

单边裂纹聚苯乙烯样品拉伸断裂过程的声发射*

吕锡慈 钱汝正 孙全生

(中国科学技术大学应用化学系,合肥)

李 兰 刘荣进

(中国科学技术大学近代力学系,合肥)

摘 要

本文测定了单边裂纹聚苯乙烯 (PS) 样品在拉伸加载时的声发射以及声发射事件按幅度、脉宽、计数和位置的分布。实验证实, 单边裂纹 PS 样品拉伸时的声发射来源于裂纹端部银纹区的变形、断裂和扩展, 大部分总振铃计数由裂纹亚临界和失稳扩展引起。在重复加载时观察到 PS 声发射的 Kaiser 效应。

声发射技术已被广泛用于金属和纤维增强复合材料的断裂过程。近年来有少量文献报道用声发射技术研究聚合物的断裂破坏, 认为声发射与高分子材料受载产生银纹、链断裂及裂纹扩展有关^[1-7]。聚合物裂纹端部屈服区是类银纹结构, 可以预计, 屈服区的变形、扩展和破坏应伴有声发射。检测和记录样品受载过程中的声发射信号, 可直接得到研究高分子材料断裂破坏的信息。本文的目的就单边裂纹 PS 样品拉伸受载时的声发射事件与断裂过程的关系作一简要观察和讨论。

实 验 部 分

图1是本实验用 SF-3200 型双通道声发射仪的方框图, 该仪器由机械工业部通用机械所研制。两个探头(锆钛酸铅 PZT-5, 谐振频率 $f_r = 130\text{kHz}$) 分别固定在裂纹距离大约相近的样品同侧。用凡士林油作探头和样品的声耦合介质。本实验用放大器总的增益 78 分贝, 带通滤波器频率窗口 $130 \pm 20\text{kHz}$, 计数率时基为 1 秒, 门栏电压 0.6V。拉伸时两个探头采集的声信号经计数 D/A 转换器 I 和 II 送入记录仪作振铃计数率 C 和总振铃数 T 记录 (见图 2)。送入数据接口及实时存储处理系统的声信号经计算机处理后可分别得到声发射事件的幅度 (A)、脉宽 (B)、振铃计数 (C) 和声发射定位 (D) 四种分布。图 3 对应于一典型样品的四种分布。

样品选用上海高桥化工厂生产的悬浮聚合聚苯乙烯 ($\bar{M}_w = 3.14 \times 10^5$, $\bar{M}_w/\bar{M}_n =$

* 1982年8月6日收到, 1984年10月5日修改毕。

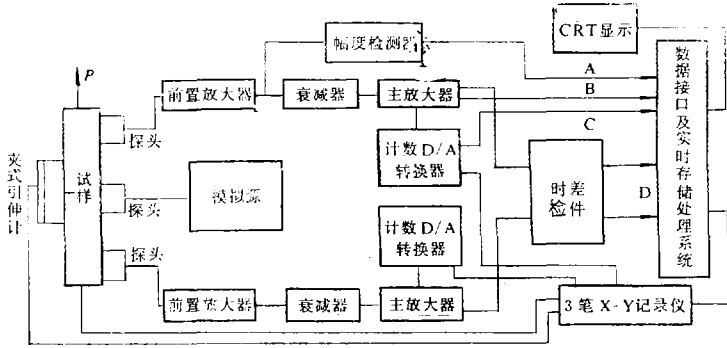


图1 SP3200 双通道声发射仪方框图

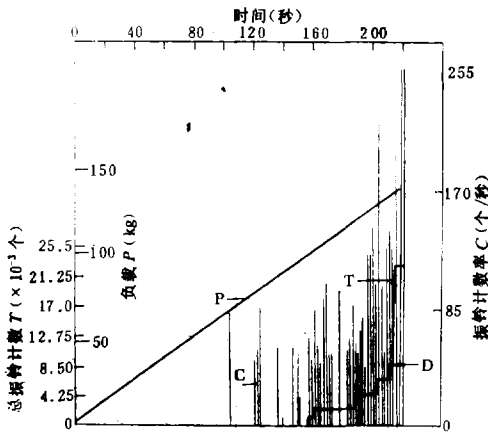


图2 单边裂纹聚苯乙烯样品拉伸时负载 P、共振计数率 C、总共振计数 T 和加载时间 t 的关系 D 为对应样品裂纹的亚临界扩展

1.77)。样品制备及室温下拉伸负载 P 及裂纹嘴张开位移 V 的测定同文献 [8]。样品两端钻孔,用销钉加载,以避免夹头齿痕压入样品时产生声发射。用反射式显微镜观察样品断面形态。

