

粗糙度对PMMA材料的耐酒精溶剂的影响

王华方, 马佳焱, 范蓉, 张少斌

常州星宇车灯股份有限公司, 江苏 常州
Email: 18851196076@139.com

收稿日期: 2021年7月17日; 录用日期: 2021年8月23日; 发布日期: 2021年8月27日

摘要

本文针对PMMA (亚克力)材料的样板, 研究了粗糙度对PMMA材料的耐酒精溶剂的劣化试验的影响。首先通过应力检测设备和有限元分析软件分析PMMA样板的应力分布, 然后对未进行处理和完成粗糙度处理的亚克力板进行不同温度的加热, 最后对不同温度下的亚克力板喷涂不同浓度的酒精进行劣化试验, 验证粗糙度对亚克力材料与酒精溶剂的溶胀作用的影响。

关键词

PMMA, 应力检测, 有限元分析, 粗糙度, 溶胀

Effect of Roughness on Alcohol Solvent Resistance of PMMA Materials

Huafang Wang, Jiayan Ma, Rong Fan, Shaobin Zhang

Changzhou Xingyu Automotive Lighting Systems Co., Ltd., Changzhou Jiangsu
Email: 18851196076@139.com

Received: Jul. 17th, 2021; accepted: Aug. 23rd, 2021; published: Aug. 27th, 2021

Abstract

Aiming at the sample of PMMA (acrylic) material, this paper studies the influence of roughness on the degradation test of PMMA material's alcohol solvent resistance. First, the stress distribution of PMMA sample is analyzed through stress detection equipment and finite element analysis software, and then the acrylic plate that has not been treated and the roughness treatment is heated at different temperatures. Finally, the acrylic plate sprayed with different concentrations of alcohol at different temperatures is subjected to degradation tests to verify the influence of roughness on the swelling effect of acrylic material and alcohol solvent.

Keywords

PMMA, Stress Detection, Finite Element Analysis, Roughness, Swelling

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

PMMA (聚甲基丙烯酸甲酯, 又称亚克力、有机玻璃)是比较常见的高分子材料。PMMA 材料不仅仅绿色环保, 价格低廉, 更因为其良好的光学性能、机械性能、耐老化性能以及注塑加工性能, 被广泛的应用于航空、医疗、建筑、军用和汽车[1]等领域。尤其在汽车车灯的应用, 更能体现出 PMMA 材料性能的优良。同时, PMMA 材料也存在硬度低、易脆、遇醇类溶剂会发生溶胀开裂等缺点。

目前, 汽车的贯穿式尾灯灯罩多选用 PMMA 材料, 但在注塑生产过程中, 灯具不可避免的会产生内应力。为了保证车灯的外观, 车主通常使用市场上常用的几款玻璃清洗剂对玻璃和车灯进行清洗, 玻璃水的成分中含有乙醇, 会致使 PMMA 材料溶胀[2], 当灯罩内应力(残余应力)趋近材料承受极限, 进一步表现为白发、开裂等失效模式。在汽车车灯行业, 客户也会要求在产品交付前, 对灯具进行酒精的劣化试验, 检验产品质量。表面粗糙度在汽车等行业, 也是被研究的对象, 例如 2017 年龙波等人研究出表面粗糙度与应力集中和疲劳寿命的关系[3], 2017 年蒋奔等人分析了塑料模具表面粗糙度[4], 但粗糙度对塑料产品的质量的研究很少, 本文针对亚克力样板, 通过应力检测仪器和有限元分析研究, 对亚克力样板的应力分布进行分析, 再对应力较大的部位对应的模仁位置进行处理打磨, 降低粗糙度, 设计不同检测温度忽然酒精浓度的检测条件下的试验, 证明粗糙度与亚克力材料的应力开裂存在关系, 并通过验证不同检测条件的劣化试验, 验证本文结果的有效性。

