

新型气浮式物理钢化玻璃用于盖板玻璃的性能分析

江苏省光电玻璃重点实验室 汪称宇
常州亚玛顿股份有限公司 林金锡

摘要:采用气浮式物理钢化炉,引入热平衡系统保证了加热和冷却过程的均匀传递;同时将能够进行物理钢化的玻璃厚度由3.2mm降到2.0mm,并对钢化玻璃的力学性能以及平整度进行了测试。结果表明:相比于传统辊道式物理钢化玻璃,气浮式物理钢化玻璃表现出更加优异的平整度,同时也具备良好的力学性能。本文主要通过对钢化玻璃弯曲强度、表面应力、颗粒度和平整度的测试,分析了气浮式物理钢化玻璃平整度提升的原因,反映了气浮式物理钢化玻璃可用在显示器盖板玻璃领域的广阔前景。

0 引言

随着科技的迅猛发展,LCD、OLED和PDP已经广泛用于日常生活^[1-3],如笔记本电脑、液晶电视、户外广告等都是采用平板显示器。平板显示器的薄型化已成为市场趋势;平板玻璃作为平板显示器的基板和保护屏,其厚度必须减薄且要维持一定的强度^[4,5]。

物理钢化^[6]是指把即将达到软化点温度的玻璃迅速冷却到一定的温度,使得表面产生压应力层来实现增强玻璃强度的工艺流程。物理钢化玻璃生产成本较低,生产效率高;而且破碎时会形成小碎片,避免对人的伤害^[7]。在传统的辊道式物理钢化过程中,钢化炉加热辊的微观不均匀性和冷却段辊道的弯曲度,以及加热段辊道和冷却段辊道的磨损问题,都会导致钢化玻璃平整度较差^[8,9]。而气浮式钢化玻璃技术采用突破性的非接触式气浮系统,使得玻璃在加热过程中一直浮于空气垫之上,不会接触到底面平板,保证了玻璃表面没有辊印和纹路,且具有优异的平整度;采用先进的陶瓷喷嘴设计,保证了对流系统的精度、平衡和稳定性,可以根据玻璃的热辐射等具体性质来调节和控制加热区域的能量流。另外,在对流系统中引入了热平衡系统,保证了玻璃可以在短时间内均匀加热和冷却,保证了钢化玻璃的力学性能。一般来说,传统辊道式物理钢化玻璃受到平整度的限制,可钢化的玻璃厚度需控制在3mm以上;本文讨论通过使用气浮式传送玻璃的物理钢化工艺,将物理钢化玻璃的厚度从传统辊道式的3.2mm降到2.0mm,

半钢和全钢玻璃的表面应力和弯曲强度分别达到了77.15MPa、126.7N·mm⁻²和125.3MPa、167.2N·mm⁻²,并且具有优异的表面平整度,表现出其在显示器材领域广阔的应用前景。

1 实验

1.1 气浮式钢化玻璃的制备

气浮式钢化玻璃技术已经在全球范围内实现了产业化生产,而非仅仅停留在实验室生产阶段。本文中气浮式钢化玻璃产线分为三个加热模块和三个冷却模块。原片玻璃的进炉传送速度为36m·min⁻¹,三个加热模块的加热温度分为625°C、670°C和670°C,加热段传送速度为14.5m·min⁻¹,加热时间控制在55s至95s之间。上下加热板都呈多孔状,上下加热板间隙设定为4.3mm;上下风压控制为最大风压的55%至95%之间,使得即将达到软化点的玻璃可以控制在上下加热板中间。原片玻璃在加热后需骤冷,骤冷之后平缓冷却;急速骤冷过程玻璃传送速度为58m·min⁻¹,平缓冷却段玻璃的传送速度为16m·min⁻¹。全钢玻璃的骤冷段风扇速度为最大速度的100%,平缓冷却段的风扇速度为最大速度的70%和60%,半钢玻璃骤冷段风扇速度为最大速度的65%,平缓冷却段的风扇速度为最大速度的60%和55%,冷却风扇的最大送风量为59400m³·h⁻¹,最大功率为269.10kW,冷却段上下板间隙设定为5.6mm。冷却过程后玻璃传送出炉的速度为36m·min⁻¹,钢化玻璃成品的尺寸为1652mm×986mm×2.0mm。通过不同风压和加热时

