

中心裂纹板的动、静态破损实验研究

吴 刚

童谷生

(同济大学地下建筑与工程系)

(土木工程系)

摘 要 在动、静态拉伸加载条件下,对具有不同裂纹尺寸的中心裂纹LY12板试件分别进行了破损实验研究,得到了名义断裂应力与板的初始裂纹长度间的关系,由此建立了中心裂纹LY12板的破损评定关系.通过对动、静态实验结果的比较,得到在动、静态拉伸加载条件下某些参量间的相互关系.

关键词 中心裂纹板;动、静拉伸加载;破损实验

分类号 O348

0 引 言

对已有缺陷的结构的破损过程进行研究,是断裂力学的研究课题之一. LY12板是航空航天工业中使用最广泛的材料,它的化学成分及材料性能类似于美国标准中的2024和苏联标准中的16. 随着现代航空航天事业的发展及满足未来战争的需要,对其进行的破损研究,一直受到发达国家的重视,并已取得了大量的研究成果,参见文献 [1~6].

本文采用了与上述文献不同的实验方法,对具有不同初始裂纹的贯穿的中心裂纹LY12板试件进行了破损实验研究.

1 试 件

试件采用LY12CZ铝合金板,其常规的机械及力学性能如表1所示.

表1 LY12CZ板的机械及力学性能

材料	厚度(mm)	比 重 (g/cm ³)	泊松比(V)	弹性模量E (CPa)	屈服应力 σ_s (MPa)	拉伸强度 σ_b (MPa)	断裂应力 σ_t (MPa)
LY12CZ板	1.45	2.80	0.33	66.7	316	347	325

试件的形状及尺寸如图1所示.

收稿日期: 1994-07-08.

吴刚,男,1962年生,博士.

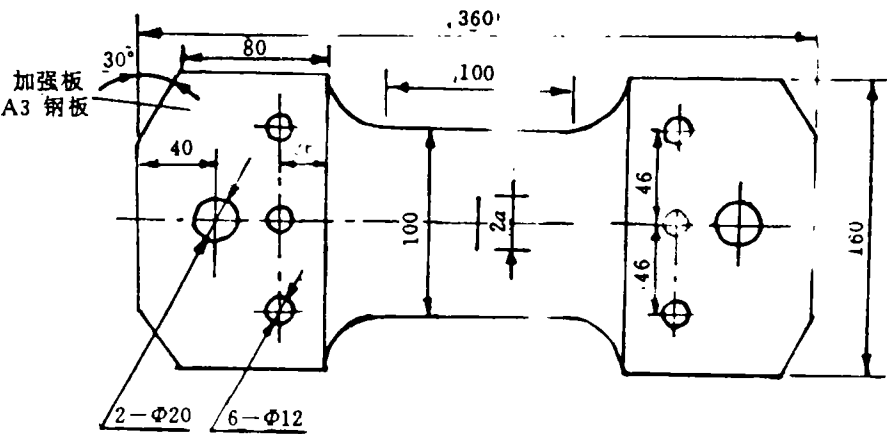


图 1

2 在准静态拉伸加载下 LY12CCT 板的实验方法及结果

2.1 实验方法

将 LY12 板的 CCT 试件装入万能试验机 (济南试验机厂制造的 300kN 材料试验机), 开动试验机, 缓慢进行拉伸加载, 直至试件被拉断, 记录下拉断时的载荷. 最后测出断裂试件的初始裂纹长度.

2.2 实验结果

我们对 19 个试件进行了试验, 其有关数据如表 2 所示.

表 2

试件编号	裂纹长度 (mm)	断裂载荷 (kN)	名义断裂应力 (MPa)	试件编号	裂纹长度 (mm)	断裂载荷 (kN)	名义断裂应力 (MPa)
A-1	16. 64	40. 6	278. 08	A-2	15. 40	41. 1	281. 51
B-1	18. 70	40. 2	275. 34	B-2	17. 20	40. 5	277. 40
C-1	19. 28	40. 3	276. 03	C-2	20. 18	39. 2	268. 49
D-1	21. 56	37. 8	258. 90	D-2	22. 26	38. 8	265. 75
E-1	22. 56	38. 2	261. 64	E-2	21. 68	37. 4	256. 16
F-1	24. 54	35. 4	242. 47	F-2	25	35. 8	245. 21
G-1	27. 66	35. 2	241. 10	G-2	28. 64	34. 8	238. 36
H-1	29. 62	33. 2	227. 62	H-2	30	32. 8	224. 66
I-1	30. 70	34. 4	235. 62	I-2	33. 96	31. 8	217. 81
A-3	16. 28	41. 3	282. 88				

注：名义断裂应力 = $\frac{\text{断裂载荷}}{\text{试件横截面面积}}$

对表2中的裂纹半长 a_0 及名义断裂应力 σ_f 取对数，并进行回归处理，得到的回归直线方程为

$$\ln \sigma_f = 6.3584 - 0.3372 \ln a_0 \quad (1)$$

$$\text{相关系数 } r = -0.9687. \quad (2)$$

于是，我们得到断裂应力 σ_f 与初始裂纹半长 a_0 的关系

$$\sigma_f = c a_0^\alpha. \quad (3)$$

式中 $c = e^{6.3584}$, $\alpha = -0.3372$.

