

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.06.021

新型高分子材料透明制品内应力分布检测装置的研制

陈金伟^{1,2}, 杨铃¹, 吴丽旋¹, 翁秋仙¹, 梁向¹, 汤锬琪¹, 苏似鑫¹

(1. 广东轻工职业技术学院轻工技术学院, 广州 510300 ;

2. 广东轻工职业技术学院, 广东高校高分子材料加工工程技术开发中心, 广州 510300)

摘要: 高分子材料制品普遍存在内应力, 而内应力分布不均匀或过大均会使制品产生翘曲变形或应力开裂的缺陷, 从而影响制品的正常使用。针对此类问题自主研发了一种基于应力双折射原理可视化表征高分子材料透明制品内应力分布的新装置, 并利用该装置系统研究了不同注射成型工艺参数对聚苯乙烯 (PS)、聚碳酸酯 (PC) 等典型高分子材料透明制品内应力的影响。结果表明, 注塑压力均会造成 PS 及 PC 制品内应力增大, 但注射速度的增大使 PC 制品内应力增大, 而对 PS 的影响则不明显; 保压时间增加则会降低 PS 制品的内应力, 而对 PC 内应力影响则不明显, 该实验结论为今后寻求有效降低高分子材料制品内应力的措施奠定了理论与实践基础。

关键词: 高分子材料; 透明制品; 内应力分布; 装置

中图分类号: TQ321 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)06-0113-05

Development of a Novel Internal Stress Distribution Device for Transparent Polymer Materials Products

Chen Jinwei^{1,2}, Yang Ling¹, Wu Lixuan¹, Weng Qiuxian¹, Liang Xiang¹, Tang Siqi¹, Su Sixin¹

(1. College of Light Chemical Technology, Guangdong Industry Polytechnic, Guangzhou 510300, China ; 2. Guangdong Polymer Material Processing Engineering Technology Development Center, Guangdong Industry Polytechnic, Guangzhou 510300, China)

Abstract : The polymer products in daily use generally have internal stress, and the uneven or excessive distribution of internal stress can cause warpage or stress cracking, which will affect the normal use of products. In view of these problems, a novel device based on stress birefringence principle was developed to visualize the internal stress quantity and distribution of transparent polymer products. The influence of different injection molding process parameters on the internal stress of transparent polymer products, such as polystyrene (PS) and polycarbonate (PC) was studied. The internal stress of products under different process parameters was summarized. The results show that the injection pressure both could increase the internal stress of PS and PC products and the increase of injection speed could increase the internal stress of PC products, but the effect on PS products is not obvious. While the increase of holding time would reduce the internal stress of PS products, but the effect on PC internal stress is not obvious. The results can lay a theoretical and practical foundation for seeking effective measures to reduce the internal stress of polymer materials products in the future.

Keywords : polymer materials ; transparent product ; internal stress distribution ; device

高分子材料作为现代工业和高新技术产业的重要基石, 已经发展成为我国国民经济的基础产业和国家安全必不可少的材料。目前许多高分子材料透明制品已经被广泛应用到日常生活中, 如手机屏幕、光学镜片、饮料瓶等。日常使用的高分子材料制

品普遍存在内应力, 而内应力分布不均匀或过大均会使制品产生翘曲变形或应力开裂的缺陷, 从而影响制品的正常使用^[1-4]。制品产生内应力的原因是加热熔融后的物料在加工过程中受到很多因素影响而致使制品内部产生不同的应力分布^[5-8]。我们知

基金项目: 广东轻工职业技术学院 2017 年科技成果培育项目 (KJPY002), 广东轻工职业技术学院 2017 年拔尖人才自选项目 (152241202), 广东轻工职业技术学院“黄大年”式教师团队项目 (150122202), 2019 年福建工程学院重点科研创新平台开放基金项目 (KF-C19004)

通讯作者: 陈金伟, 博士, 副教授, 主要从事高分子材料加工技术研究 E-mail : 2005103052@gdtic.edu.cn

收稿日期: 2020-04-03

引用格式: 陈金伟, 杨铃, 吴丽旋, 等. 新型高分子材料透明制品内应力分布检测装置的研制及应用 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(6):113-117.

