

## 改善波浪纹的液晶屏切割技术

伍飞高\*, 刘钦启, 王海荣, 刘富青, 罗词广, 刘明辉

(合肥鑫晟光电科技有限公司, MDL技术部, 合肥 230012)

**摘要:**通过对切割工艺进行实验设计,基于多刀头自动切割机的特点及同一刀头走形重复精度高且误差小的理论前提,使用同刀轮辅助裂片工艺进行研究。结果显示,在同刀轮辅助的裂片作用下,通过控制切割工艺,切割良率得到有效提升;通过调整辅助切割线的位置及切割压力,波浪纹的发生率得到有效控制。研究得出结论:1.在后切刀轮经过交叉点后,高速移动时直线性得不到保证,波浪纹可能发生;2.保证先切刀轮正常切割,降低后切刀轮的刀压及追加辅助切割线,可以降低交叉点对后切刀轮的不利影响;3.采用同一刀轮作为辅助刀轮,辅助裂片精度由0.5 mm大幅度提升到10  $\mu\text{m}$ 以内,波浪纹不良率从0.1%降低到0.01%。

**关键词:** 薄膜晶体管液晶显示器;液晶玻璃;刀轮;切割工艺;不良改善

**中国分类号:** TN141 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2022)01-0057-07

## Cutting Wave Defect Improvement with the Scribing Procedure

WU Feigao, LIU Qinqi, WANG Hairong, LIU Fuqing, LUO Ciguang, LIU Minghui  
(HEFEI XINSHENG OPTOELECTRONICS TECHNOLOGY Co.,Ltd., MDL Engineering Dept.,  
Hefei 230012, CHN)

**Abstract:** By testing different DOE conditions of cutting process, and based on the characteristics of automatic cutting machine, the same cutter process with high repeated accuracy and the auxiliary cutting process with the same wheel were used. Results: Under the effect of auxiliary cutting, the cutting yield could be effectively improved by controlling the cutting process. By adjusting the position of the auxiliary scribing line and cutting pressure, the wave defects were effectively controlled. Conclusions: 1. With wheel going through the cross point, the linearity was not guaranteed and wavy lines were found; 2. Methods were effective that ensuring normal wheel pressure applied during the first cutting, reducing the pressure of the second cutting and adding additional auxiliary cutting, and then the negative impact of second cutting could be weakened; 3. By using the same wheel as auxiliary cutting wheel, the accuracy of auxiliary cutting line was significantly improved from 0.5 mm to 10  $\mu\text{m}$ , and the defect ratio was improved from 0.1% to 0.01%.

**Key words:** TFT-LCD; LCD glass; wheel; scribing process; defect improvement

收稿日期: 2021-08-09

作者简介: 伍飞高(1986—),男,高级工程师,主要从事液晶显示行业产品良率提升与不良解析及改善方面的研究;  
(E-mail: wufeigao@boe.com.cn)

刘钦启(1989—),男,高级工程师,主要从事液晶显示行业设备改善方面的研究;(E-mail: liuqinqi@boe.com.cn)

王海荣(1984—),男,高级工程师,主要从事液晶显示行业工艺改善方面的研究。(E-mail: wanghairong@boe.com.cn)

\* 通讯作者

## 引 言

当前,消费者对液晶显示屏的需求量越来越大<sup>[1]</sup>。液晶面板目前朝着大尺寸和小尺寸两个方向发展,面板的厚度不断减薄<sup>[2]</sup>。TFT-LCD液晶显示技术因其成本低,显示优良,在市场上大量应用<sup>[3]</sup>。主流大尺寸产品单板厚度为0.5~0.7 mm,对切割要求较低。主流小尺寸产品单板厚度为0.2~0.3 mm,总厚度为0.4~0.6 mm,薄板玻璃易破损,对切割要求高。相对于传统的面板切割,不含背光出货对面板切割提出了更高的要求。品质规格严格,不仅要求切割后有很好的断面强度,还对切割断面的外观不良有更严的管控。

为了应对上述要求,目前小尺寸主流的刀轮采用微齿型刀轮,此种刀轮的特点是齿深较浅,对玻璃造成的伤痕深度也较小。目前刀轮变为多刃口的设计,刀轮的压力降低,玻璃创面深度更小,国内有多家刀轮供应商均有自己的双刃口和多刃口专利。