间下的表面应力和弓形弯、波形弯测试,探索出最佳的工艺参数。

1.2 测试方法

1.2.1 力学性能

1.2.1.1 表面应力测试

取尺寸为 $1652\text{mm} \times 986\text{mm} \times 2.0\text{mm}$ 的气浮式和辊道式钢化玻璃进行测试,测试仪器为FSM-6000LE应力仪。如图1所示,在距长边 100mm 的距离上,引平行于长边的2条平行线,并与对角线相交于4点,这4点以及制品的几何中心点即为测量点。

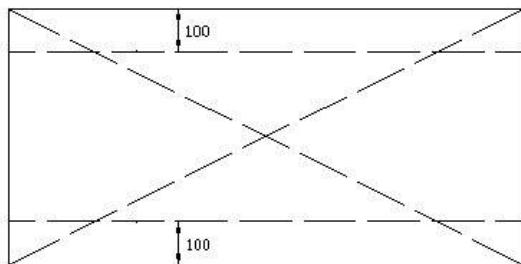


图1 钢化玻璃表面应力测试示意图

1.2.1.2 弯曲强度测试

测试的气浮式和辊道式钢化玻璃成品的尺寸为 $1652\text{mm} \times 986\text{mm} \times 2.0\text{mm}$,测试仪器为李赛克玻璃机械(上海)有限公司代理的BPS材料试验机。取至少十片样品进行试验,如图2所示,试验机应能连续、均匀地对试样加载,且能够将由于加载产生的震动降低至最小。试验机应装有加载测量装置,并在其量程内的误差应小于 $\pm 2\%$ 。支撑辊和加载辊的直径为 50mm ,长度不少于 990mm 。支撑辊和加载辊均能围绕各辊轴线转动。为便于查找断裂源和防止碎片飞散,可在试样上表面粘贴薄膜。

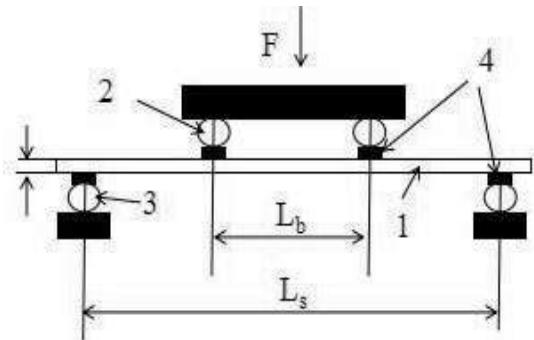


图2 钢化玻璃弯曲强度测试示意图

图中,1为样品,2为加载辊,3为支撑辊,4为橡胶条, $L_b=200\pm 1\text{mm}$, $L_s=700\pm 2\text{mm}$,试验机以试样弯

曲应力($2\pm 0.4\text{ MPa}\cdot\text{s}^{-1}$)的递增速度对试样进行加载,直至试样破坏。记录每块试样破坏时的最大载荷、从开始加载至试样破坏的时间(精确至 1s)以及试样的断裂源是否在加载辊之间。断裂源应当在加载辊之间,否则应以新试样替补上重新试验,以保证每组试样原来的数量。弯曲强度的计算公式为:

$$\sigma_{bg} = F_{max} \frac{3(L_s - L_b)}{2Bh^2} + \sigma_{bg}$$

式中, F_{max} 为试样断裂时的最大载荷, B 为试样的宽度, h 为试样的厚度, σ_{bg} 为试样由于自重产生的弯曲强度。

1.2.1.3 颗粒度测试

测试的气浮式钢化玻璃成品的尺寸为 $1652\text{mm} \times 986\text{mm} \times 2.0\text{mm}$,用透明胶带纸或其他方式约束玻璃周边,在样品的最长边中心线上距离周边 20mm 左右的位置,用尖锐的小锤或冲头进行冲击,使样品破碎,碎片计数时,应除去距离冲击点半径 80mm 以及距玻璃边缘或钻孔边缘 25mm 范围内的部分。从图案中选择碎片最大的部分,在这部分中用 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 计数框,计算框内的碎片数,每个碎片内不能有贯穿的裂纹存在,横跨计数框边缘的碎片按 $1/2$ 个碎片计算。