Chen Jinwei, Yang Ling, Wu Lixuan, et al. Development and application of a novel internal stress distribution device for transparent polymer materials products[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(6):113-117.

道目前消费者对于制品品质要求越来越高,迫切需要对制品内应力进行全面深入研究,但内应力的可视化表征为研究开展带来了较大阻碍,而针对内应力可视化表征手段开发及利用可视化手段进行内应力变化规律方面的研究却又鲜见报道。针对以上问题本课题组研制了一种新型内应力检测装置,并利用该检测装置对不同注射工艺参数条件下聚苯乙烯(PS)、聚碳酸酯(PC)制品内应力分布规律进行了实验研究。此外,PS及PC均属于通用型材料,广泛应用于塑料制品的生产中,因此研究不同工艺条件下该类材料制品的内应力分布规律本身亦具有较好的现实及经济意义。

1 高分子材料透明制品内应力检测装置的研制

1.1 检测装置原理

根据已有研究成果^[9-14],应力会造成物体出现双折射效应(光弹效应),针对透明物品(晶体)可通过偏振光干涉色法可以将该双折射效应展示出来,其原理如图1所示。

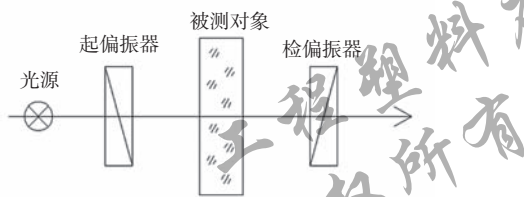


图1 偏振光干涉色法原理

起偏振器和检偏振器主平面互相垂直,如果不放被测对象在起偏振器和检偏振器之间,则由检偏振器观察到的是全暗视场,或者称其为消光视场;如果放在中间的是没有双折射效应的被测物体时,则看到的同样会是全暗视场;若在中间放置有应力双折射现象的被测物体,则经过起偏振器后的偏振光在该物体内形成具有一定光程差的寻常光与非寻常光,通过检偏振器则可在被测物体表面观察到干涉色,如图2所示,透明塑料盒的干涉色,图中所示彩色条纹即可表明制品内部应力的分布状况,从而让无法肉眼观察到的内应力实现可视化,使内应力“无可遁形”。

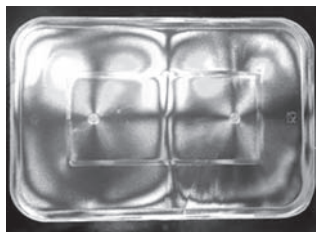


图2 在透明高分子材料制品表面的内应力分布干涉条纹

1.2 检测装置的研制

针对检测及表征透明高分子材料制品内部残余应力即内应力的问题,利用材料自身应力双折射即光弹效应的性质并利用偏振光干涉色法,开发研制出一种新型透明制品内应力检测仪器,能够以彩色干涉条纹图案将高分子材料透明制品内部应力进行“可视化”表征出来,从而实现快速地检测与表征透明高分子材料制品的内应力,该装置整体结构装配图,如图3所示。

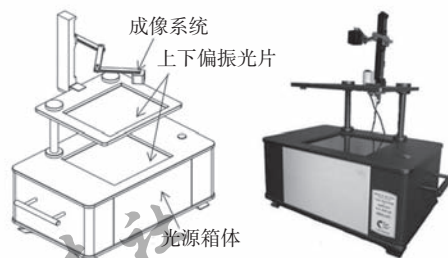


图3 新型高分子材料透明制品内应力检测装置

该检测装置在结构设计上呈长方体形,该装置主要部件由上下两块偏振光片、光源箱体和带有WiFi功能的在线成像系统组成。仪器两边设计有两个手柄,方便搬运;底部支撑脚采用弧形垫脚设计,增加了装置的稳定性。整个装置采用高品质铝合金制成。该装置具有应用快速便捷、操作简单和在线实时成像等优点,且该检测装置应用范围广,可以用于医疗制品、汽车制造、食品饮料包装、高端光学制品等存在大量透明制品的行业。目前该装置已经获得专利授权。

