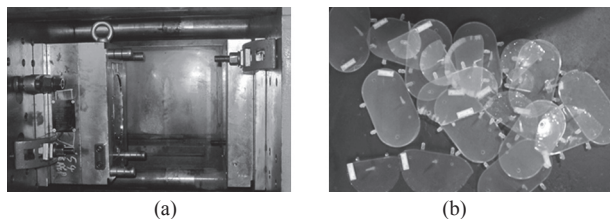
移动式蒸汽型快速热冷注塑控制机: J11-A-170 型, 深圳华深研股份有限公司;

应力仪: WYL-3 型, 上海仪电物理光学仪器有限公司;

透光率/雾度测定仪: SGW-820 型, 上海仪电物理光学仪器有限公司。

1.3 实验模具

实验模具: 本研究所采用的实验模具以及对应的实验样品如图 1 所示。



a—某仪表面板模具; b—实验样品

图 1 实验模具及样品

该产品为日本某公司仪器表盘的注塑成型零件,为平板类零件,壁厚 2.5 mm,采用 PMMA 材料制成。由于是仪器表盘零件,作为一个表盘覆盖件,在使用中要能清晰地看到表盘数据,这就要求其具有良好光学性能。内应力、雾度和透光率都是材料

光学性能的决定性因素,笔者对不同注射速度下的产品的光学性能进行测试分析,以期得到更好的工艺方案,提高产品的光学性能。

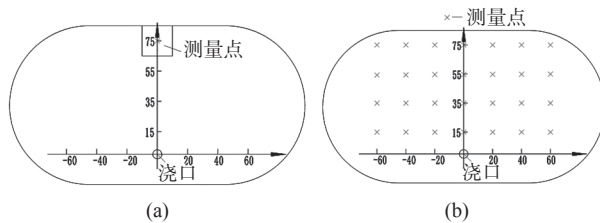
1.4 性能测试

(1) 实验过程。

具体实验过程中,模具温度由模温机控制,熔料温度 220 °C、注射压力 130 MPa、保压压力 60 MPa。采用单因子法以等差数列的方式依次设定注射速度,分别为 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 mm/s, 如表 1 所示。每次实验前 10 个产品不作为样品,自第 11 个产品起取 6 个作为最终实验样品,且在脱模空放 48 h 之后进行相关测量实验。

(2) 取样策略。

针对注射速度对制件相同点位处光学性能的影响方面,为了能更准确地从实验数据中反映出注射速度对光学性能的影响大小,在测试时测量点应选择受其他参数影响较小的位置。具体的测试过程,由于测量仪器可以直接对样品进行测量,而且直接把制件作为试样可以使测量时更易装夹,也能防止由于取样时试样的刮花和外加应力对测量数据的影响,所以测量时只对制件进行划线处理,在距离浇口竖直方向上的 75 mm 处,以该点为中心画一个 20 mm × 20 mm 的矩形,如图 2a 所示。针对注射速度对制件不同点位处光学性能的影响进行实验分析,测量点的选择如图 2b 所示,以浇口为原点,测量点之间横纵坐标间隔都为 20 mm,共需测量制件上的 28 个点,这里也不进行取样,直接对制件上的测量点进行测量。



a—相同点位; b—不同点位

图 2 测量与取样策略

(3) 测试及数据处理方法。

在测量不同注射速度下各样品的雾度、透光率和应力时,使矩形的中心对正雾度透光率测量仪和应力仪测量位置圆心,在测量该位置的内应力时若整个视场照度无法保证全部一致,则尽量保证中心点及其周围的照度一致的情况下的测量值作为测量结果。对每个样品进行三次测量后取平均值,然后

将所得数据采用 Origin 软件进行绘图,得到直观的变化曲线图。

测量同一注射速度下的样品在不同位置处的雾度、透光率和应力时,在测量中使每个测量点对正测量仪器的圆心,测量内应力时从目镜中寻找照度一致且以该中心点及其周围为主,同样对每个测量点测量三次取平均值,对所得到的数据采用 Origin 软件绘图得到雾度、透光率及应力的变化分布等。