刀轮运动的轨迹称为切割线<sup>[4]</sup>。裂片是指在切割线上追加一个外力,中间裂痕(垂直裂缝)就会沿着切割方向延伸,直至玻璃分离<sup>[5]</sup>。刀轮切割会在面板表面形成一个密集受压区,随后在玻璃下方形成有规律的切割断面方向裂痕。刀轮在直线上行走,切割断面方向裂痕会形成一条直线,但切割水平方向裂痕会让玻璃裂片的方向由一个点往四周扩散。厚度0.5 mm及以上的基板,因为底面有足够的支撑,垂直方向的裂痕迅速扩散,如水平方向裂痕来不及形成,波浪纹不良则不会出现。

薄板小尺寸因玻璃厚度较薄,需要将切割压力降到有效最低,以减少水平方向裂痕的发生。在现有多刃口的基础上,0.2 mm主流面板的切割刀压设定每平方米压强在4.5 Pa左右,玻璃变薄后表面易发生形变,切割压力需要进一步降低。

刀压降低后切割断面方向裂痕深度及断面垂直渗透深度也会降低,裂片性能随之降低。这种情况会对裂片造成较大的困难,需要研究裂片控制和取片控制,避免分断异常。

针对不同的切割不良,改善方案也不同<sup>[6]</sup>。刀轮切割具有很好的切割精度<sup>[7]</sup>。研究发现,追

加辅助切割线产生了张应力,具有辅助裂片的效果,为进一步降低刀压提供可能。为了解决切割波浪纹不良问题,在切割过程中引入辅助刀,刀轮切割压力可进一步下探,同时,因为同刀轮辅助切割的精度在10 μm以内,小于切割精度40 μm的要求,具有很高的实用性。

## 1 切割波浪纹产生原理

切割工艺主要分为切割和裂片<sup>[8]</sup>。不同的玻璃厚度选取不同类型的刀轮进行切割。以0.2 mm产品为例,齿深一般选取1.5~3 μm。传统的LCD切割刀轮的齿形一般分为三种:U型齿、V型齿和无齿<sup>[9]</sup>。刀轮目前已经发展到多刃口阶段,文中列举的刀轮实验数据来源于多刃口刀轮。

按照断裂力学的分析方法,玻璃结构断裂因子K的估算式为:

$$K = 1.1 \times \sigma n \times \sqrt{a} \quad (1)$$

$\sigma n$ : 裂纹所在平面上净截面的平均应力

$a$ : 表面裂纹深度

$K$ : 应力强度因子断裂韧度及断裂判据

切割压力是一个关键的切割工艺参数<sup>[10]</sup>。刀轮压力加大后,切割断面方向裂痕加大的同时还会导致水平方向裂痕增大。水平方向裂痕增大是波浪纹产生的根源。从图1(a)可以看出在后切割方向上,刀轮经过十字交叉点后波浪纹出现。在图1(b)的显微镜图像中,能清晰的看到波浪纹形态。设定切割速度200 mm/s,各刀压条件下,切割1 000片液晶屏,观察波浪纹产生情况,总结出刀压与波浪纹的关系如图1(c)。(注:出现1片波浪纹,统计为频数1。)

设平均应力 $\sigma n$ 为120 Mpa, $K$ 取常量11.8,可以计算 $a \approx 0.00799 \text{ mm} = 7.99 \text{ } \mu\text{m}$ 。如果后切刀经过的十字交叉点凹坑深度超过7.99 μm,横向裂痕会扩散。在切割压力作用下,玻璃纵向裂纹形成,因刀轮在经过交叉点时会经过凹坑,凹坑深度与刀轮压力成正相关,刀压越大,凹坑深度越深,波浪纹越易形成。

在后切割刀压偏大的情况下,产生水平裂痕,就可能发生切割波浪纹,如图2。根据实验结果,可知当后切刀压 $\geq 3.8 \text{ N}$ ,后切方向出现波浪纹的概率大。这说明,大刀压是形成波浪纹的直接原因。