该装置使用方法非常简单快捷,步骤如下:

(1) 首先接通电源,并打开灯光开关,此时整个视野将是暗视场。

(2) 将样品置于下偏振片上,通过上部的偏振片观察制品:存在应力的部位显示彩色条纹,没有应力的部位将保持不变色;有彩色条纹较深的位置,是应力比较多的集中区,因此可以观测到应力在制品上的大小及分布情况。

(3) 利用成像系统可以实现在线实时拍照,通过该系统自带WiFi可实现检测结果的互联网传送。

1.3 检测装置的创新点

该检测装置的创新点主要体现在以下几个方面:

(1) 应用方面:具有快速便捷、无损制品功能的特点。检测结果可以立即得出,减少了等待和分析的时间,只需要通过肉眼的观察即可判断检验结果,

由此可应用于各个需要检测透明塑料制品的行业。另外检测时不需要破坏制品,对被检对象不会造成任何功能破坏,属于无损检测。

(2) 操作方面: 具有简单易用、检测成本低廉等特点,用于应力分布快速检测时,只需使用者能够比干涉条纹图样即可,简单易用,检测成本较低。

(3) 功能方面: 与市场同类同等产品相比具有在线实时成像功能,可实现检测结果的网络互联实时传送;采用可充电式移动电源,避免了固定电源的使用空间限制;在检偏振片上贴了磨砂膜,去除了干扰光,使得观察视野更加清晰。

(4) 外观方面: 与市场同类产品相比,主体部分采用矩形构造,降低了仪器放置时的不稳定性,从而在观察的时候提供一个相对稳定的环境,方便观察;观察目镜采用长方形的目镜,可以拓宽观察视野(尤其针对塑料瓶坯)。

2 内应力分布检测装置的应用

利用该装置研究了不同注射工艺参数对 PS、PC 等典型高分子材料所成型透明制品内应力的影响。

2.1 主要原料

PS: PG33, 台湾奇美实业股份有限公司;
PC: 6550, 德国拜耳公司。

2.2 主要设备

塑料注射成型机: SA1600/540 型, 宁波海天塑机集团有限公司;

手机镜片模具: 广州现代塑料模具厂;

电热鼓风干燥箱: SD101-3A 型, 南通华泰实验仪器有限公司;

内应力检测装置: 自制。

2.3 制品制备

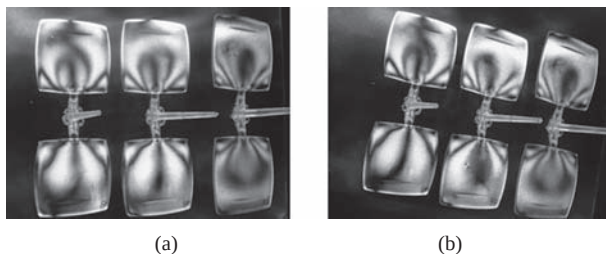
将 PC 粒料置于电热鼓风干燥箱中, 设置温度为 140°C 干燥 2 h 后, 在其他工艺条件不变的情况下, 通过改变注塑压力、注射速度、保压时间等参数注射成型 PC 镜片。PS 粒料不需干燥, 其他制样过程与 PC 一样。

2.4 注射成型工艺参数对 PS 镜片内应力的影响

(1) 注塑压力对 PS 镜片内应力的影响。

不同注塑压力条件下成型的 PS 镜片内应力分布如图 4 所示, 该图为在原料和其他工艺参数相同、只改变注塑压力时的 PS 镜片应力条纹分布图。图 4a 中 PS 镜片的注塑压力从左向右逐渐递增, 依次为 1.3, 2.5, 5.0 MPa; 图 4b 中 PS 镜片的注塑压力

从左向右逐渐递增, 依次为 2.5, 3.5, 5.0 MPa。由图 4 可见, 随着注塑压力的增大, PS 镜片应力条纹颜色变深且条纹数量逐渐增多, 即 PS 镜片的内应力增大。