2. 亚克力样板的应力分析

2.1. 注塑应力实测分析

WPA-200 是一款基于相位差的概念对透明材料进行评估、测量、分析的一款可定量计算产品内部应力的装置, 如图 1 所示。

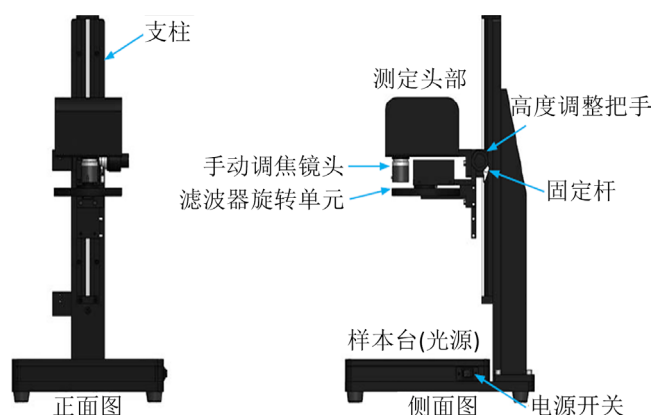
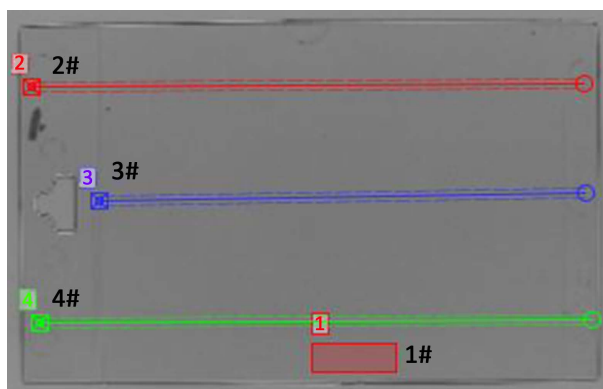


Figure 1. WPA-200 stress detection instrument

图 1. WPA-200 应力检测仪器

准备样板(图 2)，分析注塑后的残余应力分布情况：



长：155 mm，宽 100 mm，厚：4 mm

Figure 2. PMMA template

图 2. PMMA 样板

对样板注塑后的残余应力线分析结果，见图 3：

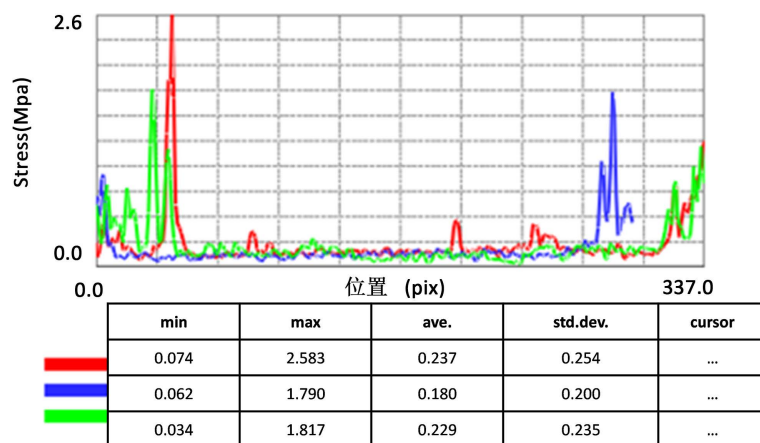


Figure 3. Test results of PMMA sample line stress

图 3. PMMA 样板线应力检测结果

显然，样板注塑后的整体应力较小，中间分布均匀，两边靠近样板边缘位置应力略大。

对样板注塑后的残余应力面分析结果，见图 4：

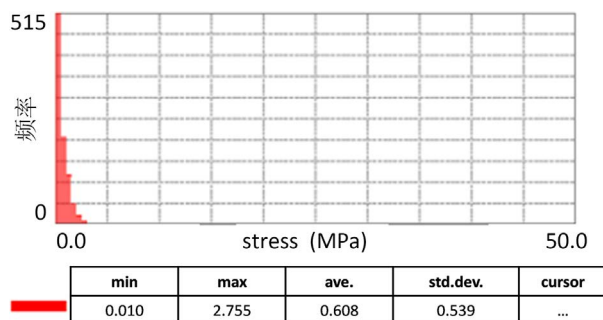


Figure 4. Measurement results of PMMA sample surface stress

图 4. PMMA 样板面应力检测结果

从图 4 可知,注塑后的样板靠近浇口位置的区域,应力值最大为 2.755 MPa,与样板的整体应力相比,略大。

2.2. 温度应力仿真分析

对样板进行酒精劣化试验,要求对 90℃的样板进行 60%的酒精浓度的应力检测。在 workbench 中,通过热力耦合分析,计算样板在检测条件下的温度应力:

