

有机玻璃断口形貌的扫描电镜观察

一三二厂 肖 敏 杨秀如

前 言

正确显示断口形貌是正确认识断裂机理的基础。资料[1, 2]已对有机玻璃断口形貌显示的方法作了较为详细的介绍;有的资料^[1, 3, 4]将有机玻璃静拉、静弯、冲击、疲劳断口分作三个区域:镜面区、平坦区(雾区+肋状)、粗糙区(瞬断区)。但对三区细微特征的介绍还停留于光学成象的初级阶段,并且不尽详细。因此弄清各种断口各区细微特征,有益于正确认识断裂形成、受力方式乃至断裂机理。但由于受光学显微镜景深、放大倍数等自身条件的限制,势必给断面起伏大的有机玻璃断口的准确显示带来困难,甚至造成假象。因此有必要借助分辨率高、放大倍数大、景深长的电镜进行断口形貌的显示和研究。为此,我们开展了 YB-3 有机玻璃断口扫描电镜成象技术的试验研究。

一、试验条件

1. 原理

当外加电子束与某物质作用时,产生如图 1 的一些物理信号:对这些信号进行接收,导致阴极射线管荧光屏上不同区域出现不同的亮度,从而获得具有一定衬度的图象^[5]。这些物理信号往往反映了该物质形貌、原子序数、晶体结构或位向等特征。

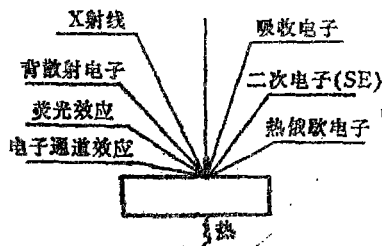


图 1



综上所述,只要尺寸满足线弹性断裂力学对韧带尺寸的要求,尺寸对疲劳裂纹扩展速率试验基本无影响。

五、结 论

1. 在恒幅加载条件下,当 $R=0.43$ 、最大应力 68.65MPa 、最小应力 29.42MPa 时,尺寸对疲劳起始寿命有显著的影响,随着试样宽度由 100mm 增至 500mm , N_0 点显著降低。

2. 在本试验条件下,尺寸对于疲劳裂纹

扩展速率试验基本无影响。

3. 在恒幅下施加相同的初始应力水平虽然疲劳损伤过程较为复杂,但只要尺寸满足线弹性断裂力学对韧带尺寸的要求,尺寸对疲劳裂纹扩展速率试验基本无影响。应注意到,就其在95%概率分散带内仍有差异,发现在相应点的扩展速率正比于试样的宽度这一趋势。显然在保证线弹性要求条件下,尺寸大的试样数据要偏保守些。

(参考文献从略)

有机玻璃是一种非导体物质, 当它与外来电子束作用时, 电荷不能通过试样座接地, 而会堆积在试样表面, 影响二次电子发射, 并且由于同号电荷相斥, 每隔一定时间就发生充放电, 影响成象质量。有机玻璃还是一种导热性很差的材料, 在高压作用下会产生热畸变, 从而破坏原有的断裂形貌。因此必须对其进行特殊处理使之导电。常用的方法是喷金属, 本试验采用冷离子溅射喷金。

2. 试样制备

采用E5100 II 系列冷离子溅射镀膜仪, 将试样表面喷上一层厚为 $375\sim 400\text{ \AA}$ 的金粉, 在SEM505扫描电镜上进行观察并拍照。