将裂纹半长 a_0 及名义断裂应力 σ_f 及回归直线方程 (1) 在对数坐标系中画出，如图2所示。

由图2可以看出，在准静态拉伸加载条件下中心裂纹 LY12 板的破坏评定关系。在直线右上方的区域为破坏区域，在直线的左下方的区域为安全区域。

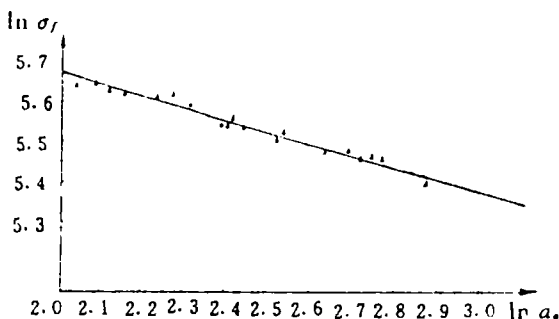


图2 静态 $\ln \sigma_f - \ln a_0$ 关系图

3 在动态拉伸加载下 LY12 CCT 板的实验方法及结果

3.1 实验方法^[7,8]

目前，常用的动态断裂实验方法主要有：(1) 落锤实验法；(2) 分段式 Hopkinson 压杆技术 (SHPB 方法)；(3) 单点弯曲实验；(4) 直接冲击法。

由于动态断裂实验装置复杂，费用高昂；而对具有贯穿的中心裂纹板进行动态拉伸断裂实验，至今还没有见到有关的文献报道。因此，我们只有结合现有条件，制定出实验方案，从中得到一些实验现象和数据，并对之进行了初步的分析研究。

本实验采用的试件仍与静态实验的试件相同。实验在中国工程物理研究院四所的高速拉压试验机上进行。在试件一个裂纹尖端前沿贴两个应变片；在试件下方的测力杆上贴应变片；使用激光接收器测定加载速率。将以上四个信号（三个应变，一个速率）输入超动态应变仪，并分别在 6041 和 2430A 上记录下来，对测力杆的应变通过应力—应变关系换算应力，从而得到试件的名义断裂应力。

3.2 实验仪器及装置

试验机为长春试验机研究所生产的 CJS-25 型“高速拉压试验机”。该试验机使用火药作为高速拉压的动力。其最大负荷为：拉力 12T，压力 45T；最高速率 40m/s。

超动态应变仪为中国科技大学生产的“K54 型超动态应变仪”；显示（记录）仪器为 VC-6041 和 Tektronix 2430A。

实验测试系统示意图如图 3 所示。

3.3 实验结果

我们对 10 个试件进行了动态拉伸断裂实验。使用火药药量均为 50 克，通过 VC-6041 和

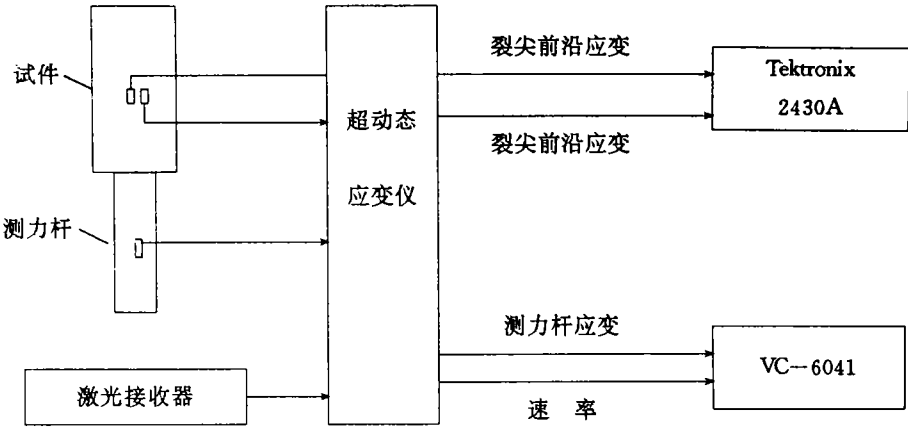


图3 实验测试系统示意图

Tektronix2430A 记录了8个试件的加载速率，测力杆和裂尖前沿的时间一应变曲线。
从加载速率资料，我们得到加载的平均速率为5.72m/s。通过对拉断试件的测量及对记录的数据进行分析和计算，得到的实验结果如表3所示。

表 3

试件编号	裂纹长度 (mm)	板拉断时测 力杆的应变 ($\times 10^{-6}$)	名义断裂应力 σ_f (MPa)	试件编号	裂纹长度 (mm)	板拉断时测 力杆的应变 ($\times 10^{-6}$)	名义断裂应力 σ_f (MPa)
A-4	13.96	1100	231	E-4	21.62	660	138.60
B-4	16	990	207.90	F-4	23.70	496	104.16
C-4	19	843	177.03	G-4	29.04	320	67.20
D-4	20.24	880	184.80	I-4	32.50	220	46.20