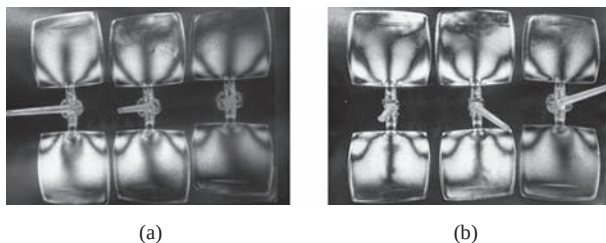


注塑压力 (从左至右): a—1.3, 2.5, 5.0 MPa; b—2.5, 3.5, 5.0 MPa

图 4 不同注塑压力条件下的 PS 镜片内应力条纹分布图

(2) 注射速度对 PS 镜片内应力的影响。

不同注射速度条件下成型的 PS 镜片内应力分布如图 5 所示。图 5 为在原料和其他工艺参数都相同、只改变注射速度时的 PS 镜片应力条纹分布图。图 5a 中 PS 镜片的注射速度分别为 5%, 15% 和 30%; 图 5b 中 PS 镜片的注射速度分别为 20%, 25% 和 28%。由图 5 可见, 随着注射速度的增大, PS 镜片的应力条纹分布没有明显变化, 说明注射速度对 PS 镜片的内应力影响不大。

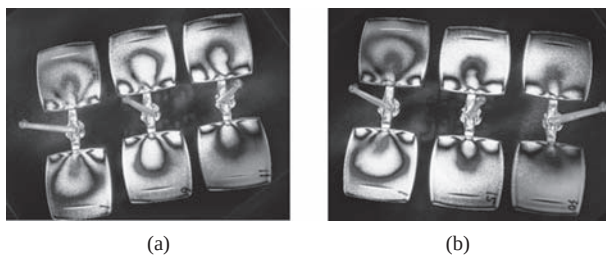


注射速度 (从左至右): a—5%, 15%, 30%; b—20%, 25%, 28%

图 5 不同注射速度条件下的 PS 镜片内应力条纹分布图

(3) 保压时间对 PS 镜片内应力的影响。

不同保压时间条件下成型的 PS 镜片内应力分布如图 6 所示, 该图为在原料和其他工艺参数相同、只改变保压时间时的 PS 镜片应力条纹分布图。



保压时间 (从左至右): a—1, 6, 11 s; b—1, 15, 30 s

图 6 不同保压条件下的 PS 镜片内应力条纹分布图

图 6a 中 PS 镜片的保压时间从左向右逐渐递增, 依次为 1, 6, 11 s; 图 6b 中 PS 镜片的注保压时

间从左向右逐渐递增,依次为1,15,30 s。由图6可见,随着保压时间的增加,PS镜片的应力条纹宽度变窄,远离浇口处的应力条纹色泽逐渐变得浅白,且分布范围增加,说明PS镜片的内应力大大降低。

2.5 注射成型工艺参数对PC镜片内应力的影响

(1) 注塑压力对PC镜片内应力的影响。

不同注塑压力条件下成型的PC镜片内应力分布图7所示,该图为在原料和其他工艺参数相同、只改变注塑压力时的PC镜片内应力条纹分布图。



图7 不同注塑压力条件下的PC镜片内应力条纹分布图

图7a中PC镜片的注塑压力从上至下逐渐递增,依次为6,7,8 MPa;图7b中PC镜片的注塑压力从上至下逐渐递增,依次为3,5,10 MPa。由图7可见,随着注塑压力的增大,PC镜片的应力条纹数量增多,较深的黑色应力条纹变多,特别是PC镜片拐角处的应力条纹的颜色变得更深;说明PC镜片的内应力增大,即PC镜片的内应力随着注塑压力的提高而增大。

