

## 玻璃穿刺冲击试验中的断裂观察

 T. Yano<sup>\*1</sup>, F. Yano

\*1 东京工业大学

### 用户获益

- ◆ 该系统能够以高达每秒 1000 万帧的速度拍摄图像，能够对玻璃进行详细的断裂观察。
- ◆ 该系统能够以高达 20 m/s 的速度进行测试，足以对玻璃进行穿刺冲击试验。
- ◆ 该系统有助于阐明（断裂）试验结果的机理。

### 引言

玻璃一直被用于各种工业领域，包括窗户、镜片和餐具。在这些玻璃中，用离子交换法生产的化学钢化玻璃被用于智能手机的玻璃防护罩。由于钢化玻璃的表面被压缩应力强化，导致破裂所需要的力度可能比要非钢化玻璃大。即便如此，也有可能从外部撞击造成的小划痕开始，整个玻璃发生瞬间断裂。为此，人们为实现更大的强度和抗冲击性，进行了相关研究。<sup>(1)</sup>

本文介绍了两种钢化玻璃和非钢化玻璃在高速穿刺试验中的断裂观察结果。试验结果表明，玻璃经钢化处理后，在断裂时的最大试验力增大，并且最大试验力与裂纹数目和裂纹增长速率有关。

### 引言

利用 HPV-X2 高速摄像机和 HITS-PX 高速冲击试验机，我们观察了两种钢化玻璃和非钢化玻璃在穿刺冲击试验中的断裂行为。表 1 显示了试验仪器。图 1 和图 2 分别显示了这些仪器的照片和示意图。通过设置如图 2 所示的镜子，我们可以直接从下面观察到玻璃被撞针刺穿的过程。

表 1 试验仪器

高速摄像机	: HPV-X2
镜头	: 105 毫米微距镜头
照明	: 频闪
高速冲击试验机	: HITS-PX
撞针	: Φ20, 10 kN
固定板	: Φ40

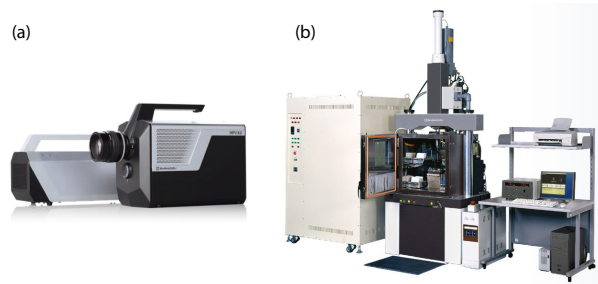


图 1 试验仪器照片

- (a) HPV™-X2 高速摄像机  
(b) HITS™-PX 高速冲击试验机

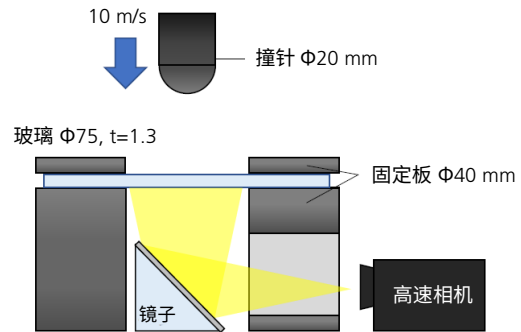


图 2 测试单元示意图

### 测量条件和样品

在本研究中，玻璃是在 10 米 / 秒的测试速度下用直径为 20 毫米的撞针刺穿的。高速摄像机的记录速度被设置为 200 万帧每秒。表 2 汇总了测试条件。用 1.3mm 厚的商用钠钙平板玻璃制备了钢化和非钢化玻璃样品。采用两种回火方法：电场辅助法和沉浸法。

表 2 测试条件

测试速度	: 10 m/s
记录速度	: 200 万帧 / 秒
样品	: 电场辅助法，沉浸法，非钢化

### 测量结果

表 3 显示了穿刺冲击试验中每个样品的最大测试试验力和破坏应力<sup>\*2</sup>。图 3 显示了试验力 - 位移图。结果表明，辅助制备法钢化玻璃的最大试验力最大。

