

目 录

1.E616—81	有关断裂试验的标准术语	1
2.E338—81	高强度板材锐切口拉伸试验的标准方法	12
3.E399—81	金属材料平面应变断裂韧度标准试验方法	18
4.E436—74	(1980重订) 铁素体钢落锤撕裂试验的 标准方法	45
5.E561—81	测定R曲线的标准试验方法	50
6.E602—81	圆棒试样锐切口拉伸的标准试验方法	67
7.E604—80	金属材料动态撕裂能的标准试验方法	76
8.E647—81	10 ⁻⁸ 米/周以上的恒载荷幅疲劳裂纹扩 展速率的标准试验方法	85
9.E740—80	表面裂纹拉伸试样断裂试验的标准方法	104
10.E813—81	J _{IC} (断裂韧度的一种度量) 的标准试 验方法	113

有关断裂试验的标准术语¹

1 范 围

1.1 本术语汇编包括断裂试验标准中准许采用的定义、符号和缩写。以一般定义为标题的术语在编排上是比较合理的；为了便于学习指导、后面的术语是基于前面有关的术语进一步引伸的。在其他定义一栏里的术语是按它们在被摘录标准中的顺序编排的。在定义前面有一个索引，便于术语的查找。索引又分为两个部分，一个部分是按术语字头的英语字母顺序编排的，并附有相互参照的有关术语。另一部分是以希腊字母的英语读音为顺序编排的符号索引。

2 适用文件

2.1 必用的ASTM标准

- E 338 高强度板材的锐切口拉伸试验方法²
E 399 金属材料平面应变断裂韧度试验方法²

- E 561 测定R曲线的标准试验方法²
E 602 圆棒试样锐切口拉伸试验方法²
E 604 金属材料动态撕裂能的试验方法²
E 647 10^{-8} 米/周以上的恒载荷幅疲劳裂纹扩展速率的试验方法²

2.2 下列ASTM标准仅供参考

- E 436 铁素体钢落锤撕裂的试验方法²

3 术语索引

3.1 按字母顺序排列的术语表

1 本术语汇编属 ASTM E—24 断裂试验委员会主管，由 E24.05 术语小组委员会直接负责。

本版本于1980年3月28日批准，1980年5月颁布。首版以 E616—77 颁布，上一版本为 E616—78。

2 Annual Book of ASTM Standards Part 10.

术 语	符 号	节
裂纹（见理想裂纹）		4
裂纹位移（亦见位移）		6
裂纹扩展量	Δa	18
裂纹扩展力	G	11
裂纹扩展阻力	K_R, G_R, J_R	21
裂纹，理想的（见理想裂纹）		4

续表

术 语	符 号	节
裂纹长度 (亦见裂纹尺寸)	a	45
裂纹面取向		24
裂纹尺寸	a	13
裂纹强度	σ_0	28
裂纹 (顶端) 张开位移, C(T)OD	δ	8
裂纹顶端平面应变		9
裂纹顶端平面应力 (见裂纹顶端平面应变)		
晶体学解理		29
周		46
位移 (亦见裂纹位移)	V	
落锤撕裂试验, DWTT		
动态撕裂能 (DT)		59
有效裂纹尺寸	a_e	17
有效屈服强度	σ_y	19
疲劳裂纹扩展速率	da/dN	51
恒载荷或恒位移裂纹扩展力曲线		58
断裂韧度		20
断裂韧度, 平面应变 (见平面应变断裂韧度)		
断裂韧度, 平面应力 (见平面应力断裂韧度)		
理想裂纹		4
理想裂纹顶端应力场		5
J 积分	J	12
载荷范围	ΔP	49
载荷比	R	50
最大载荷	P_{max}	47
最大应力强度因子	K_{max}	54
最小载荷	P_{min}	48
最小应力强度因子	K_{min}	55
型		7
名义 (净截面) 应力	σ_n	25

续表

术 语	符 号	节
切口拉伸强度, NTS		26
初始裂纹尺寸	a_0	15
物理裂纹尺寸	a_p	14
平面应变 (见裂纹顶端平面应变)		
平面应变断裂韧度	K_{Ic}	23
平面应力断裂韧度 (亦见平面应变断裂韧度)	Kc	57
塑性区修正量	r_y	16
R 曲线		22
锐切口强度	σ_s	27
强度 (见有效屈服强度, 切口拉伸强度或锐切口强度)		
应力场 (见理想裂纹顶端应力场)		
应力强度标定	K 标定	52
应力强度因子	K, K_1, K_2, K_8	10
应力强度因子范围	ΔK	56
屈服强度, 有效的 (见有效屈服强度)		

3.2 按字母顺序排列的符号表

a	裂纹长度	G_R	裂纹扩展阻力
a	裂纹尺寸	J	J 积分
a_c	有效裂纹尺寸	J_R	裂纹扩展阻力
a_0	初始裂纹尺寸	K	应力强度因子
a_p	物理裂纹尺寸	K 标定	应力强度标定
da/dN	裂纹扩展速率	K_1, K_2, K_8	应力强度因子
Δa	裂纹扩展量	K_{Ic}	平面应变断裂韧度
ΔK	应力强度因子范围	Kc	平面应力断裂韧度
ΔP	载荷范围	K_{max}	最大应力强度因子
δ	裂纹 (顶端) 张开位移	K_{min}	最小应力强度因子
G	裂纹扩展力	K_R, G_R, J_R	裂纹扩展阻力
		P_{max}	最大载荷
		P_{min}	最小载荷

R	载荷比
r_y	塑性区修正量
σ_c	裂纹强度
σ_y	有效屈服强度
σ_N	名义（净截面）应力
σ_S	锐切口强度
V	位移

3.3 按字母顺序排列的缩写字

C(T)OD	裂纹（顶端）张开位移
DT	动态撕裂
DWTT	落锤撕裂试验

一般定义

4. **理想裂纹**—用于弹性应力分析中的裂纹简化模型。在没有应力的物体中，理想裂纹有两个光滑而重合的表面，它们沿着物体内部称为裂纹前缘的光滑曲线相汇合。在两维表示中裂纹前缘叫做裂纹顶端。