(2) 注射速度对PC镜片内应力的影响。

不同注射速度条件下成型的PC镜片内应力分布如图8所示,该图为在原料和其他工艺参数相同、只改变注射速度时的PC镜片内应力条纹分布图。

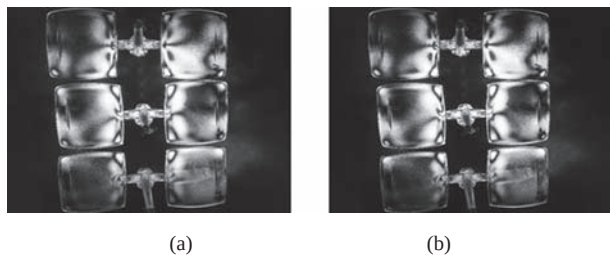


图8 不同注射速度条件下的PC镜片内应力条纹分布图

图8a中PC镜片的注射速度从上至下逐渐递增,依次为10%,15%和20%;图8b中PC镜片的注射速度从上至下逐渐递增,依次为10%,20%和28%。由图8可见,随着注射速度的增大,PC镜片的应力条纹的数量变多且颜色变深,说明内应力增大。因此,随着注射速度的增大,PC镜片的内应力

也随之增大。

(3) 保压时间对PC镜片内应力的影响。

不同保压条件下成型的PC镜片内应力分布图9所示,该图为在原料和其他工艺参数相同、只改变保压时间时的PC镜片内应力条纹分布图。

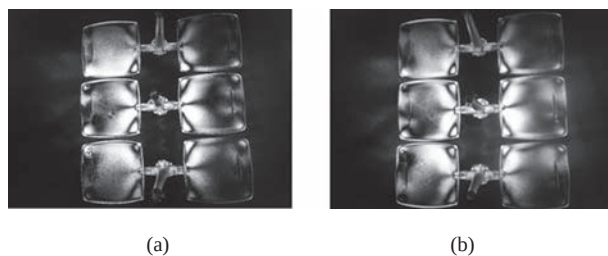


图9 不同保压时间条件下的PC镜片内应力条纹分布图

图9a中PC镜片的保压时间从上至下逐渐递增,依次为2,5,8 s;图9b中PC镜片的保压时间从上至下逐渐递增,依次为20,25,30 s。由图9可见,在改变保压时间后,图9a和图9b中的PC镜片的内应力分布没有明显差别,即保压时间对PC镜片内应力影响不大。该发现规律与有关研究^[15-16]都认为保压时间对PC收缩率影响较小的结论是吻合的,因为我们知道制品的收缩往往是制品内应力产生的主要因素。

3 结论

研制了一种新型高分子材料透明制品内应力检测装置,并利用该装置进行了典型高分子材料注射成型制品的内应力研究,结论如下:

(1) 新型内应力检测装置利用应力双折射效应及偏振光干涉原理研制而成,具有检测简单快捷、检测成本低廉、无损检测及在线成像功能等特点,实现了对高分子材料透明制品内应力的快速表征及“可视化”研究。

(2) 利用该装置系统研究了不同注塑压力、注射速度和保压时间条件下PS及PC镜片制品的内应力变化规律。实验结果表明:随着注塑压力增大,PS镜片内应力增大;注射速度对PS镜片内应力无明显影响;增加保压时间可以使PS镜片内应力降低;随着注塑压力和注射速度的增大,PC镜片的内应力均相应增大;保压时间对PC镜片内应力无明显影响。

(3) 研究结果表明成型工艺参数对不同物料制品内应力的影响有共性,亦有不同之处。如注塑压力均会造成PS及PC制品内应力增大,但注射速度的增大使PC制品内应力增大,而对PS的影响则不

明显;保压时间增加则会降低 PS 制品的内应力,而对 PC 内应力影响则不明显。由此可见,不同物料所成型制品的内应力受成型工艺参数的影响是不同的,这从另一方面说明了利用内应力检测装置测试不同高分子材料制品内应力的必要性和重要性。