二、试验结果

1. 光滑拉伸断口电镀形貌特征

(1) 平整型断口, 断面垂直于受力方向, 可分为三个区: 源区、平坦区、粗糙区, 与光镜观察结果相同 (图2)。

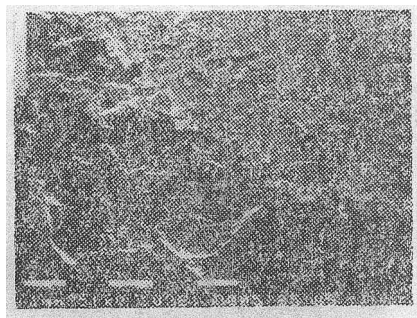


图 2 拉伸断口低倍

(2) 断裂源 起始于应力集中的棱边或某一表面, 肉眼就能看见。电镜下的此区为层片状, 并不平滑光洁 (图3)。

(3) 平坦区形貌为抛物线—礼花花样, 与光镜观察结果相同。随着裂纹扩展抛物线尾部变短 (图3~4), 其顶点指向裂纹源。

(4) 粗糙区形貌仍为礼花状。断面起伏很大 (图5), 光镜下的此区形貌特征不清。

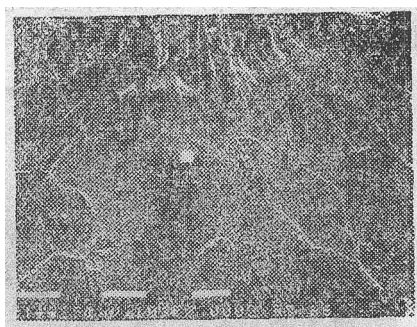


图 3 断裂源

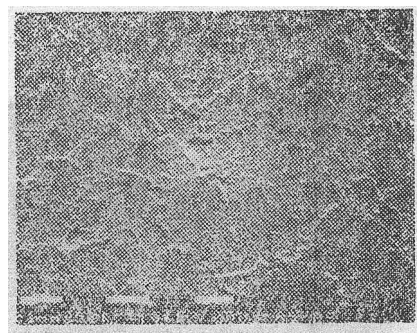


图 4

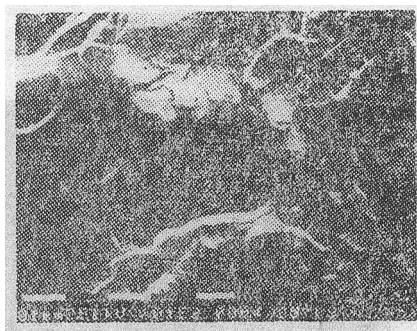


图 5 瞬断区形貌

(5) 随着裂纹扩展, 断口起伏增加, 同时形成宏观肋状花样, 电镜证明肋带特征仍为礼花, 因此认为: 平坦区与粗糙区细微特征无本质区别, 形成机理相同。

2. 压剪断口电镜下的形貌

(1) 裂纹起源于受拉应力一侧的根部。断面呈曲面状 (图6)。

(2) 源内特征类似金属河流花样 (图7), 放大观察无礼花花样。随着裂纹扩展, 花样变

粗大，起伏也更大，最后断裂区出现台阶（图8）。

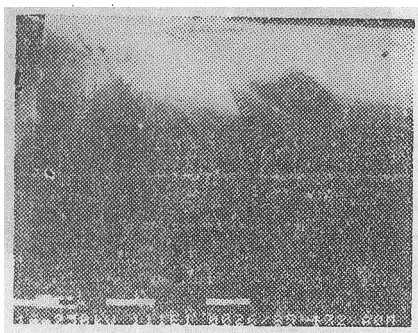


图 6 剪切断口低倍

(2) 源起始于受拉应力一侧。源内仍为层片状，片状内还有礼花（图10）。

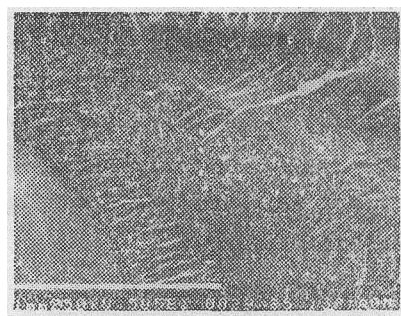


图 9 瞬断区形貌



图 7 断裂源区形貌

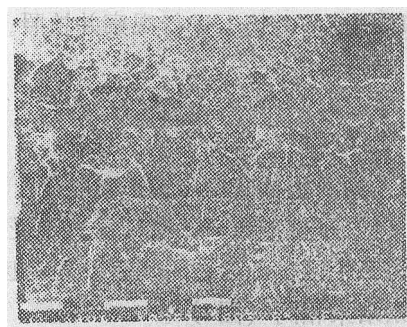


图 10 冲击断口低倍

(3) 平坦区形貌与该拉伸断口区特征相同，而抛物线花样不如拉伸断口明显，但有抛物线指向趋势（图11~12）。

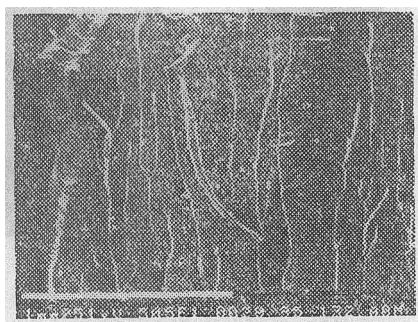


图 8 裂纹扩展区

由于此种断口断面起伏很大，光镜下成象十分困难，采用电镜显示就十分方便了。

3. 无缺口试样一次冲击断口在电镜下的形貌

(1) 平整型断口。可分为源、平坦区、粗糙区三个部分（图 9）。与光镜观察结果相似（图10）。粗糙区的肋状花样十分明显。

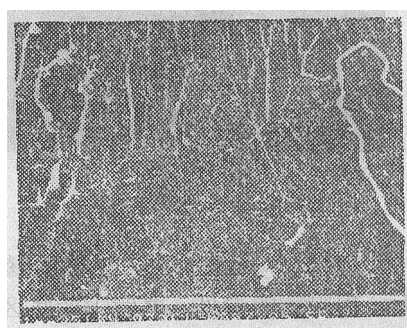


图 11 断裂源区