5. **理想裂纹顶端应力场**—变形弹性体中理想裂纹的主要贡献所引起的无限接近裂纹前缘处的奇异应力场。在均质的线弹性体中，有效的应力分量与离裂纹顶端距离的平方根成反比。

注一在线弹性体中，裂纹顶端应力场可以看做是三种应力场分量的叠加。这三种应力场的种类叫做型。

6. **裂纹位移** [L] —理想裂纹表面上两个在变形前相互重合的点（在已变形裂纹的两个表面上）之间的分离矢量。

7. **型**—裂纹顶端附近三种裂纹（表面）位移形式之一。这些位移类型与裂纹顶端周围的应力应变场有关并分为一型、二型

和三型。阿拉伯数字 1, 2 和 3 用来表示一般情况，罗马数字（I 和 II）用来特指平面应变型，而反平面应变型则用 III 来表示。

注 1—关于平面应变和平面应力的解释请看裂纹顶端平面应变的定义，同时请看裂纹位移。

注 2—在不需要特殊注明的情况下，建议把阿拉伯数字 1 省略。讨论：一对各向同性的材料，这三种型可以用表 1 和图 1 中的裂纹（表面）位移来表示。对各向异性的材料，这些位移要复杂得多。

用图 2 所示的坐标系，并假设物体为均质的各向同性的弹性体，则裂纹前缘前方无限小单元上 I 型，II 型和 III 型的奇异性应力为零或不为零，如表 1 所示。

对于线弹性体，可以将这三种应力—应变场进行叠加来描述任意裂纹顶端的应力—应变场。

8. **裂纹（顶端）张开位移** (C(T)OD)， $\delta[L]$ —由于弹性和塑性变形而引起（加载以前）初始裂纹顶端附近各种定义位置处的裂纹位移。

注一在通常的试验中，I 型的 δ 是根据观察裂纹顶端附近的，远处的，或这两处的裂纹位移来估算的。

9. **裂纹顶端平面应变**—裂纹顶端附近的应力—应变场达到经验判据所要求的平面应变的程度。

注 1—例如，在 I 型的情况下，按方法 E399，裂纹顶端平面应变的判据要求板厚 B 必须等于或大于 $2.5 (K/\sigma_y)^2$ 。

注 2—请看弹性或固体力学教科书中关于平面应变的解析定义。

注 3—裂纹顶端平面应力在一般用途中是指裂纹顶端不处于平面应变状态下的应力—应变场。在这种情况下，平面应变保有程度的影响可能是显著的。

注 4—平面应力和裂纹顶端平面应力的解析讨论请看材料力学方面的教科书，或 J.N. Goodier, Fracture, Vol. I, H. Liebowitz, ed., Academic Press, New York (1968), P.8 或 N.E. Frost et al, Metal Fatigue, Clarendon Press, Oxford (1974), P.210.

10. 应力强度因子, K_1, K_2, K_3

$[FL^{-3/2}]$ —在均一的线弹性体中, 某一特定类型的理想裂纹顶端应力场(应力场奇异性)的强度。

注—1, 2和3型的K值由下式给出:

$$K_1 = \lim_{r \rightarrow 0} [\sigma_y (2\pi r)^{1/2}],$$

$$K_2 = \lim_{r \rightarrow 0} [\tau_{xy} (2\pi r)^{1/2}], \text{ 以及}$$

$$K_3 = \lim_{r \rightarrow 0} [\tau_{yz} (2\pi r)^{1/2}],$$

式中 r 为被计算的有效应力的所在位置离裂纹顶端正前方的直线距离。

11. 裂纹扩展力, $G[FL^{-1}]$ —弹性体中裂纹扩展某个虚拟增量时, 在一理想裂纹前缘上每单位新生表面面积所能获得的弹性能。

注—上述 G 的定义对静止的裂纹和动裂纹都适用。以往 G 多用于线弹性分析的方法中, 但 J (见 J 积分) 也可用于这些分析上。

12. J 积分, $J[FL^{-1}]$ —从一个裂纹表面到另一个裂纹表面并包围着裂纹前缘的一个线积分或面积分的数学表达式, 被用来表征裂纹前缘周围的局部应力—应变场。

注1—一个位于 $X-Z$ 平面内且裂纹前缘与 Z 轴平行的二维裂纹的 J 积分表达式是线积分:

$$J = \int_{\Gamma} (W dy - T \cdot \frac{\partial u}{\partial x} ds)$$

式中:

W = 单位体积的加载功或弹性体的应变能密度;

Γ = 包围 (即包含) 裂纹顶端的积分路径;

ds = 积分路径的增量;

$T = ds$ 上向外作用的张力;

$U = ds$ 处的位移矢量;

x, y, z = 直角坐标;

$T \cdot \frac{\partial u}{\partial x} ds$ = 由应力场向 Γ 所包围的面积

内输入的功率。

由此方程计算的 J 值在通常所用的试样中被认为是路径无关的, 但是在服役构件 (也许也在试样) 中, 应当充分考虑 Γ 上的加载内容, 诸如裂纹或服役构件的快速运动引起的载荷以及残余应力和热应力所引起的载荷。

注2—在 (线性或非线性) 弹性体内, J 积分等于裂纹扩展力 G 。(见 G 的定义)

注3—对于这种 (线性和非线性) 弹性体, 上述方程是路径无关的, 这时当保持恒位移或恒载荷时, J 积分等于两个具有无限小裂纹面积差的同样试样在施加应力后, 在一固定位移值或固定载荷值之下与每单位裂纹面积差相对应的加载功之差。这种方法常用来定义非弹性体的 J 值。