表 3 测试结果

	最大试验力 [kN]	破坏应力 [GPa]
场辅助法	1.54	1.33
沉浸法	1.38	1.14
非钢化	1.09	0.90

\* 用有限元法计算了 2 个应力。

作为穿刺冲击试验中的断裂观察示例，图4显示了断裂在钢化玻璃上扩展的方式。图4中的图像(1)显示了撞针与玻璃接触的时刻。然后，从图像(2)到(6)，观察到裂纹的径向扩展。然后，图像(7)的左上角显示，一条裂纹的扩展方向与图像(2)至(6)中的裂纹不同，而在图像(8)至(12)中，多条裂纹以同心圆的形式扩展，表明场辅助钢化玻璃的断裂更为精细。

图5举例说明了钠钙钢化玻璃的裂纹长度与时间之间的关系。表4总结了根据每个试样的裂纹长度和时间之间的关系计算出的裂纹扩展速率。虽然所得裂纹扩展速率几乎相似，但钢化玻璃显示出略高的速率值。

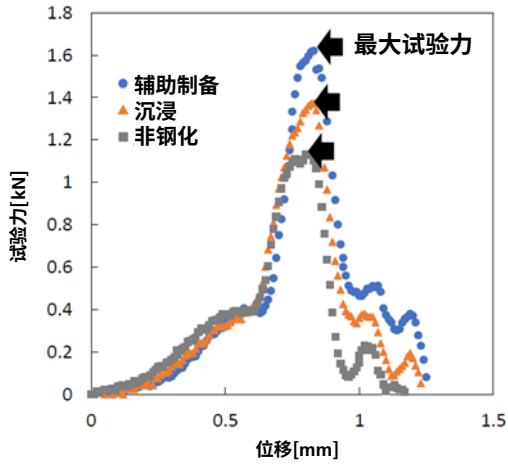


图3 试验力-位移图

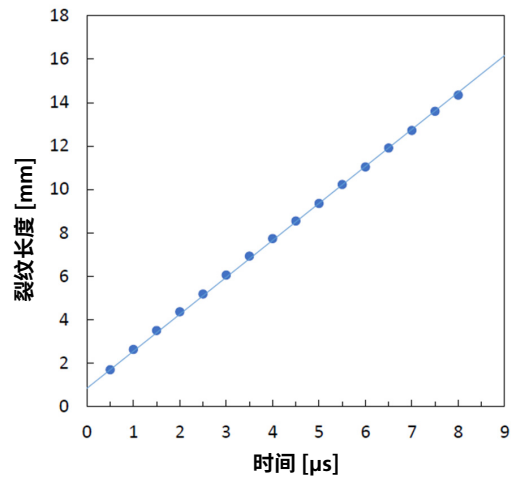


图5 钠钙钢化玻璃中的裂纹长度与时间

表4 每个试样的裂纹扩展速率

	裂纹扩展速率 [km/s]
辅助制备法	1.70
沉浸法	1.69
非钢化	1.67

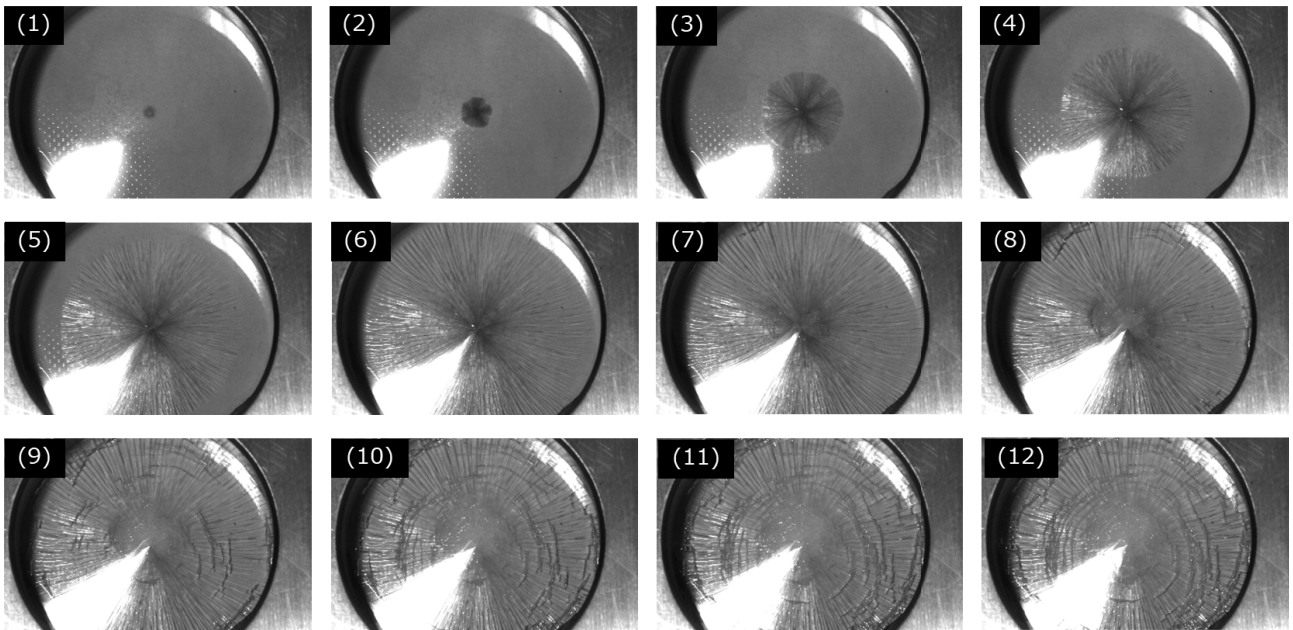


图4 辅助制备钢化玻璃的断裂 (图像之间的时间间隔: 500 ns)

图6显示了每种玻璃的断裂图7显示 从这些图像中计算的径向扩展的裂纹数结果从图7可以清楚地看出，破坏应力越高，玻璃中的裂纹数量越多。