切割顺序不合理会对切割质量产生不利影

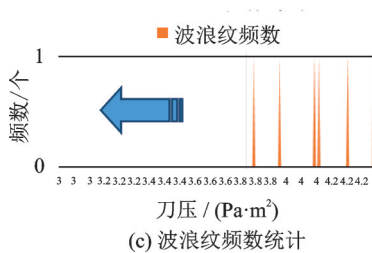
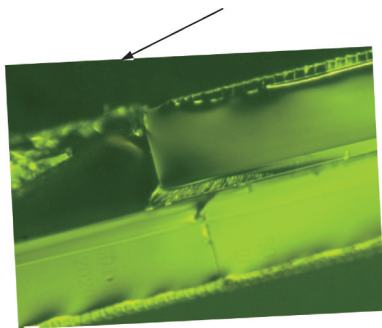
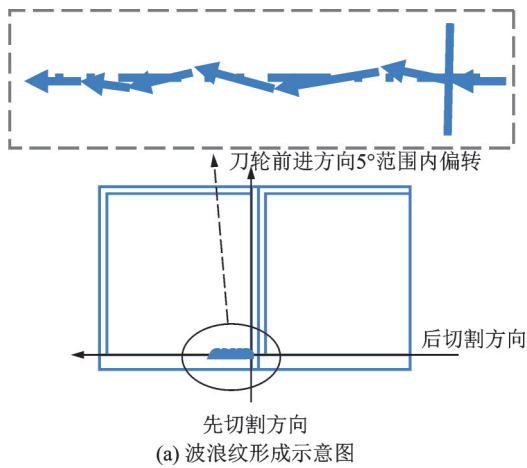


图1 波浪纹路径图及统计

Fig.1 Path of the wave defect and statistics of the wave defect

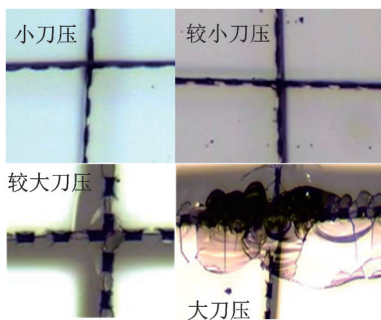


图2 切割压力与波浪纹

Fig.2 Scribing pressure and wave defect

响<sup>[11]</sup>。ABC公司切割机采用先切TFT面再切CF面的工艺,其中TFT面的0°和90°切割方向会有刀轮撞击交叉点现象,因工艺的限制,这种情况无法避免。刀轮经过交叉点时,后切刀轮要跨越之

前的切割线。刀轮发生跳动,导致裂痕直线行走方向发生变化,交叉点附近应力产生集中现象。

后切刀轮经过十字交叉点时,先切刀轮已将玻璃切出一条裂缝,在后切割方向,刀轮与玻璃产生撞击,由于刀架可旋转角度为5°(设计值),刀轮行进方向不断发生微小变化,波浪纹不良随之产生。

## 2 解决波浪纹不良的必要性

### 2.1 自动线断面强度介绍

使用INSTRON公司生产的强度测试仪设备进行4点弯曲强度测试,玻璃被压断时的压力数值可以作为断面强度参考值。

强度测试法测试断面强度的两个依据是:一是在切割断面处裂开;二是断裂起始点需要比对面半径确定强度数值,镜面半径具体示例如下图3所示。强度公式如下<sup>[12]</sup>:

$$\sigma = \frac{A}{\sqrt{r}} \quad (2)$$

其中, $\sigma$ :破坏应力, $r$ :镜面半径, $A$ :常数65.3。

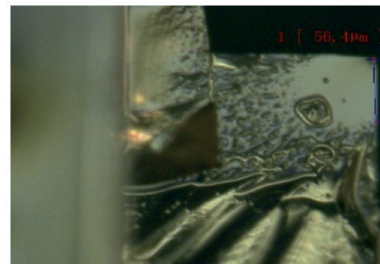


图3 镜面半径图

Fig.3 Image of mirror radius

### 2.2 波浪纹对强度影响

玻璃强度是评价加工状态的重要标准<sup>[13]</sup>,可以根据镜面半径对玻璃强度进行估算。对不同波浪纹形态的玻璃基板进行分类,如图4(a),对比分析及强度测试结果如下图4(b)所示。