注4—进一步的讨论请看 J.R. Rice, Journal of Applied Mechanics, Vol. 35, 1968, p. 379。

13. 裂纹尺寸, $a[L]$ —裂纹主平面尺寸的线性度量。这一度量通常用于描述应力和位移场的量的计算中, 通常也称为裂纹长度。

注—在实际当中, a 的数值根据不同情况可以通过测定物理裂纹尺寸 a_p , 初始裂纹尺寸 a_0 或有效裂纹尺寸 a_e 而得到。

14. 物理裂纹尺寸, $a_p[L]$ —被测的裂纹缘到参照面的距离。这个距离可能是沿着纹前缘若干测量值的平均值。参照面则依前试样的形式而定。通常取试样或平板的边裂纹, 加载线或中心线的所在面。

15. 初始裂纹尺寸, $a_0[L]$ —试验开始时的物理裂纹尺寸。

16. 塑性区修正量, $r_y[L]$ —为考虑被线弹性应力场包围的裂纹顶端的塑性变形而附加于物理裂纹尺寸的一个修正量。

注—塑性区修正量通常由下式表示:

$$\text{平面应力状态, I型 } r_y = \frac{1}{2\pi} \frac{K^2}{\sigma_y^2},$$

$$\text{平面应变状态, I型 } r_y = \frac{a}{2\pi} \frac{K^2}{\sigma_y^2}$$

式中 $a \approx 1/3 \sim 1/4$, 而 σ_y 为有效屈服强度。

17. **有效裂纹尺寸**, $a_e[L]$ —由于裂纹顶端塑性变形效应而增大的物理裂纹尺寸。

注一有时,有效裂纹尺寸 a_e 是由物理裂纹尺寸 a_p 的测量值加上塑性区修正量 r_y 的计算值而得到。计算 a_e 的较好方法是把由载荷—加载点位移曲线的割线得到的柔度与由该类试样标定得到的弹性柔度加以对比。

18. **裂纹扩展量**, $\Delta a[L]$ —裂纹尺寸的增量。

注一例如, Δa_p 或 Δa_e 是裂纹尺寸 a_p (物理裂纹尺寸) 或 a_e (有效裂纹尺寸) 与 a_0 (初始裂纹尺寸) 之差值。

19. **有效屈服强度**, $\sigma_y[FL^{-2}]$ —单轴屈服强度的假定值, 它表示塑性屈服对断裂试验参数的影响。在计算中它有各种不同的定义。

注1—例如, 有效屈服强度有时为割线偏置0.2%的拉伸屈服强度(σ_{y_s}); 有时是上述数值与极限拉伸强度(σ_{T_s})的平均值, 即 $(\sigma_{y_s} + \sigma_{T_s})/2$ 。

注2—计算 σ_y 时应考虑加载速率和温度等试验条件的影响。

20. **断裂韧度**—裂纹扩展阻力度量的通用术语。

注一这一术语有时仅限于可直接用于断裂控制的断裂力学试验结果。但一般来说, 这一术语包括不以断裂力学分析为基础的切口或预裂纹试样的简单试验结果。如果参照服役经验或与断裂力学试验之间的经验关系为基础, 则后一种试验的结果往往对断裂控制有用。

21. **裂纹扩展阻力**, $K_R[FL^{-3/2}]$ 和 G_R 或 $J_R[FL^{-1}]$ —用应力强度因子 K , 裂纹扩展力 G 或用 J 积分概念导出的 J 值来表示的材料抗裂纹扩展能力的度量。

注一—见 R 曲线的定义。

22. **R 曲线**—作为稳定裂纹扩展量 Δa_p 或 Δa_e 函数的裂纹扩展阻力曲线。

注一—对推荐试验方法E 561中所讨论的试样, 面内几何尺寸的影响似乎可以忽略, 但一般来说 R 曲线与试样的厚度有关, 有些材料还和温度以及应

变速率有关。

23. **平面应变断裂韧度**—裂纹顶端平面应变状态下的裂纹扩展阻力。

注1—例如, 在I型缓慢加载并忽略塑性区影响的情况下, 用试验方法E399规定的操作程序(并满足所有有效性条件)测得的应力强度因子 $K_{Ic}[FL^{-3/2}]$ 就是平面应变断裂韧度值。E399还提供裂纹开始扩展时裂纹扩展阻力的测量方法以及裂纹顶端锐度, 裂纹扩展起始点以及裂纹顶端平面应变的工作定义。

注2—亦请参看裂纹扩展阻力, 裂纹顶端平面应变和型的定义。

讨论—平面应力断裂韧度是裂纹顶端平面应变的程度未达到某一经验判据所要求的裂纹扩展阻力。例如, 根据推荐试验方法E561, 平面应力断裂韧度是用 R 曲线来表示的。

如果用平面应力断裂韧度来描述裂纹的失稳条件时, 则用 K_c 表示, 它是一个与试样几何形状有关的量。根据推荐试验方法E561, K_c 是 R 曲线和与几何形状有关的应力强度因子曲线相切处的 K 值。

如果裂纹顶端塑性区被弹性应力场所包围, 则可用有效裂纹尺寸的概念计算应力强度因子 K 的塑性修正值。

24. **裂纹面取向**—断裂平面和断裂方向相对于产品几何形状的符号。符号的头一组字母表示裂纹平面法线的方向, 第二组字母表示裂纹扩展的预期方向, 两组字母之间用连字符连接。

讨论—

24.1 由于材料的各向异性, 材料断裂韧度通常与裂纹的取向和扩展方向有关, 而材料的各向异性又与机械加工和晶粒流变的主方向有关, 只要有可能, 裂纹平面的取向应按下列方法来区分³, 另外, 产品的形式也应注明(如纵轧板, 横轧板, 锻饼等)。

24.1.1 对于矩形截面, 参考方向按图3和图4来区分, 这里以轧板为例。同样的方法也适用于板材, 挤压材和晶粒流变不对称的锻件。

L = 主变形 (最大晶粒流变) 方向,

T = 最小变形方向,

S = 第三正交方向。

3 Goode, R. J., "Identification of Fracture Plane Orientation" Materials Research and Standards, MIRSA, Am. Soc. Testing Mats, Vol 12, No. 9, September 1972.