注：且断裂应力 $\sigma_f = E\epsilon_f$ 其中 $E = 210\text{GPa}$
对初始裂纹半长 a_0 及名义断裂应力 σ_f 取对数，
进行回归处理后，得到回归直线方程为

$$\ln \sigma_f = 9.4521 - 1.9479 \ln a_0, \tag{4}$$

相关系数

$$r = -0.9577. \tag{5}$$

于是，我们得到名义断裂应力 σ_f 与初始裂纹半长 a_0 间关系

$$\sigma_f = C_D a_0^{\alpha_D}. \tag{6}$$

其中 $C_D = e^{9.4521}, \alpha_D = -1.9479$.

将初始裂纹半长 a_0 及名义断裂应力 σ_f 及回归
直线方程 (4) 在对数坐标系中画出，如图4所示。

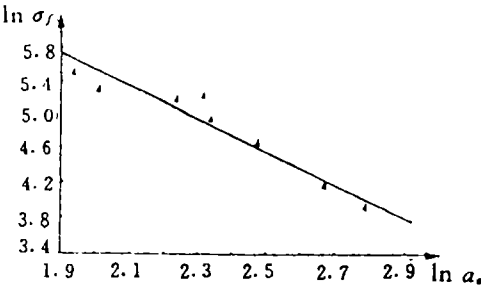


图 4 动态 $\ln \sigma_f - \ln a_0$ 关系图

图4表示在加载速率5.72m/s 下中心裂纹 LY12板的破损评定关系。在直线右上方的区域，LY12板将发生破损；在直线左下方的区域，LY12板将处于安全状态。

4 结 论

通过对具有贯穿的中心裂纹 LY12 板试件进行的动态 (5.72m/s) 和准静断裂实验, 我们得到如下结论:

(1) 在准静态及动态拉伸加载条件下, 中心裂纹 LY12 板的名义断裂应力与裂纹初始长度满足幂函数关系;

(2) 在相同的加载速率下, 初始裂纹短的试件从起裂、稳定扩展到失稳扩展所需的时间较裂纹长的试件更长;

(3) 在动、静态拉伸加载条件下, 中心裂纹板的名义断裂应力 σ_f 与初始裂纹半长 a_0 满足的关系如图 5 所示。

在本文的实验中, 由回归直线方程 (1) 和 (4) 联立求解得

$$(\ln a_0)_c \approx 1.9209. \quad (7)$$

于是,

$$(2a_0)_c \approx 13.65(\text{mm}). \quad (8)$$

因此, 当中心裂纹 LY12 板试件的初始裂纹长度为 13.65mm 时, 动态 (5.72m/s) 和准静态拉伸加载下产生断裂的应力相同。对于小于该裂纹长度的板, 动态下试件的名义断裂应力要比静态下的大。反之, 动态下试件的名义断裂应力比静态下的小。

致谢: 本文工作得到重庆大学陈泽光先生的指导, 作者在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Gerberich W. Experimental Mechanics, Nov, 1964
- 2 poulose P K, Liebowitz H Engineering Fracture Mechanics, 1984, 20 (1): 179~185
- 3 Yan-xian Qi Wei-xun Fan. Fatigue Fract Engng Mater. Struct, 1987, 10(1): 551~58
- 4 Dawicke D S, Poe C C, et al. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 1990, 14: 101~106
- 5 в. г. 库德良绍夫, в. и. 斯莫连采夫著. 高云震等译. 铝合金断裂韧性. 冶金工业出版社, 1980
- 6 Lai Yunlin. Journal of strain Analysis 1989, 24 [3]
- 7 范天佑. 断裂动力学引论. 北京: 北京理工大学出版社, 1990

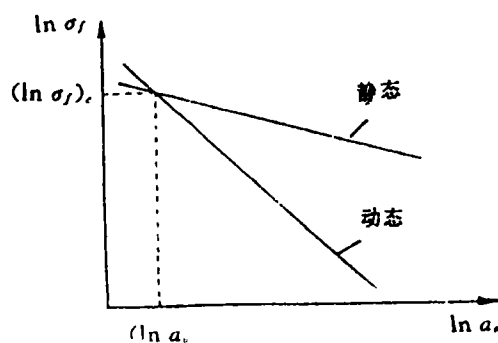


图5

Rupture Experimental Investigation of Through Centre Cracked LY12 Plate Specimens under Dynamic and Static Tensile Loadings

Wu Gang Tong Gusheng

Abstract In this paper, the relationship between nominal fracture stress and initial crack length of through centre cracked LY12 plate specimens is established by the static and dynamic tensile loadings rupture experiments, respective. The relations of some parameters in static and dynamic experiments are compared.

Key words Through—centre cracked plate; Static—dynamic tensile loadings; Rupture experiment