通过测试不同波浪纹形态的断面强度可知,当断面出现波浪纹且深度超出一定距离后,断面强度会明显下降。因波浪纹不良可造成玻璃强度的下降,需要对波浪纹进行改善。

## 3 波浪纹的影响因素

### 3.1 切割刀压

切割刀轮选定后,需要测试切割压力参数可控



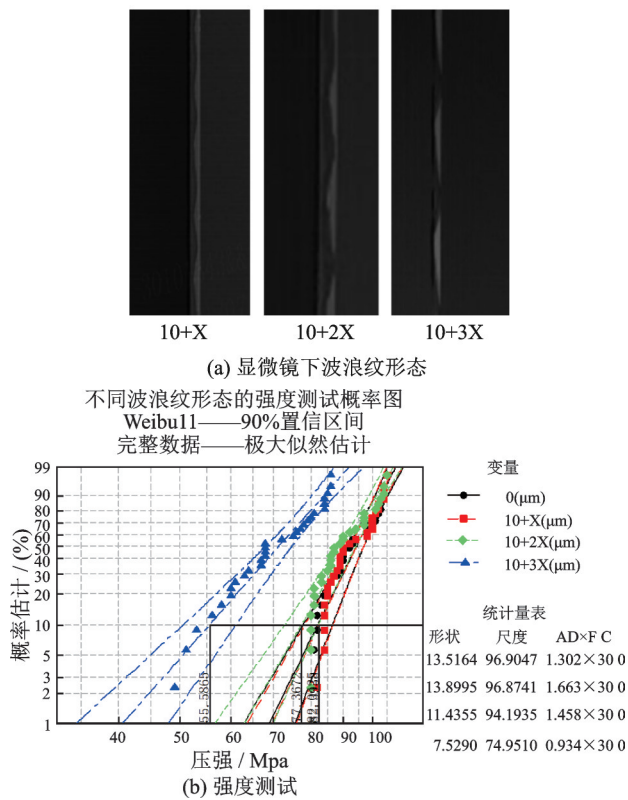


图 4. 波浪纹与强度对照

Fig.4 Contrast of wave defect and glass strength

范围。结果显示,切割的刀压为  $2 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2 \sim 7 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2$ 。通过将某 0.2 t 产品不良集中绘制到大板中,发现波浪纹如下图 5 所示布局。

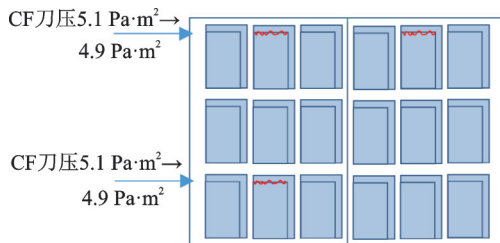


图 5 不良分布图

Fig.5 Defects mapping

上图中,投入约 1 000 片后,共产生 3 片 CF 波浪纹不良,通过改善 CF 侧刀压  $5.1 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2 \rightarrow 4.9 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2$  后,波浪纹不良  $0.3\% \rightarrow 0.1\%$ ,将刀压继续改动  $4.9 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2 \rightarrow 4.7 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2$  后,破损类不良  $0 \rightarrow 0.2\%$ ,波浪纹不良  $0.1\% \rightarrow 0.06\%$ ,刀压改回。

根据实验结果可知,为了保证自动线的切割效果,无法通过直接改动刀压进行波浪纹改善。

### 3.2 切割平台与压入量

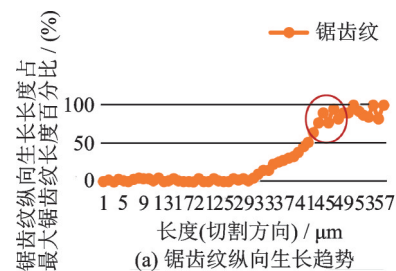
平台的平坦度对切割也会产生影响<sup>[15]</sup>,需要对

切割机平台进行平坦度矫正。

在切割平台平坦度不佳的情况下,刀轮容易产生跳跃,导致在高速切割的过程中,垂直裂痕不易呈现直线形式,从而导致波浪纹的发生。此种波浪纹可以通过微调刀轮压入量进行缓解,一般情况下,压入量越大,刀轮嵌入玻璃越深,在交叉点越容易产生跳跃,导致波浪纹越容易产生。压入量越小,刀轮嵌入玻璃深度越浅,刀轮过交叉点产生跳跃的概率越小,保证了垂直裂纹的直线延续性,波浪纹越不易产生。根据平台平坦度情况,刀轮压入量不宜过小。