24.1.1.1 用两个字母来标记取向, 第一个字母表示裂纹面的法线方向, 第二个字母表示预期的裂纹扩展方向。例如图 3 的 T—L 试样, 其断裂平面的法线为板的宽度方向, 预期的裂纹扩展方向与最大晶粒流变方向或板的纵向相一致。

24.1.1.2 对于相对于两个参考轴倾斜的试样, 如图 4, 用三个字母标明取向。如 L—TS 表示裂纹面垂直于主变形方向 (L 方向), 预期的断裂方向在 T 和 S 方向之间。TS—L 表示裂纹面垂直于介于 T 和 S 之间的某个方向, 预期的断裂方向为 L 方向。

24.1.2 对于某些主变形方向平行于圆柱纵轴的圆柱截面, 参考方向按图 5 来区分。这里以拉拔的棒材为例。同样法则也适用于有圆横截面的挤压件或锻件。

L = 最大晶粒流变方向,

R = 径向,

C = 圆周方向或切线方向。

24.1.3 C 型试样一般只用于测定裂纹平面垂直于圆周方向或切线方向, 裂纹扩展方向为径向的断裂韧度。这就是 24.1.2 节定义的 C—R 取向, 对其他取向, 应采用弯曲试样或紧凑试样。

25. 名义 (净截面) 应力, $\sigma_N [FL^{-2}]$ 一断裂试验中, 忽略由于几何不连续性如孔、槽、圆角等造成的应力梯度, 而用简化的方式在净横截面上算得的应力度量。

注 1—对于拉伸试样 (只考虑拉伸), 用平均应力: $\sigma_N = P/A$; 矩形试样 $A = B(W-a)$, 圆形试样 $A = (\pi d^2)/4$ 。

注 2—对于弯曲试样 (只考虑弯曲), 用纤维应力:

$$\sigma_N = \frac{6M}{B(W-a)^2}$$

注 3—对于紧凑试样 (拉伸和弯曲),

$$\sigma_N = \frac{2P(2W+a)}{B(W-a)^2}$$

注 4—对于 C 形试样 (拉伸和弯曲),

$$\sigma_N = \frac{2P(3X+2W+a)}{B(W-a)^2}$$

注 5—在注 1 至注 4 中,

d = 圆周切口试样切口截面的直径, in. (或 m),

P = 载荷, lbf (或 N),

B = 试样厚度, in. (或 m),

W = 试样宽度, in. (或 m),

a = 裂纹尺寸 (切口长度或切口加预裂纹的长度), in. (或 m),

X = 加载孔偏置尺寸, in. (或 m) 以及

M = 弯矩, in·lbf (N·m), σ_N 的结果以 psi (或 Pa) 给出, 符号的进一步解释请看试验法 E399。

26. 切口拉伸强度 (NTS) $[FL^{-2}]$ 一切口拉伸试样所能承受的最大名义 (净截面) 应力。

注 1—见名义 (净截面) 应力和锐切口强度的定义。

注 2—切口拉伸强度的值可能与截面尺寸, 切口锐度和切口的偏心度有关, 见锐切口强度。

27. 锐切口强度, $\sigma_s [FL^{-2}]$ 一锐切口试样所能承受的最大名义 (净截面) 应力。

注 1—见名义 (净截面) 应力的定义。

注 2—锐切口强度的值可能与切口和试样的几何形状有关, 因为它们影响到净横截面尺寸和弹性应力集中。

注 3—试验方法 E338 和 E602 所用拉伸试样具有机械加工能力所能达到的最小切口根部半径。这些试样的切口半径被认为已经是足够小了, 以致用标准加工方法获得的任何更小的半径不会使切口强度产生具有工程意义的变化。

28. 裂纹强度, $\sigma_c [FL^{-2}]$ 一含裂纹试样所能承受的最大名义 (净截面) 应力。

注 1—见名义 (净截面) 应力的定义。

注 2—裂纹强度是按最大载荷和初始最小横截面面积 (净横截面或韧带) 计算的。因此, 只考虑

裂纹的初始尺寸,而忽略了在试验过程中可能发生的任何裂纹扩展。

注 3—裂纹强度与极限拉伸强度类似,因为后者也是基于最大载荷与试验开始时的试样最小横截面面积之比。

29. **晶体学解理**—晶体沿着相对于发生分离过程的三维晶体结构为固定取向的平面的分离,并且分离过程所形成的新生表面的分开方向含有与上述固定平面相垂直的主运动分量。

注 1—上述定义不包含有关解理产生原因的所有概念,它们包括速度,脆性,能量,加载次数,温度,结合力,原子运动等的任何影响。只把晶体学取向关系用来作为严格的定义。然而,当我们分析某一特定断裂时,最好了解一下解理产生的条件,它的形貌,速度等等以及判定开裂事件为解理所依据的方法。

注 2—解理一般沿着具有最大晶面间距,也就是最小指数的晶面发生。

注 3—晶体学解理在越来越多的材料中以及越来越多的介质和应力条件下被证实。如应力腐蚀开裂,液态金属感应开裂,低幅疲劳开裂,氢致开裂,以及早已熟知的单轴加载低温脆断等都是经常引起晶体学解理的原因。

注 4—要证明断裂是晶体学解理所造成的必须借助于晶体结构方面的知识,加上测定晶体取向的技术,如X光衍射、电子衍射、蚀坑形状、单表面或多表面径迹分析等。这类解理往往,但并非总能由断口的一些形貌来辨认,如有平的小面,平行小面间的台阶,台阶汇合形成的河流花样以及裂纹顶端的孪晶引起的舌形或人字形花样等。在细晶粒合金中,只有在高放大倍数(约达2000×)之下才能观察到上述特征。