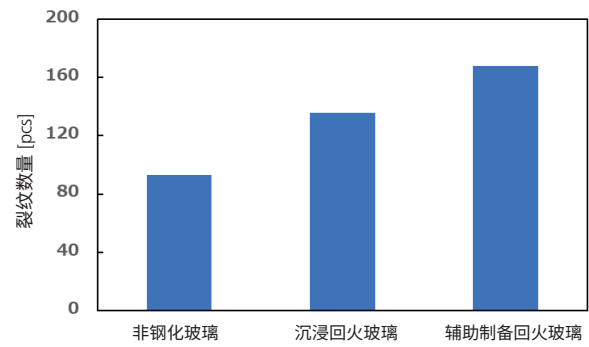


图7 每种玻璃的裂纹数量

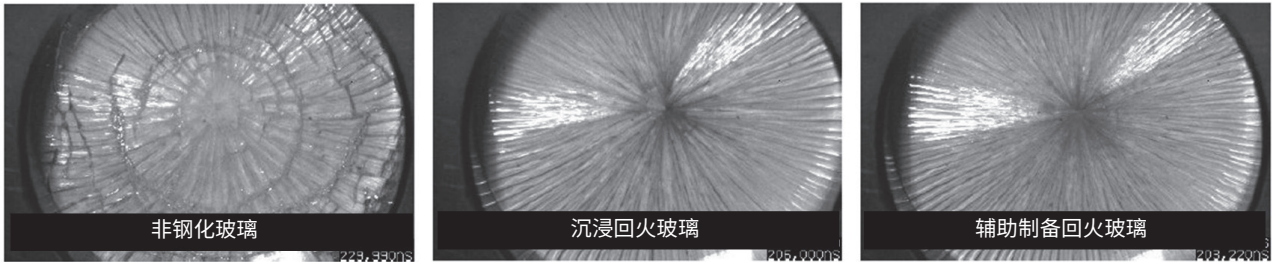


图6 每种玻璃的断裂

## 结论

利用 HITS-PX 高速冲击试验机，对两种不同钢化方法所得的钢化玻璃和非钢化玻璃进行了穿刺试验。结果表明，经钢化处理后，玻璃的破坏应力有所增大。我们还利用 HPV-X2 高速摄像机对高速穿刺冲击试验中的断裂进行了观察。断裂观察结果表明，钢化处理提高了玻璃的裂纹扩展速率和裂纹数量。因此，我们可以确认，HITS-PX 和 HPV-X2 可有效用于评估钢化玻璃。

### <参考文献>

- (1) S. Nagai, T. Kishi, N. Matsushita, T. Yano, Preprints for the Ceramic Society of Japan Annual Meeting (2018)

岛津应用云



HPV 和 HITS 是岛津制作所或其附属公司在日本和 / 或其他国家的商标。



岛津企业管理（中国）有限公司  
岛津（香港）有限公司

<http://www.shimadzu.com.cn>

用户服务热线电话： 800-810-0439  
400-650-0439

免责声明：

\* 本资料未经许可不得擅自修改、转载、销售；  
\* 本资料中的所有信息仅供参考，不予任何保证。  
如有变动，恕不另行通知。

第一版发行日：2021年6月