(4) 肋带花样仍为礼花，但最后瞬断区与剪切断口形貌十分相似，无礼花花样（图13）。

4. 电镜下弯曲断口的形貌

基本特征与拉伸断口十分相似。仅裂纹起

源于受拉应力一侧, 且弯曲断口的源区更大一些 (图略)。

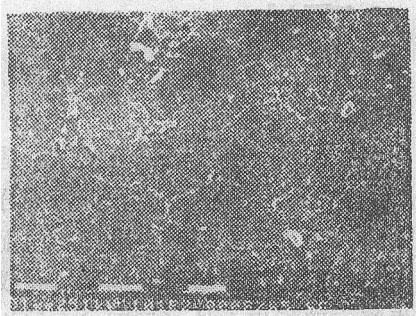


图 12 裂纹扩展区



图 13 瞬断区形貌

三、分 析

1. 比较图2~13, 其中图2~5为背散射图片, 图6~13为二次电子图片。可以看出, 采用二次电子成象其组织更细腻, 细节更清晰。由于图象表面形貌衬度是利用对试样表面形貌变化敏感的物理信号作为调质信号而得到的一种显示形貌特征的象衬度, 相比而言, 二次电子比背散射电子对微区刻面相对于入射电子束的位向更敏感, 因此采用二次电子成象更适用于显示形貌的衬度。背散射电子图景深大, 故其照片富于立体感。

2. 除剪切断口外, 其余断口上用肉眼即可找着裂纹源, 这种裂纹源多出现在试样表面和受拉应力一侧。电镜下的镜面源并不平滑光洁, 而是呈层片状。我们认为, 这种脆性材料的裂

纹源是由材料内部不均匀区引发的, 与材料组织中的原始缺陷有关, 资料〔3〕就认为银纹、夹杂、孔洞等是一种裂纹源。这种源仅局限在一个很小的区域内。而所谓的“镜面源”, 其实是源和裂纹扩展区两部分组成, 它是由于起始裂纹张开位移很小, 在力的作用下反复摩擦形成的。因此改“镜面源”叫“裂纹扩展区”更妥当一些。由上可知, 有机玻璃的断裂功主要消耗在裂纹的扩展上, 而较小部分用于裂纹源的形成, 因此研究有机玻璃抗裂能力, 将有益于提高该材料的使用寿命。

四、结 论

1. 二次电子成象适用于显示形貌的衬度, 背散射成象的图片立体感较强; 与光镜成象相比, 电镜图片景深大, 分辨率高。

2. 拉伸、弯曲、剪切、冲击断口均可以象征性地分为源 (I)、平坦区 (II)、粗糙区 (III)。裂纹源肉眼可见, 出现在应力集中或有缺陷的地方, 并与拉应力有关, 认为是由材料内部不均匀区引发的。

3. 拉伸、弯曲断口的 II、III 区形貌为礼花; 冲击断口 III 区为片状, 与剪切断口形貌相似; 剪切断口上无礼花花样; 随着裂纹扩展各断口组织变粗大, 最后撕裂区断面起伏很大。

4. 肋状条纹的形貌与平坦区相同, 均为礼花, 仅起伏较大。

参 考 文 献

- 〔1〕 胡世炎, 裴锡海, 有机玻璃疲劳断口形貌显示及其特征, 北航校庆论文集, 1984。
- 〔2〕 航空有机玻璃断口显示技术研究报告, 航空部六二一研究所会议资料, 1984。
- 〔3〕 赵进, 满淑鹏, 航空材料, No.1, 1985。
- 〔4〕 杨克, 有机玻璃的断裂特征, 国营凌云公司理化测试中心, 1985。
- 〔5〕 电子显微镜基础, 北航102教研室, 1980。