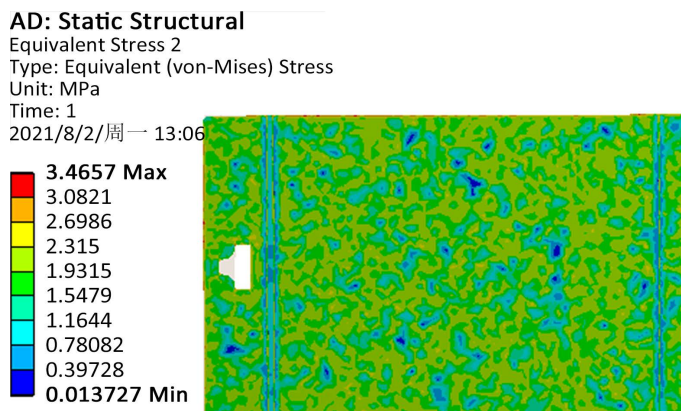


Figure 5. Stress distribution on the front of the PMMA template

图 5. PMMA 样板正面应力分布

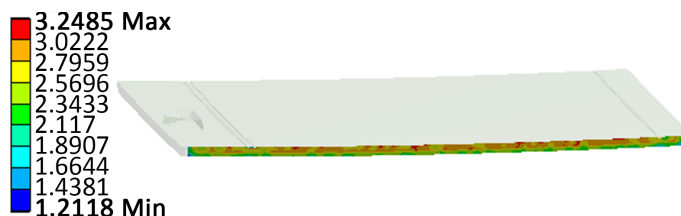


Figure 6. Stress distribution on the side of PMMA template

图 6. PMMA 样板侧面应力分布

由仿真结果(图 5、图 6),可知样板的温度应力在表面分布均匀,分布在样板的四个侧面的应力不均匀,最大可达 3.2 MPa,最小只有 1.2 MPa。

2.3. 偏光应力仪分析 PMMA 材料

综合分析样板的注塑应力和温度应力可知,PMMA 材料的样板侧面应力大于表面应力。

为了验证结果,利用偏光应力仪检测 PMMA 材料的应力。偏光应力仪利用材料双折射率的分布对透明材料的应力分布进行定性分析。PMMA 的试验样板厚度较薄,为了更好的观测 PMMA 材料的侧面应力和表面应力的区别,选用厚度一定的 PMMA 材料样条进行观测,结果如下:



Figure 7. PMMA spline front stress detection

图 7. PMMA 样条正面应力检测



Figure 8. PMMA spline side stress detection

图 8. PMMA 样条侧面应力检测

在偏光应力仪检测下,PMMA 材料的样条表面呈灰白色(见图 7),PMMA 样条的侧面颜色非常鲜艳(见图 8),依据偏光应力仪的颜色比色卡(见图 9),可知 PMMA 材料的样条四周的侧面应力较大,表面应力较小。

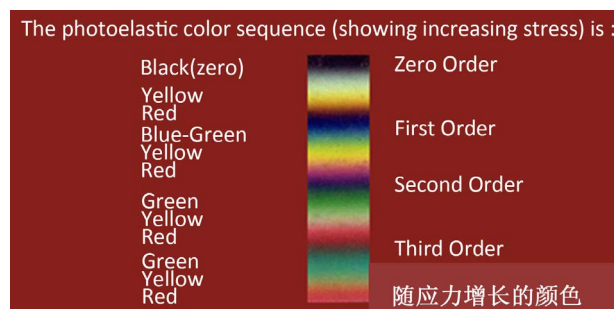


Figure 9. Color sequence of stress magnitude analysis

图 9. 分析应力大小的颜色序列

总结 1: 根据应力分析, PMMA 材料的样板侧面应力较大, 样板表面应力分布较为均匀, 应力值偏低。

3. 粗糙度分析

零件表面的粗糙度是由较小间距和峰谷所组成的微观几何形状特征。

粗糙零件表面存在的波谷, 类似于尖角缺口和裂纹, 当 PMMA 材料受到外部作用力时, 粗糙的表面接触面积减小, 根据外应力的计算公式,

$$P = \frac{F}{S}$$

粗糙面受到的同样大小的外力时, 零件的疲劳强度受到粗糙度的影响越大。同时, 表面粗糙度也同样对零件抗腐蚀性有影响。粗糙表面, 更容易使得液体和气体从零件的粗糙表面的微观凹谷渗入材料内层, 导致表面腐蚀开裂。

在数学方程式上, 应力线与磁力线相似, 类似于磁力线的原理, 将应力线看作在物体上穿行的一簇平行曲线, 在物体表面的缺口、孔附近, 曲线被迫绕行, 各线之间的间隙被缩短, 出现应力集中现象, 酒精腐蚀后应力开裂的速度会提高。