结果与讨论

图2是单边裂纹 PS 样品拉伸断裂过程中典型的声发射曲线。随着负载的增加,声发射计数率值和出现的频度都同时逐渐增加,这一变化过程和样品应变能密度, $U = \sigma^2 / 2E$, 正比于作用应力的平方相一致,因为带裂纹样品拉伸直至断裂时整个样品处在线弹性状态(断裂应力值见表1)。这里 E 是杨氏

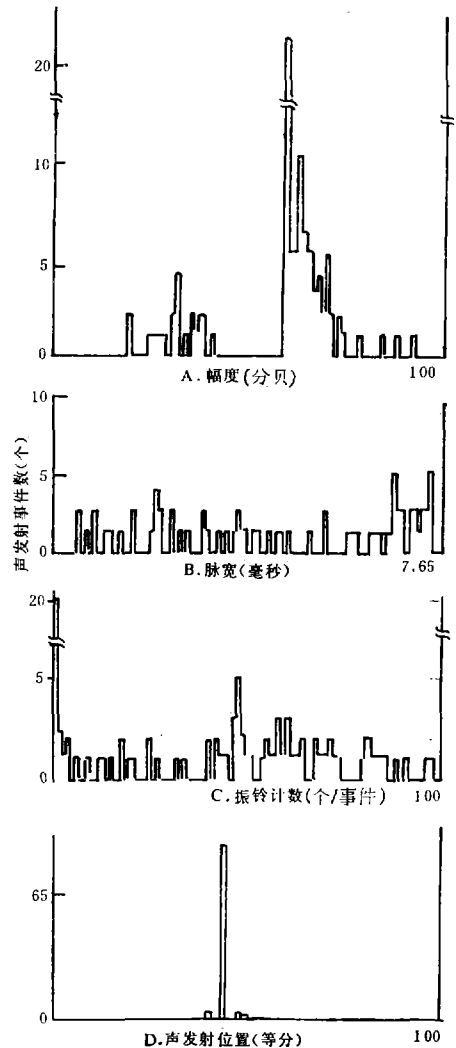


图3 PS-3 样品拉伸时的声发射事件的幅度(A)、脉宽(B)、共振计数(C)和位置(D)分布

模量。样品失稳断裂时声发射总数值有一个极大跃迁, 表明在样品加载直到断裂时多数声发射计数来自失稳断裂。实际上失稳断裂时炸裂声最强。在裂纹失稳扩展以前总是存在一个时间约为 2 秒、幅度较小的总数值跃迁(图 2D), 它对应于裂纹的亚临界扩展。图 4 是裂纹亚临界扩展阶段的断面形态, 高差不同的断面之间的剪切破坏都能导致声发射。亚临界扩展以前的加载过程中总数值有若干较小的跃迁, 这一阶段的声发射和裂纹的局部扩展有关, 这时应力强度因子尚未达到材料的亚临界值, 但裂纹端部几何形状和受力不均匀可导致裂纹局部细小的扩展(图 5)。