2 注射速度与制件光学性能的关系

2.1 内应力

制件的内应力一般是由热诱导和流动诱导产生,残余热诱导应力主要在制件的冷却阶段产生。残余流动诱导应力相对较小,一般比热诱导应力小一个数量级^[17],但是流动诱导应力是影响注塑产品双折射率的主要因素,主要影响制品的力学和光学性能。实验使用应力仪测试不同注射速度条件下产品的光程差,由光程差得到双折射率,双折射率大小反映内应力大小,光程差与双折射率的关系如公式(1)所示:

$$R = (n_1 - n_2)d = \frac{\lambda\theta}{180^\circ} \quad (1)$$

式中: λ 为波长 560 nm, θ 为度盘转过的角度, n_1, n_2 为寻常光与非常光的折射率差。

根据对不同注射速度条件的制件应力测试结果,带入上式得到双折射率数据并绘制曲线,结果如图 3 所示。

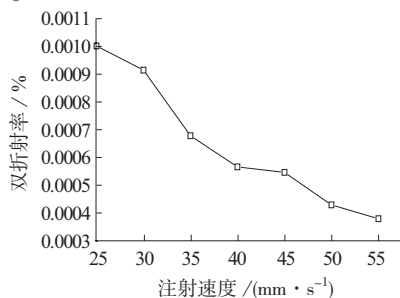


图3 不同注射速度下的应力双折射率

随着注射速度的上升,双折射率呈准线性的下降趋势,并且注射速度为 30~40 mm/s 时下降速度较快。这可能是由于在注塑过程中,先进入模腔的熔体表层在接触模腔后迅速冷却并附着于内壁,心层熔体在流动中会对附着于表层的熔体分子链末端有拖拽作用,使成型后的产品表层产生取向从而残留下来流动应力。而快速充模会引起表层的高度取向,但内部取向小,因为在一定温度条件下,快速充模会维持其制品心部在较高的温度下冷却,使冷

却时间加长,高分子松弛时间延长使解取向能力加强,所以心部取向小。慢速充模会延长流动时间,实际熔体温度降低,剪切力增加。熔体的实际温度与玻璃化转变温度或熔点的区间比快速充模区间小,则应力松弛时间也短,所以解取向作用小;另一方面慢速充模熔体的温度比快速充模时低,解取向作用减小,取向作用会增加。所以提高注射速度能降低制件心部的取向,使制件的双折射率降低。

2.2 雾度和透光率

雾度是指材料散射光通量与透过材料光通量之比的百分数,是衡量透明或半透明材料不清晰或混浊的程度及表征散射的指标。透光率指透过透明或半透明体的光通量与其入射光通量的百分率。测试数据结果如图 4 所示,由图 4 可以看出,雾度会随着注射速度的提高呈现先升后降的趋势;而透光率则与雾度相反,呈现出先降后升的趋势。

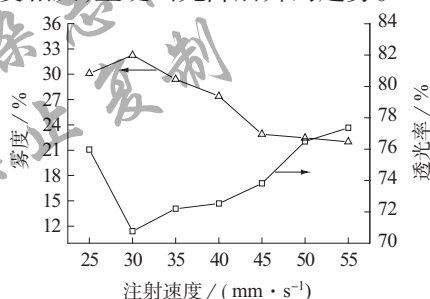


图4 不同注射速度下的雾度和透光率

在充模过程中,注射速度的提高会出现更明显的充模流痕,但可以减少熔接痕,提高注塑件表面光泽度^[18];而由前面对制件的双折射测试结果知道,提高注射速度可以降低制件的双折射率。充模流痕、熔接痕、表面光泽度、双折射等都是影响制件雾度和透光率的因素。测试结果表现出的变化趋势是这些因素的共同影响造成的。在注射速度小于 30 mm/s 时,注射速度的提高会使制件的充模流痕提高,而双折射率降低则较少,使制件透光率降低,雾度升高;而在注射速度大于 30 mm/s 时,提高注射速度能有效降低制件的双折射率和熔接痕并提高制件的表面光泽度,使制件的透光率升高,雾度降低。

3 注射速度对制件各点处光学性能的影响

3.1 内应力

由于熔体从浇口注入型腔的过程中,型腔各点处的注射速度是随着该点相对浇口的距离的变化而变化的,所以制件各点处的光学性能仍然受该点注射速度影响。图 5 为应力双折射分布等值图。从

图 5 可以看出,制件应力双折射值与熔体注射速度有很明显的关系。充模过程中,不同点处的注射速度以浇口为中心递减,双折射率的变化则主要受浇口的影响,在浇口前方出现一个峰值,并以峰值点为中心呈降低趋势。另外应力双折射值没有以中间 Y 轴对称分布,而是与 Y 轴存在一个夹角。在应力峰值周围,应力双折射值在 X 轴方向上的变化率较大,而沿 Y 轴方向上的变化率较小。