注 5—沿着孪晶等基体界面的分开称为分离(Parting),不叫解理。

注 6—尽管解理是在个别晶体中得到证明,但这些晶体可以是单晶粒,或聚合成粗晶粒以及细晶粒的集合体。

注 7—某一特定晶体在某种组合因素的影响下

可能沿某一族平面发生解理,而在另一种组合之下则可能沿另一族平面发生解理。

其他定义

其他定义摘自:

试验方法E338—81;

30. **锐切口强度**—(见本标准第27节)

试验方法E399—81;

31. **应力强度因子**—(见本标准第10节。亦见型)

讨论—在试验方法E399中假定为I型,

32. **平面应变断裂韧度**—(见本标准第23节)。

33. **裂纹面取向**—(见本标准第24节)

试验方法E561—80;

34. **裂纹尺寸**—(见本标准第13节)

35. **物理裂纹尺寸**—(见本标准第14节)

36. **初始裂纹尺寸**—(见本标准第15节)

37. **有效裂纹尺寸**—(见本标准第17节)

38. **塑性区修正量**, $r_y[L]$ —(见本标准第16节)

讨论—在该试验方法里假定为平面应力I型。

39. **裂纹扩展量**—(见本标准第18节)

40. **应力强度因子**—(见本标准第10节,亦见型)

讨论—在试验方法—E561中,假定为I型。

41. **裂纹扩展阻力**—(见本标准第21节)

42. **R曲线**—(见本标准第22节)

43. **裂纹位移**—(见本标准第6节)

讨论—在试验方法E561里,位移是指试样上所选定的某测量点垂直于裂纹平面方向的移动距离。用夹式引伸计或其他测量工具横跨裂纹所测得的总位移量为 $2V$ 。在CLWL试样和CS试样上的测量点用 V_1 和 V_2 来代表。

试验方法E602—81;

44. **锐切口强度**—(见本标准第26节)
试验方法E647—81:

45. **裂纹长度**, $a [L]$ —疲劳过程中, 用来确定裂纹扩展速率和应力强度因子的物理裂纹尺寸。CT试样的 a 是从加载支承点的连线测量的, 而CCT试样的 a 是从中心裂纹的垂直平分线测量的。

46. **周一疲劳过程**, 周期性重复的外加载荷的一个完整循环。符号 N 代表周次。

47. **最大载荷**, $P_{\max} [F]$ —疲劳过程中, 一周内外加载荷的最大代数值。拉伸载荷为正, 压缩载荷为负。

48. **最小载荷**, $P_{\min} [F]$ —疲劳过程中, 一周内外加载荷的最小代数值。

49. **载荷范围**, $\Delta P [F]$ —疲劳过程中, 一周内的最大载荷与最小载荷代数值之差。

50. **载荷比(亦称应力比)**, R —疲劳过程中, 一周内的最小载荷与最大载荷代数值之比, 即 $R = P_{\min}/P_{\max}$ 。

51. **疲劳裂纹扩展速率**, $da/dN, [L]$ —恒幅疲劳加载引起的裂纹扩展的速率, 以每疲劳周的裂纹扩展量来表示。

52. **应力强度标定**, K **标定**—以经验或解析的结果为基础的数学表达式, 它把一个特定面内几何形状的试样的应力强度因子与载荷及裂纹长度联系起来。

53. **应力强度因子**(见本标准第10节, 亦见型)

讨论—在试验方法E647中, 假定为1型。

54. **最大应力强度因子**, $K_{\max} [FL^{-3/2}]$ —一个疲劳周内应力强度因子的最大值。此值与 $P_{\max}$ 相对应。

55. **最小应力强度因子**, $K_{\min} [FL^{-3/2}]$ —疲劳过程中, 一个疲劳周内应力强度因子的最小值。 $R > 0$ 时, 这个值与 $P_{\min}$ 相对应, $R \leq 0$ 时, 则取为零。

56. **应力强度范围**, $\Delta K [FL^{-3/2}]$ —疲劳过程中, 一个疲劳周内应力强度因子的变

化量, 即 $K_{\max} - K_{\min}$ 。

注 1—加载变量 R , ΔK 和 $K_{\max}$ 相互有关, 只要确定了其中任意两个, 就可以按下式唯一地确定第三个: 对于 $R \geq 0$, $\Delta K = (1 - R) K_{\max}$ 而对于 $R \leq 0$, $\Delta K = K_{\max}$ 。

注 2—上述应力强度因子的工作定义不包括裂纹顶端的局部效应: 诸如裂纹闭合, 残余应力和钝化等。

个别标准专用术语的说明

这些术语说明摘自“试验方法E561—81”:

57. **平面应力断裂韧性**, K_{Ic} —在试验方法E561中, 由 R 曲线与试样临界裂纹扩展力曲线的切点所确定的失稳条件下的 K_{Ic} 值。

注—请看标准术语E616中有关平面应变断裂韧度的讨论部分。

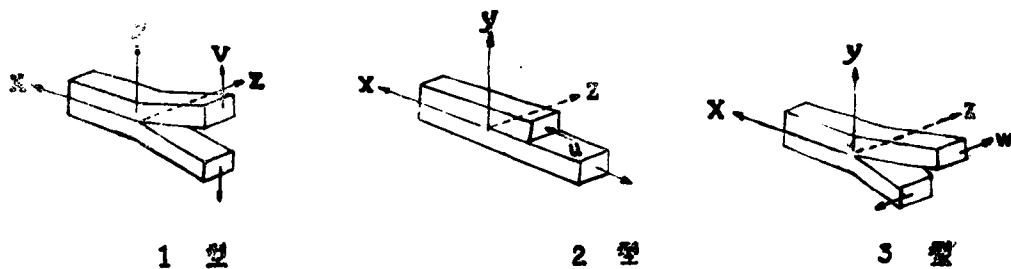
58. **恒载荷或恒位移裂纹扩展力曲线**—根据对试样形状进行断裂力学分析而得到的曲线: 即假定一个恒定的外加载荷或位移, 并把有效裂纹尺寸作为自变量而做出的 K 曲线。