参考文献

- [1] 狄春峰,胡仁其.汽车塑料零件内应力浅论[J].上海塑料,2017(2):18-22.
Di Chunfeng, Hu Renqi. Some discussion on internal stress of automobile plastic parts[J]. Shanghai Plastics, 2017(2):18-22.
- [2] 李海梅,李瑞波,陈金涛,等.注射成型工艺过程中的应力研究概述[J].精密成形工程,2016,8(1):14-20.
Li Haimei, Li Ruibo, Chen Jintao, et al. Introduction to stresses during injection molding process[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2016, 8(1):14-20.
- [3] 高月华,王希诚.注塑制品的翘曲优化及影响因素分析[J].化工学报,2007,58(6):1575-1580.
Gao Yuehua, Wang Xicheng. Analysis of the lowering of the internal stress of PC moulding[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering(China), 2007, 58(6):1575-1580.
- [4] 谢春稳.注射压缩成型制品残余应力形成机制及光学性能研究[D].北京:北京化工大学,2013.
Xie Chunwen. Residual stress formation mechanism and optical property of injection compression-molded product[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2013.
- [5] 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.
- [6] 范联甫.注塑件内应力形成机理及消除方法探讨[J].科技创新与应用,2018(17):18-22.
Fan Lianfu. Discussion on the formation mechanism and elimination method of internal stress in injection molded parts[J]. Technology Innovation and Application, 2018(17):18-22.
- [7] 王淑芬.浅谈塑料制品的应力开裂[J].中国科技信息,2009(12):182-184.
Wang Shufen. Brief talk about stress cracking of plastic products[J]. China Science and Technology Information, 2009(12):182-184.
- [8] 奚国栋,周华民,李德群.注塑工艺参数对制品残余应力和收缩的影响[J].化工学报,2007,58(1):248-254.
Xi Guodong, Zhou Huamin, Li Dequn. Effect of processing conditions on residual stress and shrinkage in injection molding[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering(China), 2007, 58(1):248-254.
- [9] 宣斌.应力双折射对偏振相移干涉检测的影响[J].光子学报,2013,42(11):1319-1323.
Xuan Bin. Influence of birefringence on polarization phase shifting interferometry[J]. Acta Photonica Sinica, 2013, 42(11):1319-1323.
- [10] 肖昊苏,张运强,范志刚,等.偏振干涉法测量晶体应力双折射精度分析[J].红外与激光工程,2011,40(2):271-276.
Xiao Haosu, Zhang Yunqiang, Fan Zhigang, et al. Precision analysis of polarization interference method for measuring stress birefringence of crystal[J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(2):271-276.
- [11] 孙存英,乔卫平,沈学浩.偏振光的干涉场分布特征数值模拟及实验研究[J].物理实验,2009,29(9):42-45.
Sun Cunying, Qiao Weiping, Shen Xuehao. Numerical simulation and experimental research of interference field distribution characteristic of polarized light[J]. Physics Experimentation, 2009, 29(9):42-45.
- [12] 李霞,袁艳,赵建科.干涉仪的微应力安装力学分析以及试验结果[J].光子学报,2007,36(5):918-921.
Li Xia, Yuan Yan, Zhao Jianke. Microstress installation and experiment result of the interferometer[J]. Acta Photonica Sinica, 2007, 36(5):918-921.
- [13] 郎建林,王韬,葛勇,等.注射成型聚碳酸酯厚度截面的残余应力分析[J].高分子学报,2017(6):999-1007.
Lang Jianlin, Wang Tao, Ge Yong, et al. Residual stress analysis in cross section of injection-molded polycarbonate[J]. Acta Polymerica Sinica, 2017(6):999-1007.
- [14] 杨军,刘志海,苑立波.波片对偏振激光干涉仪非线性误差的影响[J].光子学报,2008,37(2):364-369.
Yang Jun, Liu Zhihai, Yuan Libo. Effects of wave plate on nonlinear errors in polarization laser interferometer[J]. Acta Photonica Sinica, 2008, 37(2):364-369.
- [15] 孙琦伟,陈宇宏,陈昊,等.注塑压缩成型工艺对聚甲基丙烯酸甲酯-聚碳酸酯复合平板残余应力的影响[J].高分子材料科学与工程,2018,34(11):101-113.
Sun Qiwei, Chen Yuhong, Chen Hao, et al. Effect of injection compression molding process on residual stress of polymethylmethacrylate-polycarbonate composite board[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2018, 34(11):101-113.
- [16] 杨其,王鹏驹,黄亚江,等.注塑参数对聚碳酸酯成型收缩率的影响研究[J].工程塑料应用,2003,31(4):20-22.
Yang Qi, Wang Pengju, Huang Yajiang, et al. Influence of injection molding parameters on the molding shrinkage of polycarbonate[J]. Engineering Plastics Application, 2003, 31(4):20-22.