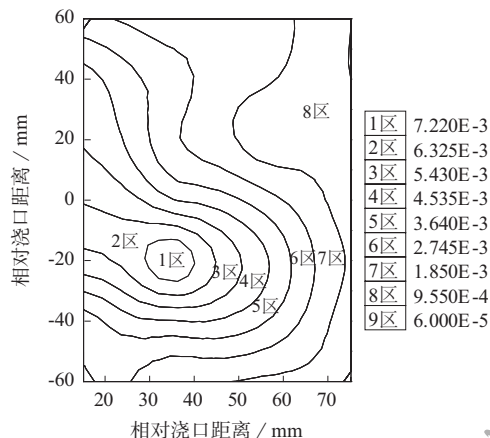


图 5 应力双折射分布等值图

熔体充填时,由于靠近浇口的位置的熔体最先与模壁接触冷却,且这个位置的熔体与模壁接触的时间比其他位置更长,这就会导致在充填初期,该位置的固化层厚度比其他位置更厚。熔体在经过这个位置时,流动速度要高于其他位置,剪切速率和剪切应力增大,熔体的取向度比其他位置高,双折射率随之上升。而在注塑后期保压阶段,浇口处熔体的流动速度很慢且温度很高,冷却时间长,应力可以有较长的进行松弛,解取向作用大。而浇口前方虽然熔体流动更慢,但是此时熔体的温度较低,应力不能有效地得到松弛,解取向作用小,制件在该位置的取向被保留了下来,所以在浇口前方出现了应力峰值。而制件的双折射值大小没有对称于浇口分布,可能是由于重力及其他因素的影响。

3.2 雾度和透光率

图 6 为雾度及透光率分布等值图。从图 6a 可以看出,雾度变化以浇口为中心;随着与浇口距离的增大,雾度呈增大趋势。在浇口附近,半径为 50 mm 的范围内,雾度保持较低的水平且基本不变;在这个范围以外,随着距离的增大,雾度以较快的速度增加。这可能是由于在充填过程中,熔体流动前锋进入型腔流动相对较快且温度较高,在充填初期位置的制件表面较光滑,在充填末端的熔体流动速

度下降且在模腔内经过长程流动后温度降低,由于前沿熔体与型腔壁接触后冷却形成凝固壳层,壳层受到熔体流动力的作用,时而脱离型腔表面造成冷却不一致,最终在制品上形成波纹状的痕迹。流痕会使产品表面的光泽度降低,从而雾度会随之升高。

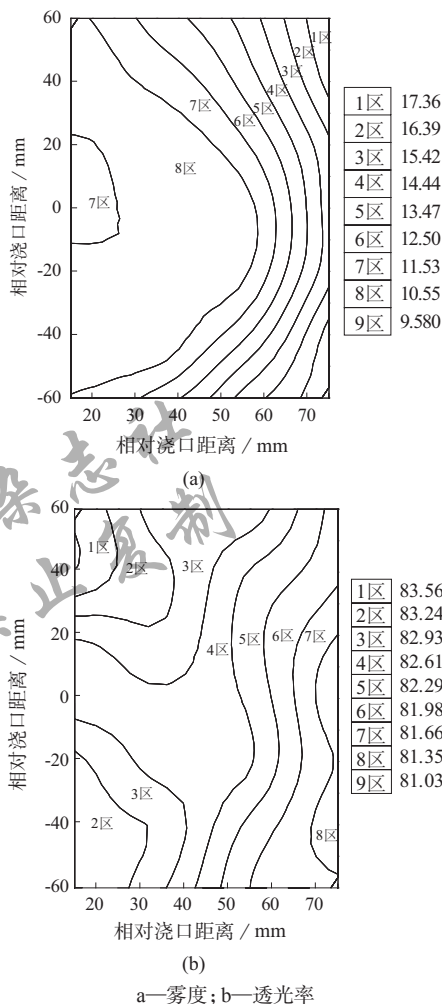


图 6 雾度及透光率分布等值图

制件的透光率分布等值图如图 6b 所示,透光率在浇口的左右两侧最高,而在浇口前方的透光率保持一个中间值;总的变化趋势是随着与浇口的距离增大,制件的透光率逐渐变小。浇口前方透光率保持中间值的位置正好在应力双折射峰值位置,并且在这个区域的透光率要低于浇口两侧,这可能是由于产品的双折射率较高使得光通量降低影响透光率。而在充填末端,同样由于熔体流动速度以及熔体自身温度的降低更易产生流痕,降低产品表面光泽度使透光率下降。在充填末端由于熔体的流动会产生波纹痕,所以透光率降低。

4 结论

(1) 注射速度的提高可以使得 PMMA 材料制件

内部的大分子取向加强,导致应力双折射值呈准线性降低,应力双折射率的降低可以有效提高透光率,并使雾度降低;但注射速度的提高也会使产品流痕更明显,降低产品透光率,雾度升高,所以随着注射速度的升高,相同点位处制品的雾度呈倒“V”趋势变化,而透光率则与雾度变化趋势相反。

(2) 在相同注射速度条件下,不同点位处的制件的应力、雾度和透光率也不同。随着制件测量点远离进浇位置,应力双折射率会在浇口前方出现一个峰值,并以该峰值为中心呈下降趋势,雾度逐渐升高,透光率总体呈下降趋势。