试验方法E604—80:

58. **动态撕裂能(DT)**是根据试验方法E604的规定冲断一个标准的 $5/8$ in. (16mm)厚的DT试样所需的总能量。

注 1—使用摆锤式试验机, 记录到的DT能值是一个摆锤或几个摆锤的初始势能与终态势能之差。

注 2—使用落锤式试验机时, 记录到的DT能值是落锤的初始势能与用经过标定的能量吸收系统测定的终态势能之差。



注一见型的定义

图 1 各向同性材料裂纹(表面)位移的基本类型

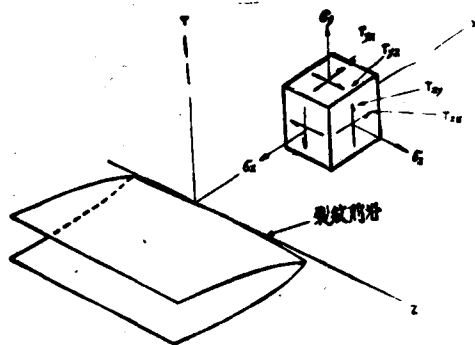
表 1 平面应变和反平面应变各型(见型的定义)的应力和位移分量A

	I 型	II 型	III 型
靠近裂纹前缘后部的裂纹 (表面) 位移 ^B (见图1)			
u	0	*	0
v	*	0	0
w	0	0	*
靠近裂纹前缘前部的应力 (见图 2)			
σ_x	*	0	0
σ_y	*	0	0
σ_z	*	0	0
τ_{xy}	0	*	0
τ_{yz}	0	0	*
τ_{zx}	0	0	0

A* 表示非零。

0 表示零。

^B 对各向异性的材料一般不适用。



注一见型的定义

图 2 靠近裂纹前缘前方X轴上的一小单元体
积上的应力和通常坐标系

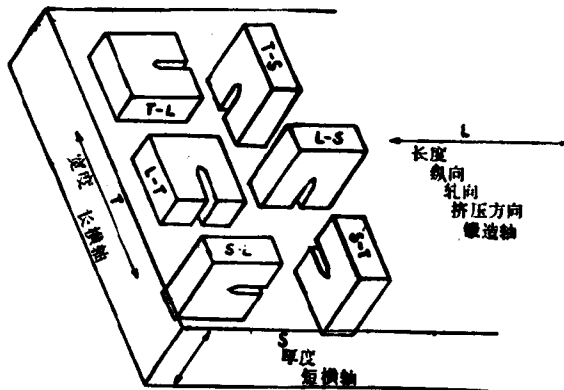


图 3 矩形截面的裂纹面取向标记

附录

A1 单位

A1.1 对于应力强度因子 K ，以及任何用 K 表示的断裂韧度的度量，建议以 $\text{MPa}(\text{m})^{\frac{1}{2}}$ 为单位，相应的惯用单位为 $\text{ksi}(\text{in})^{\frac{1}{2}}$ 。

A1.2 对于裂纹扩展力 G ，及在平面测定问题中等于 J 的弹性能释放率，以及任何用 G 或 J 表示的断裂韧度的度量，建议以 KJ/m^2 为单位，相应的惯用单位为 in.-lb/in.^2 。

A1.3 对于裂纹（顶端）张开位移 δ ，以及任何用 δ 表示的断裂韧度的度量，建议以米为单位，相应的英制单位为密耳。

刘元忻 译

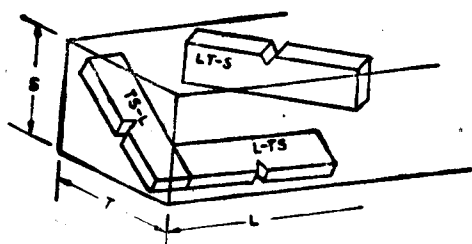


图 4 与参考方向呈倾斜的矩形试样的裂纹面取向标记

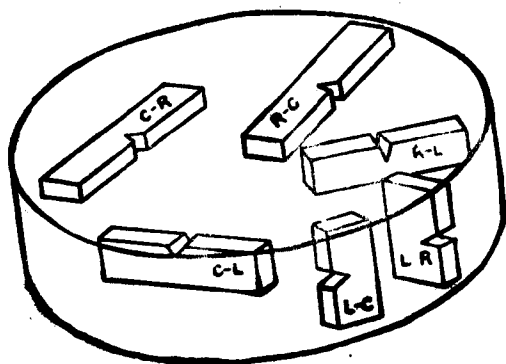


图 5 棒材和空心圆柱体材料的裂纹面取向标记

高强度板材锐切口拉伸试验的标准方法¹

1 范 围

1.1 本方法适用于测定板材由极尖锐的应力集中切口或裂纹引起的失稳断裂阻力的相对度量。本方法仅涉及载荷连续增加条件下的断裂，而不包括发生蠕变或疲劳的加戴条件。测定的物理量是一种特定尺寸试样的锐切口强度，这个值与试样尺寸和材料性能有关，同时也可以测定锐切口强度与屈服强度的比值。

1.2 本方法仅限于一种试样宽度，此宽度一般适用于评价高强材料（屈服强度与密度之比值在 $700000\text{psi/lb}\cdot\text{in}^{-3}$ 或 $(18\text{kgf/mm}^2)/(\text{g/cm}^3)$ 以上），当锐切口强度小于拉伸屈服强度时，本试验可以鉴别材料对失稳断裂的不同抗力，鉴别力随切口强度对屈服强度比值的减小而增加。

1.3 本方法限于厚度大于 0.025in (0.64mm) 小于 0.25in (6mm) 的板材，因为切口强度可能与板材厚度有关，所以，比较不同材料条件切口强度时，必须基于具有相同名义厚度试样的试验。