图 4 单边裂纹亚临界扩展断面形态
×55

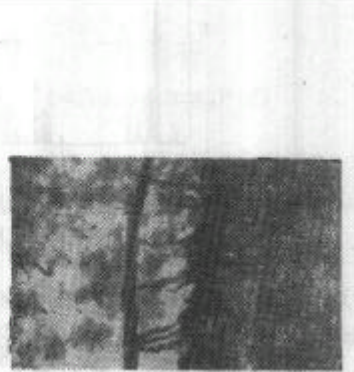


图 5 裂纹端部银纹局部细小扩展
×55

聚苯乙烯样品加载断裂的临界应力强度因子 K_{Ic} 和声发射事件的幅度 (A)、脉宽 (B)、振铃计数 (C)、位置 (D) 四种分布的采样总数值列于表 1, 四种分布见图 3。 K_{Ic} 的平均值为 $114 \text{ kg/cm}^{3/2}$, 和以前测定的结果相近^[4]。声发射事件采样总数的幅度 (A) 分布中多数声发射的幅度在 60 分贝左右, 能量较高。由上面的讨论, 裂纹亚临界和失稳扩展时材料中储存的应变能密度最大, 因此幅度分布上的这一组事件, 尤其是少数大幅度的声发射事件是和裂纹的亚临界及失稳扩展相关的。另外所有样品在 20—40 分贝的幅度范围内或多或少存在一组较小的声发射事件, 虽然它们很可能和裂端银纹的细小扩展(图 5)有关, 但需要进一步实验验证。图 3 中的 D 分布表明, 几乎全部声发射事件来自样

表 1 单边裂纹聚苯乙烯样品*拉伸断裂时四种分布的采样总数及断裂性能

样品号	声发射事件采样总数(个)				断裂应力 σ_f (kg/cm^2)	临界应力强度因子 K_{Ic} ($\text{kg/cm}^{3/2}$)
	A 分布	B 分布	C 分布	D 分布		
PS-1	99	99	95	99	50.2	90.4
PS-2	132	128	130	130	50.6	100.5
PS-3	102	71	97	102	74.4	147.8
PS-4	109	100	104	109	59.3	117.8
平均						114

* 样品尺寸: $120 \times 32 \times 7 \text{ mm}$, 引发裂纹长 a 为 $5.5-6.7 \text{ mm}$

品中心的预裂纹处,裂纹外的损伤可以忽略。

图 6 是单边裂纹 PS 样品连续两次重复加载时的声发射振铃计数率和负载的关系曲线。实验发现,在去载和低于前次极大负载的再加载过程中,没有记录到可检测的声信号,说明缺口聚苯乙烯重复拉伸加载时的断裂过程的声发射符合 Kaiser 效应^[4,7]。

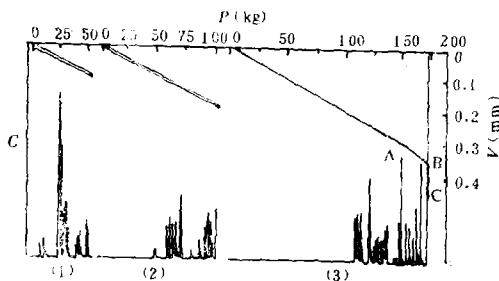


图 6 单边裂纹 PS 样品重复加载时声发射计数率 C、
裂纹嘴张开位移 V 和负载 P 关系曲线

致谢 在本实验中得到通用机械工业研究所王焕忠同志大力帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Grabee, I., Peterlin, A., *J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed.*, 1976, 14, 651.
- [2] Nishiura, T., *Polym. J.*, 1981, 13, 89.
- [3] Nishiura, T., *Polym. J.*, 1981, 13, 611.
- [4] Jakus, K., Ritter, J. E., *Polym. Eng. Sci.*, 1981, 21, 854.
- [5] Reoder, E., Crostack, A. A., *Kunststoffe*, 1977, 67, 454.
- [6] Betteidge, D., *Polymer*, 1982, 23, 178.
- [7] 钱人元,王天贵,高分子学术论文报告会预印集,1983年,杭州,第320页。
- [8] 吕锡慈,刘荣进,孙全生,钱汝正,李兰,高分子通讯,1984,(4),253.
- [9] Kaser, J., *Arkiv für das Eisenhüttenwesen*, 1973, 24, 43.

ACOUSTIC EMISSION DURING FRACTURE PROCESS IN SINGLE EDGE NOTCHED POLYSTYRENE (PS)

LÜ Xieci, QIAN Ruzhen, SUN Quanshen

(Department of Applied Chemistry, University of Science and Technology of China, Hefei)

LI Lan and LIU Rongjin

(Department of Mechanics, University of Science and Technology, of China, Hefei)

ABSTRACT

The acoustic emission event and its distribution in amplitude, broad, ring-down count, and dislocation during continuous and repeated loading of single edge notched PS sheet were measured. It was convinced that the acoustic emission of samples during extension came from the deformation, rupture, and propagation of crack-tip craze. The majority of the total ring-down count during experiment was contributed by the sub-critical and unstable crack propagation of pre-cut crack. The Kaiser effect of acoustic emission was observed during repeated loading.