1.2.2 平整度测试

用ST6K-I40200AG设备对钢化玻璃进行平整度测试。

1.2.3 弓形弯、波形弯测试

将试样靠于符合GB/T20428的岩石面板上,演示面板与水平面的夹角为 85° ,如图3所示,用直尺紧贴钢化玻璃的对角线方向,用塞尺测量直线边与玻璃之间的间隙来表示弓形弯;将直尺置于垂直于辊道方向的两相邻波峰之间,用塞尺测量直尺边与玻璃之间的最大间隙来表示波形弯。

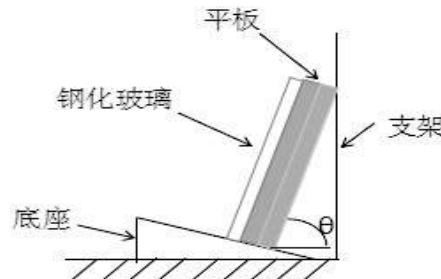


图3 钢化玻璃弓形弯、波形弯测试示意图

2 结果与讨论

2.1 力学性能

气浮式钢化玻璃生产工艺会受到风压和加热时

间等工艺参数的影响^[10],表1所示为不同风压和加热时间下生产的气浮式半钢玻璃的表面应力和平整度的测试数据,可以看出,随着风压和加热时间的增大,玻璃的表面应力会逐步提升,但当风压过大、加热时间过长时,会使得玻璃表面散热不均匀,影响平整度。因此,在弓形弯和波形弯达到标准要求的情况下,选定85%的风压大小和85s的加热时间为最佳工艺参数。表2为相同尺寸的半钢辊道式和半钢、全钢气浮式钢化玻璃的力学性能测试结果,一般来说,全钢玻璃的表面应力和弯曲强度都远远大于半钢玻璃^[11],表中气浮式全钢玻璃和半钢玻璃的表面应力和弯曲强度分别可以达到125.3MPa、167.2N·mm⁻²和77.15MPa、126.7N·mm⁻²(测试结果均为多点和多次测量的平均值)。如图4所示为气浮式全钢玻璃两次颗粒度的测试过程,一般来说半钢玻璃是没有颗粒度的,图中气浮式全钢玻璃有较好的颗粒度,表现出优异的安全性能。图5是利用韦伯分布绘制的钢化玻璃的破裂概率图,从中可以看出在表面应力接近的情况下,气浮式半钢玻璃的10%破裂概率的四点弯曲应力优于辊道式半钢玻璃;气浮式全钢玻璃的表面应力相比于辊道式半钢玻璃提高了约50MPa(图中HR为辊道式半钢玻璃half tempered glass of roller type, HA为气浮式半钢玻璃half tempered glass of air bearings, FA为气浮式全钢玻璃full tempered glass of air bearings)。

表1 不同工艺参数的气浮式半钢玻璃性能

风压 /%	加热时间 /s	表面应力 /MPa	弓形弯和波形弯 /mm
85	55	62.41	合格
85	65	72.11	合格
85	75	75.36	合格
85	85	77.15	合格
85	95	80.59	4.9mm/1.1mm 不合格
95	85	80.46	5.1mm/1.0mm 不合格
75	85	74.28	合格
65	85	67.12	合格
55	85	59.33	合格

表2 不同工艺的钢化玻璃的力学性能

力学性能	辊道式半钢玻璃	气浮式半钢玻璃	气浮式全钢玻璃
表面应力/MPa	76.53	77.15	125.3
弯曲强度/N·mm ⁻²	124.3	126.7	167.2
颗粒度	N.A.	N.A.	57