参考文献

- [1] Chen X, Lam Y C, Li D Q. Analysis of thermal residual stress in plastic injection molding[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 101(1):275-280.
- [2] 蒋丰泽,刘义伦,陈磊,等. 工艺参数对注射压缩成型微透镜阵列基板双折射率的影响[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2014, 45(8):2610-2616.
Jiang Fengze, Liu Yilun, Chen Lei, et al. Effects of compression parameters on birefringence of injection compression molded microlens array substrate[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014, 45(8):2610-2616.
- [3] Lee Y B, Kwon T H, Yoon K. Numerical prediction of residual stresses and birefringence in injection/compression molded center-gated disk. Part II: Effects of processing conditions[J]. Polymer Engineering & Science, 2002, 42(11):2273-2292.
- [4] Wimberger-Friedl R, De Bruin J G. Birefringence in polycarbonate: Molecular orientation induced by cooling stresses. I. Free quenching[J]. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 1993, 31(8):1041-1049.
- [5] Wimberger-Friedl R. The assessment of orientation, stress and density distributions in injection-molded amorphous polymers by optical techniques[J]. Progress in Polymer Science, 1995, 20(3):369-401.
- [6] Yu Liyong, Koh C G, Lee L J, et al. Experimental investigation and numerical simulation of injection molding with micro-features[J]. Polymer Engineering & Science, 2002, 42(5):871-888.
- [7] Shyu G D, Isayev A I, Lee H S. Numerical simulation of flow-induced birefringence in injection molded disk[J]. Korea-Australia Rheology Journal, 2003, 15(4):159-166.
- [8] Isayev A I, Shyu G D, Li C T. Residual stresses and birefringence in injection molding of amorphous polymers: simulation and comparison with experiment[J]. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 2006, 44(3):622-639.
- [9] Isayev A I. Orientation development in the injection molding of amorphous polymers[J]. Polymer Engineering & Science, 1983, 23(5):271-284.
- [10] Isayev A I, Crouthamel D L. Residual stress development in the injection molding of polymers[J]. Polymer-plastics technology and engineering, 1984, 22(2):177-232.
- [11] 胡爱华. 双向拉伸聚丙烯薄膜的雾度影响因素[J]. 塑料包装, 2012(1):26-27.
Hu Aihua. Biaxially oriented polypropylene film of haze influencing factors[J]. Plastics Packaging, 2012(1):26-27.
- [12] 陈孟磊,郝军,邓富强. 注塑工艺对聚丙烯 EP548N 光学性能的影响[J]. 山东化工, 2013, 42(8):110-112.
Chen Menglei, Hao Jun, Deng Fuqiang. Effect of injection molding process on optical properties of polypropylene EP548N[J]. Shandong Chemical Industry, 2013, 42(8):110-112.
- [13] 葛勇,王韬,厉蕾. 注射成型工艺参数对聚碳酸酯残余应力的影响[J]. 材料工程, 2014(1):24-29.
Ge Yong, Wang Tao, Li Lei. Effect of injection molding parameters on residual stress of polycarbonate[J]. Journal of Materials Engineering, 2014(1):24-29.
- [14] 王正有,王苓,周红波. α 成核剂对聚丙烯结晶,透光率与力学性能的影响[J]. 塑料科技, 2011, 39(2):90-93.
Wang Zhengyou, Wang Ling, Zhou Hongbo. Effect of α nucleating agent on crystallization, light transmittance rate and mechanical property of polypropylene[J]. Plastics Science and Technology, 2011, 39(2):90-93.
- [15] 黄峡宏,曹阳根. 注射成型聚苯乙烯的取向和残余应力[J]. 高分子材料科学与工程, 2000, 16(5):131-133.
Huang Xiaohong, Cao Yanggen. Orientation and residual stresses in injection-molded polystyrene[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2000, 16(5):131-133.
- [16] 徐文莉. 透明注塑件残余应力与光学性能的研究[D]. 郑州:郑州大学, 2006.
Xu Wenli. Research on residual stress and optical performance of transparent injection molded parts[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2006.
- [17] Isayev A I, Shyu G D, Li C T. Residual stresses and birefringence in injection molding of amorphous polymers: simulation and comparison with experiment[J]. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 2006, 44(3):622-639.
- [18] 肖长江,刘春太,申长雨. 注塑制件熔接痕的形成,性能和预测[J]. 工程塑料应用, 2003, 31(3):17-20.
Xiao Changjiang, Liu Chuntai, Shen Changyu. Formation, performance and prediction of weld mark in injection molding[J]. Engineering Plastics Application, 2003, 31(3):17-20.