1.4 锐切口强度在一定范围内可能强烈地依赖于温度，这与材料性能有关。本方法适用于任何适当温度下的试验。但不同材料条件的比较必须基于相同温度下所进行的试验。

注 1—有关这类试验的背景和必要性的进一步资料可查阅ASTM委员会关于“高强度板材断裂试验方法”的第一个报告²。

注 2—以美国惯用单位表示的数值为标准，美国惯用单位的公制表示值可能是近似的。

2 适用文件

2.1 ASTM标准

E4 试验机载荷校验方法³；

E602 圆棒试验锐切口拉伸的试验方法⁴；

E616 有关断裂试验的标准术语。

3 意 义

3.1 本方法可提供板材由于存在裂纹或类裂纹应力集中切口引起的失稳断裂阻力的相对度量。本方法不拟提供可用于结构强度计算的抵抗裂纹扩展阻力的绝对度量。但它可用于下列目的：

3.1.1 在材料的研制和发展方面，考查不同化学成份、加工工艺和热处理制度的影响。

¹ 本方法属 ASTM E—24 断裂试验委员会主管，由 24.01 断裂力学试验方法小组委员会直接负责。

本版本于1981年4月24日批准，1981年7月颁布。首版以E338—67颁布，上一版本为E338—78。

² “Fracture Testing of High-Strength Sheet Materials”，ASTM Bulletin, ASTBA., No.243, 1960, pp.29—40. ibid., No.244, 1960, pp. 18—28

³ Annual Book of ASTM Standards, Parts 10, 32, 35 and 41.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Part 10.

3.1.2 在服役选材方面,可以用来比较其它方面同样满足需要的应选材料的相对裂纹扩展阻力,或者如果能够从使用关系或其它相应的基础上得到可接受的最小锐切口强度的话,则可以用来筛选材料。

3.1.3 如果有一个可靠的基础用来确定可接受的最小锐切口强度时,则可作为验收条件和生产中的质量管理指标。至于在具体情况下如何确立最小锐切口强度基础的详细讨论,则超过了本方法的范围。

3.2 当温度降低时,材料的锐切口强度可能在一个窄小的温度范围内迅速下降。该温度范围和强度下降的速度与材料及其厚度有关。因此,每次试验时,必须控制和记录试验的温度。应该在整个预期的使用温度范围内进行试验,以便确定切口强度与温度之间的关系。应注意要包括预期使用中的最高和最低温度。

3.3 有限的试验结果表明,在通常拉伸试验的加载速率范围内,稳定高强钢的锐切口强度对加载速率不是很敏感的,如果预期在使用中会出现很高和很低的加载速率,则加载速率的影响应该用本方法以外的特殊方法去研究。

3.4 锐切口强度的测量精度应相当于平板试样常规拉伸试验的精度,因为两者都与载荷和数值相近的尺寸的测量有关。但锐切口强度对局部缺陷要比拉伸强度敏感,并且一般说来显示较大的分散性,故应用双联试样和平均结果来减少分散性的影响。

4 定 义

4.1 裂纹强度, σ_c [FL⁻²] — 含裂纹试样所能承受的最大名义(净截面)应力。

注 3—见标准术语 E616 中名义(净截面)应力的定义。

注 4—裂纹强度是按最大载荷和初始最小横截

面积(净横截面或初带)计算的。因此,只考虑裂纹的初始尺寸,而忽略了试验过程中可能发生的任何裂纹扩展。

注 5—裂纹强度与极限拉伸强度类似,因为后者也是基于最大载荷与试验开始时的试样最小横截面面积之比。

4.2 锐切口强度, σ_s [FL⁻²] — 锐切口试样所能承受的最大名义(净截面)应力。

注 6—见标准术语 E616 的名义(净截面)应力的定义。

注 7—锐切口强度的值可能与切口和试样的几何形状有关,因为它们影响到净横截面尺寸和弹性应力集中。

注 8—试验方法 E602 和本方法所用拉伸试样具有机械加工能力所能达到的最小切口根部半径,这些试样的切口半径被认为已经是足够小,以致用标准加工方法获得的任何更小的半径不会使切口强度产生具有工程意义的变化。

注 9—在这些试验方法中,切口根部半径尽管很小(达到了机械加工能力的极限),但锐切口强度仍可能与切口根部半径有关。见标准术语 E616 切口拉伸强度的定义。

5 设 备

5.1 试验用的拉伸试验机应符合 ASTM 试验方法 E4 的要求。

5.2 试样加载装置应使试样的主轴与加载中心线重合,一个好的装置是通过淬硬的销轴穿过试样的端孔与 U 形钩相连,销轴的直径比孔的直径稍小一些。应加适当厚度的垫圈,以保证试样位于 U 形钩的中心。图 1 示出了一个典型装置。

5.3 温度控制—在非室温下做试验时,可以采用任何方法对试样进行加热或冷却。并保持包括切口或裂纹在内的某个区域温度的均匀性。通过测量试样两个表面上的若干位置上的温度来保证控温装置提供均匀温度区的有效性,如图 2 所示。温度测量可在每个试验温度下进行,也可在试验温度范围

内,每隔 50°F (30°C) 的一系列温度下进行。在整个试验过程中,试验温度的波动应在 $\pm 2.5^{\circ}\text{F}$ ($\pm 1.5^{\circ}\text{C}$) 范围之内。在试验温度下,四个热电偶中的任意两个所指示的温度差不应超过 5°F (3°C)。

注10—加热或冷却平板试样的一个简单方法,是用一对铜板或黄铜板,使其与试样两个表面相接触。再将铜板或黄铜板与设计好的加热或冷却装置相连接,以保持接触面温度均匀。热电偶的接点可以永久地固定在接触面上。对于这种装置已被证明从液态氮的温度到至少 600°F (300°C) 的温度范围内是简单可靠的⁵。应避免用盐浴加热试样,除非能证明该液体对材料的锐切口强度没有影响。