### 3.3 切割后取片问题

玻板切割完成后,取片机构会将玻板从设备内取出,当刀压设置好后,波浪纹不良不再出现,但此时玻板断面渗透不足,需要调整取片机构,以避免取片造成的破损。玻璃分断效果会影响到切割良率<sup>[16]</sup>。在锯齿纹(切割后渗透效果不好而形成)从产生到最大生长长度的区域,存在应力集中现象,因取片机构推杆(用于去除残材)为整体均匀受力,此处较易形成破损。锯齿纹纵向生长趋势如下图 6(a)所示(数据已归一化处理)。切



(b) 显微镜下切割断面

图 6 锯齿纹与破损点

Fig.6 Hackle mark and broken point

割断面明显可见锯齿纹沿着切割方向不断变化,见 6(b)。

切割参数确定后,波浪纹得到控制,但玻板断

面纵向渗透深度不够,取片较困难。

### 3.4 减薄工艺相关性

液晶屏在减薄后,玻璃外表面出现凸点及凹点,不易造成波浪纹。此种情况下,刀轮行进时,路径上存在阻挡,刀轮行进不畅,玻璃断面存在纵向裂纹缺失的情形,不在讨论范围。如下图7。



图7 Rib Mark 缺失  
Fig.7 Rib Mark miss

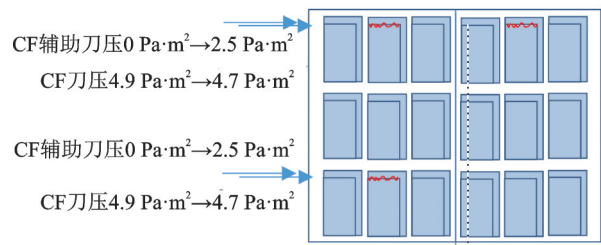
## 4 波浪纹不良的改善措施

### 4.1 切割刀压改善

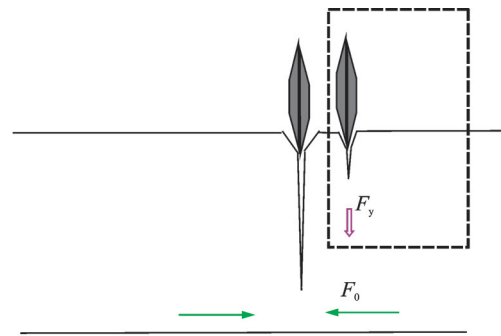
不同的刀头因其切割线校正较复杂,切割精度无法保证,因此CF处追加同刀头辅助刀。在这种情况下,切割压力可以继续降低。

切割需要多轴配合完成动作<sup>[17]</sup>。通过在各正常切割线附近0.3 mm处追加辅助切割线,设置刀压为2.5 Pa·m<sup>2</sup>。因伺服控制刀头走形精度为±10 μm,可以得到实际辅助刀头的相对切割线位置精度为0.3±0.01 mm,实际工艺控制切割精度±0.15 mm,因此设定辅助切割线满足切割精度的要求。将辅助切割线与波浪纹集中绘制到大板中,见图8(a)。辅助切割线如图8(b)所示。图8(c)所示为辅助切割刀轮对玻璃产生辅助裂片的张力。

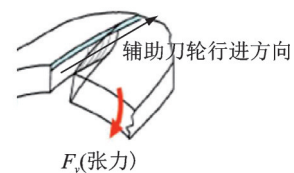
设定辅助切割线后,刀压可以进一步下探,CF刀压4.9 Pa·m<sup>2</sup>→4.7 Pa·m<sup>2</sup>,产出约1000后,未发现波浪纹和破损等不良,说明此工艺有效。实验表明,辅助切割线工艺亦可以应用到TFT面切割。