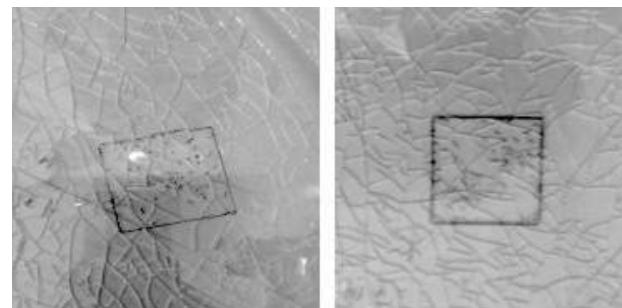


图4 全钢气浮式钢化玻璃的颗粒度测试

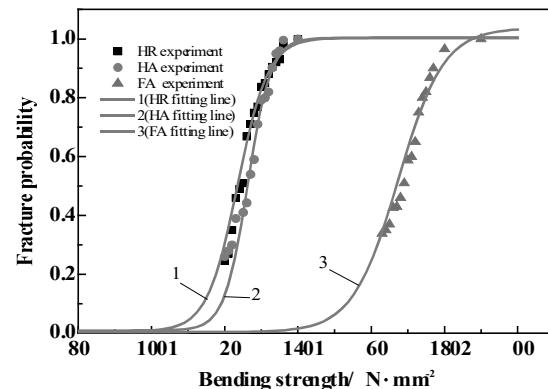


图5 不同物理钢化工艺玻璃的破裂概率

2.2 平整度

钢化玻璃的平整度是其应用的一个重要测试标准^[12];钢化玻璃的平整度较差,即玻璃表面相对于一个绝对平面出现的高低差,会使以其为原片的夹层玻璃引起光学上的变形,导致不良的视觉效果,同时也会导致玻璃的反射光产生光学变形;当然平整度在黏附作用上也会产生一定的影响,因此平整度是衡量盖板玻璃好坏的重要因素。一般而言,相同钢化工艺的半钢玻璃的平整度会好于全钢玻璃,所以本文选择不同工艺的半钢玻璃作为研究对象。相比于辊道式钢化技术,气浮式钢化技术避免了因辊道不均匀、磨损以及加热、冷却不均匀所产生的平整度不良问题,可以获得良好的平整度的钢化玻璃。



图6 不同物理钢化工艺的半钢玻璃的外观对比

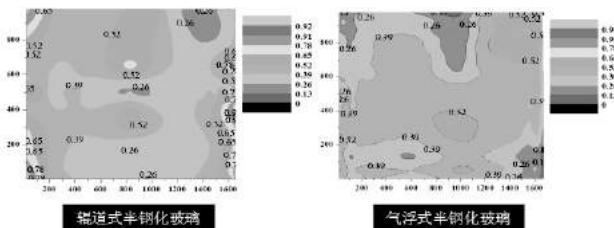


图 7 不同物理钢化工艺的半钢玻璃的平整度测试



图 8 不同物理钢化工艺的半钢玻璃制作的盖板玻璃

从图6中可以看出,物体在半钢玻璃表面映射的图案,可以很好地反映出气浮式半钢玻璃具有良好的平整度。图7是不同物理钢化工艺的半钢玻璃的平整度测试图,从图中可以看出气浮式半钢玻璃表面厚度分布更加均匀,具有更好的平整度。图8是不同钢化工艺的半钢玻璃制作成的盖板玻璃,可以看出辊道式半钢盖板玻璃表面的曲翘严重,反映了气浮式钢化玻璃在平整度方面的优势。

3 结论

(1) 采用气浮式物理钢化技术生产出的半钢化玻璃,其风压和加热时间的最佳工艺参数为85%和85s,在相同表面应力情况下四点弯曲强度、玻璃平整度等性能都优于传统辊道式钢化玻璃,同时可以做到全钢玻璃(传统辊道式一般做不到全钢玻璃),具有较