总结 2: 粗糙表面会加速应力集中位置的应力开裂速度。

3.1. 粗糙表面处理

利用显微镜观察初始状态下的 PMMA 样板的表面粗糙度(见图 10、图 11)。

利用显微镜观察对样板原件的侧面所在的模具位置进行抛光打磨处理的 PMMA 样板的表面粗糙度(见图 12、图 13)。



Figure 10. Original template

图 10. 样板原件

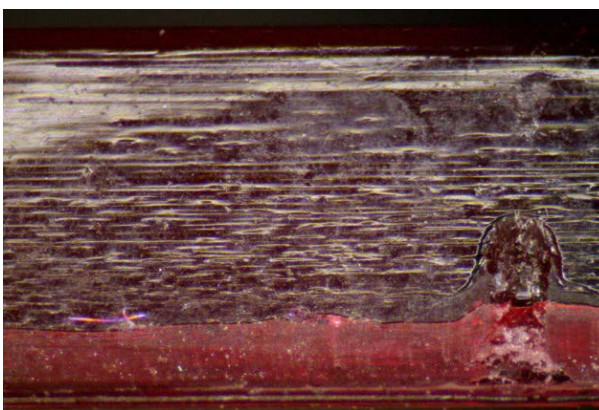


Figure 11. 300-fold microscope observation of the original sample

图 11. 300 倍显微镜观察样板原件



Figure 12. Polished parts

图 12. 抛光处理件



Figure 13. 300-fold microscope observation of polished parts

图 13. 300 倍显微镜观察抛光处理件

原样板侧面凹凸不平，模具抛光打磨后的样板侧面光滑，对处理前后的样板做不同检测环境下的酒精劣化试验，检测样板的应力开裂现象，分析粗糙度对 PMMA 样板的耐酒精溶剂的影响。

3.2. 酒精劣化的试验验证

未作处理的样板，在不同检测条件下的劣化情况见表 1。

总结 3：粗糙的亚克力板在检测温度高于 50℃ 时开始出现开裂现象，开裂位置由四周向样板中间扩散，如下图 14 所示。

对抛光处理的样板，进行不同检测条件下的劣化试验，结果如下表 2。

Table 1. Test results of degradation of the original sample**表 1.** 原样板劣化试验结果

检测温度 \ 溶液浓度	30%	60%	90%
50℃	OK	OK	OK
60℃	OK	NG	NG
90℃	NG	NG	NG

**Figure 14.** Test results of degradation of the original sample**图 14.** 原样板劣化试验结果**Table 2.** Test results of deterioration of polished samples**表 2.** 抛光后样板劣化试验结果

检测温度 \ 溶液浓度	30%	60%	90%
50℃	OK	OK	OK
60℃	OK	OK	OK
90℃	OK	NG	NG

抛光处理后的亚克力样板，当检测温度达到 90℃时才出现开裂现象。显然粗糙度的改善，有效提高了亚克力样板的耐酒精溶剂的性能。

4. 结论

本文考虑了亚克力材料的样板在对应力集中区域的粗糙度进行处理后，进行了不同检测条件下的酒精劣化试验，论证了粗糙度对亚克力材料的应力开裂的影响。通过应力检测设备分析了注塑后的残余应力分布情况，再利用有限元分析，计算了加热后的亚克力样板应力分布情况，定位出亚克力材料的样板的应力开裂风险区域，对相应的模具位置进行抛光打磨处理，降低了亚克力样板侧面的粗糙度，对未处理的亚克力板，和抛光打磨后的亚克力板进行了耐酒精溶剂的试验，论证了粗糙度的降低，能够有效改应力开裂问题，说明了本文结论的有效性。

参考文献

- [1] 高云凯, 邱娜, 栾大齐, 等. PMMA 材料在车身轻量化方面的应用[J]. 汽车技术, 2013, 3(3): 55.
- [2] 袁新强, 蒋鹏, 郝晓丽, 等. PMMA 材料在 MMA/无水乙醇混合溶剂中的溶解[J]. 合成树脂及塑料, 2018, 35(5): 13-17+33.

- [3] 龙波, 苏雷, 金鹏, 等. 表面粗糙度对压气机盘疲劳寿命的影响[J]. 航空维修与工程, 2017(4): 52-55.
- [4] 蒋奔, 翟明. 塑料模具表面粗糙度变化机理及影响因素分析[J]. 工程塑料应用, 2017, 45(6): 141-144.