(a) 辅助刀与波浪纹分布图



(b) 辅助切割示意图



$F_y$ :辅助刀轮引起的侧向张力  
 $f(\psi)$ :辅助切割刀压  
 $k_0$ :常数  
 $F_y=k_0 \times f(\psi)$  (3)

(c) 辅助刀轮张力示意图

图8 辅助切割图

Fig.8 New scribing lines

### 4.2 切割平台与压入量改善

研究表明,压入量不宜设定低于平坦度实测的最大偏差数值与实际压入密集区深度的和。根据平台平坦度测定数据,得到最大偏差在100 μm内,实际测定数据如下表1所示。

表1 平台平坦度测量

Tab.1 Stage flatness measurements

	0°方向/μm				90°方向/μm			
	1	2	3	4	1	2	3	4
流片方向	14	-18	-21	-21	13	-10	-16	-4
	-5	-23	-20	-21	-13	-27	-41	-22
	-6	-28	-44	-37	-31	-43	-48	-22
最大偏差	58 μm				61 μm			

压入量设定应高于最大偏差100 μm(品质规格要求)与实际深度10 μm的和,即压入量设定需要大于110 μm。

为保证最佳的切割断面强度,需要在平台上贴附特氟龙胶带或者透气型垫纸。如贴附特氟龙,因特氟龙质地柔软,在全面贴附的情况下,需要加大压入量工艺余量,实际测试中,需要留出  $50\ \mu\text{m}$  的余量。因此压入量设定应大于平台最大平坦度偏差+实际深度+特氟龙材质余量。因此贴附特氟龙的平台,压入量设定规格应大于  $160\ \mu\text{m}$ 。由上表可知,本设备实际压入量应大于  $121\ \mu\text{m}$ 。

### 4.3 取片改善

如果采取  $90^\circ$  方向垂直取片,应力集中释放会导致破损或水平裂纹的问题,如图 9(a) 所示。需要降

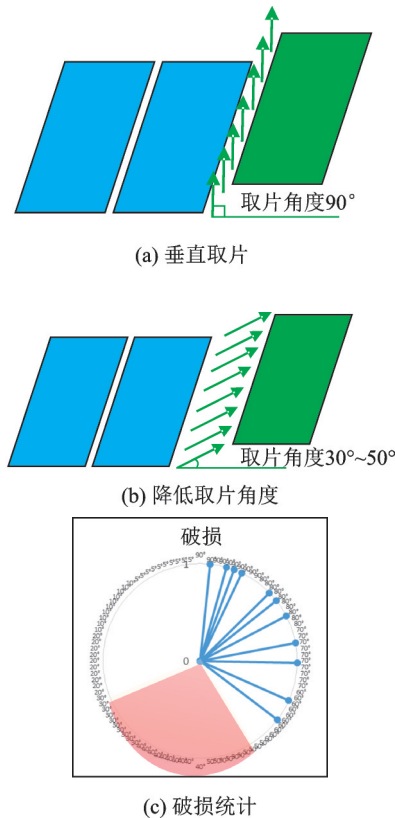


图 9 取片角度与破损的关系

Fig.9 The relationship between Pick up direction and Broken

低取片角度以降低破损率,取片角度较低时,玻板破损率会降低。最终取片角度选定为  $30^\circ\sim 50^\circ$ ,如图 9(b) 所示。不同取片角度下的破损统计结果如图 9(c) 所示。

设向上取片的力为  $F_{\text{up}}$ 。玻璃分断需要的力为  $F_0$ 。垂直取片时,  $F_{x1} = \cos 90^\circ \times F_1$ ,  $F_{x1}$  趋向于无穷小,如要完成取片,  $F_{x1}$  需大于或等于  $F_0$ , 此时取片困难,如图 10(a) 所示。如取片角度减小到  $30^\circ$  后,  $F_{x2} = \cos 30^\circ \times F_2$ , 假设  $F_1 = F_2 = F_{\text{up}}$ , 此时  $F_{x2}$  变大,如要