好的颗粒度,体现了优异的安全性能。

(2) 相比于辊道式物理半钢玻璃,气浮式物理半钢玻璃具有更加优异的光学性能,表现出在显示器盖板玻璃应用等方面具有良好的前景。

参考文献

- [1] 彭寿, 张冲. 光电显示玻璃的应用与发展趋势 [C]. 电子玻璃技术, 2015(47): 47~62
- [2] Shinar J, Shinar R. 1.04—an overview of organic light-emitting diodes and their applications[J]. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, 2011, 1:73~107
- [3] Kim K, Kim K, et al. Characterization of ceramic tiles containing LCD waste glass[J]. Ceramics International, 2016, 42(6):7626~7631
- [4] 陈瑞峰. 柔性超薄玻璃[J]. 化学工业, 2014, 32(7): 39~40
- [5] 庞建等. 超薄玻璃的发展与应用 [C]. 北京: 中国硅酸盐协会2007年电子玻璃技术研讨会, 2007: 46~53
- [6] Green D J. Ceramics and glasses, tempering of: residual stresses[J]. Encyclopedia of Materials. 2001, 1095~1097
- [7] 程继键, 朱秉甫, 蒋幼梅. 表面微晶化对 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系统玻璃的强化[J]. 硅酸盐学报, 1985, 13(1): 29~37
- [8] 许伟光. 浅谈影响钢化玻璃平整度因素及处理对策[J]. 玻璃与搪瓷, 2011, 39(1): 10~15
- [9] 史刚社. 石英陶瓷辊道对钢化玻璃表面质量的影响[J]. 建材技术与应用, 2002, (2): 31~32
- [10] Akcay M. Experimental investigation of the relationship between heat transfer rate and number of broken glass particles in tempering process of glass plates[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2017, 83:260~270
- [11] 董华明. 钢化/半钢化表面应力检测及数据分析[J]. 上海建材, 2013, (6): 31~33
- [12] 王立祥, 王兆祥. 影响钢化玻璃外观质量的因素分析[J]. 玻璃, 2011, 38(6): 36~39

(上接第 19 页)

参考文献

- [1] Deb S K. [J]. Appl Opt Suppl, 1969, 3: 193
- [2] Lampert C M. [J]. Optical Engineering, 1984, 23(1): 92
- [3] Lampert C M. [J]. Solar Energy Mater, 1982, 11(4): 162
- [4] 丘思畴, 黄汉光, 舒兴胜. 电致变色材料及应用[J]. 功能材料, 1994, 25(2): 181~206
- [5] Faughnan B W, Crandall R S, Heyman P M. Micro-Raman characterization of WO_3 and MoO_3 thin films obtained by pulsed laser irradiation[J]. Rcscrew, 1975, 36: 177~179
- [6] S. K. Deb. Optical and photoelectric properties and colour centers in thin films of tungsten oxide[J]. Philosophical Magazine, 1973, 27(4): 801~822
- [7] Crandall R S, Wojtowicz P J, Faughnan B W. Theory and measurement of the change in chemical potential of hydrogen in

amorphous HxWO_3 as a function of the stoichiometric parameter x [J]. Solid State Commun, 1976, 18(11 12): 1409

[8] Wittwer V, Schirmer O F, Schlotter P. Disorder dependence and optical detection of the Anderson transition in amorphous HxWO_3 bronzes [J]. Solid State Commun, 1978, 25 (12): 977

[9] Granqvist C G. Electrochromic oxides: A bandstructure approach [J]. Solar Energy Mater Solar Cells, 1994, 32(4): 369

[10] 翁建新, 黄婷婷, 蓝心仁. 电沉积法制备电致变色材料[J]. 太阳能学报, 2005, 26(3): 382

[11] 李震宇, 贺伟, 杨金龙. 密度泛函理论及其数值方法新进展[J]. 化学进展, 2005, 1(2): 192~202

[12] 廖沫真. 量子化学从头计算方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1984

[13] 秦国强, 刘世民, 李东春. SnO_2 和 ZnO 类透明导电氧化物薄膜的第一性原理研究. 燕山大学工学博士论文. 2010:20~21