完成取片,  $F_{x2}$  需大于或等于  $F_0$ , 在同样的取片动作下,取片变得容易许多,受力图见图 10(b)。

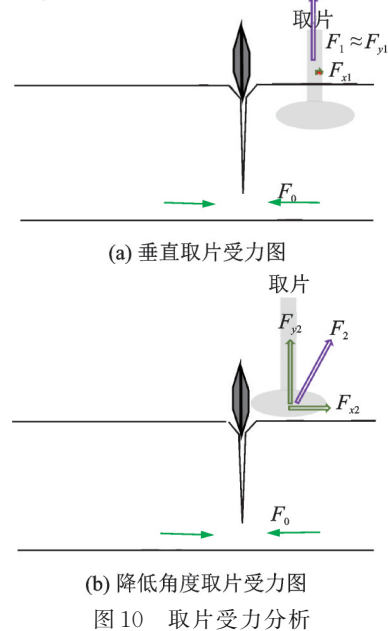


图 10 取片受力分析

Fig.10 Pick up force analysis

## 5 讨 论

市场对玻板断面强度的要求不断提高,后续的研究方向将关注持续提升切割强度,这就需要研究抑制刀轮切割产生水平裂纹的方法。

发展窄边框产品是未来的一个趋势<sup>[18]</sup>,带胶切割发展迅猛<sup>[19]</sup>。后续封框胶可能设计到切割线上,在评估切割良率时,需要重点对波浪纹进行确认。

另外,当玻璃厚度为  $0.15t$  及以下时,波浪纹的发生也需要进一步探讨。

## 6 总 结

文章较系统的分析了波浪纹的发生机理。从工艺、刀轮及设备等方面逐一阐述了解决方案,目前已经取得了初步的效果,有效抑制了不良。当前的波浪纹不良率从  $0.1\%$  降低到  $0.01\%$ ,且破损等其他不良未见明显良率波动。本研究成果为 TFT LCD 薄板切割领域的研究提供了参考和借鉴。

### 参 考 文 献

- [1] 曹力宁,蔡克新,董智源,等.液晶面板切割裂片压力控制技术[J].工艺电子技术,2019,40(5):294.
- [2] 丁 涛,李荣玉.高渗透刀轮切割 TFT-LCD 薄型玻璃基板的

工艺影响因素[J].现代显示,2009,6:30.

[3] 储小亮.TFT-LCD技术发展趋势浅析[J].电子世界,2018,20:73.

[4] 陈艳,张建华.液晶显示器生产中的切割工艺及设备分析[J].工艺电子技术,2002,23(5):208.

[5] 张玲榕,黄焯.液晶显示玻璃基板双刀轮切割机理[J].科技创新导报,2015,13(10):93.

[6] 李俊生,郭标富,张北斗.液晶玻璃基板切割缺陷分析与对策[J].玻璃搪瓷与眼镜,2020,48(2):24.

[7] 王涛,李海泉,王建鹏.LCD玻璃切割机中凸轮加压机构的控制方式[J].电子工艺技术,2020,41(5):298-301.

[8] 曹力宁,蔡克新,董智源,等.液晶面板切割裂片压力控制技术[J].工艺电子技术,2019,40(5):295.

[9] 陈振国,李明,刘军,等.面板切割强度提升刀轮选择标准的研究[J].电子世界,2016,13:163.

[10] 李庆亮,蔡克新,王敏,等.TFT-LCD端子在线切割工艺及关键技术[J].电子工艺技术,2016,37(4):238.

[11] 宋艳艳.数控切割常见问题及解决方法[J].机械管理开发,

2021,36(2):284.

[12] Gulati S T, Bayne J F, Powell W R, et al. Mirror constant for AMLCD glass[J]. American Ceramic Society Bulletin, 2004, 83(5):14-15.

[13] 王依依,侯丹丹,潘庆龙,等.液晶玻璃断面强度评定方法研究[C].中国,上海,中国硅酸盐学会专题,2018:212.

[14] 伍飞高,王海荣,刘富青,等.TFT-LCD行业激光打码后面板强度改善[J].中国新通信,2021,23(1):238.

[15] 裴雪丹,苏秉华,薛竣文,等.切割参数对LCD加工品质的影响研究[J].红外,2018,39(12):33-34.

[16] 周晶,熊长炜,邓杨道,等.基于视觉定位的玻璃基板切割生产设备的设计[J].机床与液压,2020,48(9):53-54.

[17] 王涛,李海泉,王建鹏.影响LCD玻璃切割机切割精度的参数的优化[J].电子工艺技术,2021,42(1):56.

[18] 刘亮,王向楠,赵德友,等.TFT-LCD移动显示窄边框技术进展[J].液晶与显示,2013,28(2):229.

[19] 伍飞高,李睿,吕凤珍,等.TFT-LCD行业液晶玻璃切割Dummy管控与改善[J].设备管理与维修,2021,10:69.

(上接第56页)

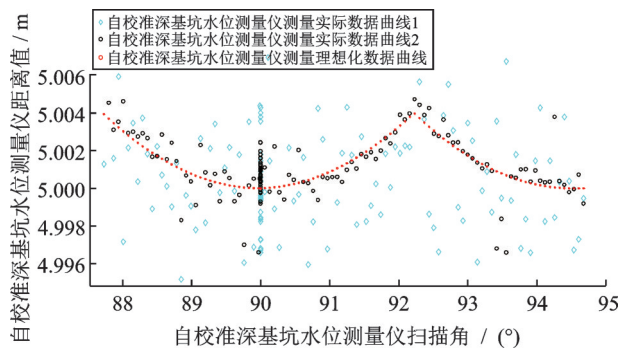


图11 实验结果数据分析图

Fig.11 Data analysis of experimental results

4 结 论

经过实验的反复验证,将测量的数据记录分析,自校准深基坑激光水位测量仪能够有效解决工业上因外界因素影响导致的测量水位不准、测量存在偏差等一系列问题。通过自校准的过程能够准确找到需测量的水位值,而且可以长期保持测量稳定性和精确性,具有很好的应用价值,充分体现了自校准激光水位测量仪在基坑水位测量方面的优越性。

参 考 文 献

[1] 苗澍苗,安宁,高健,等.SLR系统地靶数值仿真及数据处理[J].红外与激光工程,2021,50(9):284-292.

[2] 盖志刚,赵杰,杨立,等.一种新型激光智能水位测量系统的研制[J].光电子·激光,2013,24(3):569-572.

[3] 华涛.激光水位仪的研制及应用[D].北京:清华大学,2006.

[4] 陈亮.基坑监测技术在某深基坑工程中的应用[J].上海建设科技,2015(3):67-70.

[5] 刘伟,周建行,杨延西.基于平行激光的便携式视觉裂缝测量系统[J].仪器仪表学报,2020,41(11):235-243.

[6] 舒岳阶,吴俊,周远航,等.水工物理模型水下高精度超声水位测量[J].光学精密工程,2020,28(9):2027-2034.

[7] 汪义东,季国安,李亚涛.基于FMCW雷达水位计的水位测量排除干扰的方法研究[C].第八届中国水利信息化技术论坛,北京,2020:319-324.

[8] 孙秉珍,张淑,杨佳楠.基于前景理论和BWM的深基坑支护方案综合评价[J].安全与环境学报,2021,21(1):70-77.

[9] Kang Jiehu, Wu Bin, Wang Yuchan. Calibration method of 1D laser range finder for large-scale 3D measurement under harsh environment[J]. IEICE Electronics Express, 2020, 17(8):1-3.

[10] Han Chongyang. Design and research of active heave compensation system based on laser ranging sensor[J]. World Journal of Engineering and Technology, 2020, 8(1):13-18.

[11] 刘畅,郭悦,郑刚,等.深基坑开挖对坑底桩受力变形特性的影响研究[J].建筑结构学报,2021,42(5):177-186.

[12] 徐志康,冯径,常昊天.道路积水深度测量研究综述[J].电子测量技术,2017,40(11):1-6.

[13] 程倩,胡金萍.基于多激光传感器的高精度三维在线测量技术[J].激光杂志,2020,41(12):37-40.

[14] 张允祥,李新,李琛,等.自校准多通道红外辐射计的设计与性能测试[J].应用光学,2020,41(4):743-753.

[15] 邢明慧.可见至近红外自校准辐射定标光源设计与检测[D].合肥:中国科学技术大学,2020.