5.4 温度测量—在非室温下的任何试验过程中,应在如图2所示的一个或最好一个以上的位置上测量试样温度。热电偶的接点与试样应处于较好的热接触状态,热电偶和测量仪器应进行标定,准确到 $\pm 2.5^{\circ}\text{F}$ ($\pm 1.5^{\circ}\text{C}$) 范围内。

6 试 样

6.1 图3和图4为两种推荐的标准试样,图3为3 in. (75mm) 宽的机械加工锐边切口标准试验 (EN 试样),图4为中心疲劳裂纹标准试样 (CC 试样)。切口或裂纹区域的尺寸应符合图中的规定,并采用销轴加载。注意,标准试样的长度规定为12 in. (300mm),但由于材料限制,在不得已的情况下,允许采用非标准长度 (8 in. 200mm) 的试样。但对于相同材料的同等试验条件,8 in. 长的非标准试样将给出与标准试样不同的强度值。因此,若比较不同的材料条件的锐切口强度,必须基于相同长度的试样所进行的试验。图中表示的是长方形试样,对于大多数材料,这种试样将在切口截面断裂,但对于切口强度超过屈服强度的韧度特别高的情况,断裂可能出现在销轴孔处,除非试样端部有适当的加强板。这种加

强板的一种推荐设计如图5所示。试样端部的每个面上放一块平板,载荷通过3个淬硬的直径为 $\frac{1}{4}$ in (6mm) 的一定长度的销钉传到板上。销钉的长度应使它们能进入加载4形钩的槽中 (见图1)。若加强板为 $\frac{1}{8}$ in. (3mm) 厚并且是由最小屈服强度为200,000psi (1380 MPa) 的材料制成的,则可用于本方法中的任何试验。

6.2 图3中的锐边切口试样 (EN) 的最主要特点是机械加工切口的尖锐性,故需要特别精心地制备这些切口⁶。切口的精加工可以在最后热处理之前或之后进行。试验前测量每个试样的切口根部半径和切口相对于销轴孔中心的位置。不满足图3要求的试样应舍弃或重新加工。

6.3 用锐利刀具机械加工和电火花的方法,已能制备高锐度切口的中心裂纹试样。但用于本方法的试样,最好对带切口的试样预制疲劳裂纹。预制疲劳裂纹要求制备适当的裂纹引发切口 (见附录 X1), 附录 X2 给出了一个较好的可供选择的制备疲劳裂纹的技术。预制疲劳裂纹可在最后热处理之前或之后进行。不满足图3要求的试样应予以舍弃。

7 步 骤

7.1 尺寸—在机械加工切口之间或裂纹尖端与试样边缘之间,至少要在三个位置测

⁵ Srawley, J. E. and Beachem, C.D. NRL, Report 5127, NRLRA, April, 9, 1958.

⁶ March, J. L., Ruprecht, W. J. and Reed, George, "Machining of Notched Tension Test Specimens" ASTM Bulletin, ASTBA, No. 244, 1960, pp. 52—55.

量试样的厚度,精确到 $0.0005\text{ in}(0.013\text{ mm})$ 并记下其平均值。若各点的测量厚度对于平均值的偏差大于 $\pm 2\%$,则应记下该厚度的分布值。测量 EN 试样两切口根部之间的距离,即净截面宽度,精确到 $0.01\text{ in}(0.025\text{ mm})$,测量切口根部半径,精确到 $0.0025\text{ in}(0.006\text{ mm})$,记下上述各测量值,对于 CC 试样试验前应测量试样宽度,精确到 $0.001\text{ in}(0.025\text{ mm})$,记下测量值。试验后,从一个疲劳裂纹的最顶点到另一个疲劳裂纹的最顶点,测量整个裂纹长度,精确到 $0.001\text{ in}(0.025\text{ mm})$,记下测量值。试样宽度减去整个裂纹长度即为净截面宽度。

7.2 试验—按常规拉伸试样试验的相同方式进行试验,只是不需要用引伸计。建议在加载销轴和拉伸试验机夹头中的球形支座上使用适当的滑润剂,如 MoS_2 ,以帮助对中。测定缓慢裂纹扩展时,最好不要将着色液体放入切口或裂纹中。除非能确认所使用的这种着色液体不影响切口强度。在试验过程中的任何阶段,试验速度应使得切口或裂纹截面名义应力的增加速度不超过 $100,000\text{ P}_{\text{si}}$ (690 MPa)/分。当载荷变化量达到最小值时,记录试验过程中所达到的最大载荷 P 。

7.3 锐切口强度—按 $P/(B \times \text{净截面宽度})$ 计算锐切口强度。

7.4 断口形貌—断口形貌是一个很有价值的补充资料,应简单记下每个试样的断口形貌。一种常见的断口类型示于图 6 (a)。它是由与试样轴线垂直的位于试样中部的扁平部分和与其相邻的比较窄的倾斜部分组成。若倾斜部分相当均匀,应测量扁平部分宽度 b ,计算 $(B-b)/B$ 的比值,它是单位厚度倾斜断口所占的比例,或称为倾斜比。对于 EN 试样,将试样宽度分为三等份。在中间等份内某一位置测量 b 值。对于 CC 试样,分别在中心裂纹两个顶端与试样边缘之间的某一位置上进行测量,该测量

位置到边缘的距离应不小于一个板厚,而不大于 $5/16\text{ in}(8\text{ mm})$ 。然后将这两个测量值平均,就得到倾斜比。一般地,对上述两种试样,这个比值的测定精度不会高于 0.05。若试样断口的倾斜部份比较宽,它们一般是不规则的,如图 6 (b) 所示。这样的断口形貌可记为“斜为主”。如果平断口只限于切口根部处的一个很明显的三角形区域,如图 6 (c) 所示,则断口形貌可记为“全斜”。在某些情况下,断口形貌并不与这里的分类相对应。例如,往往出现粗糙的层状断口形貌。在这种情况下,可以记为诸如“层状”这类简短的描述性的注释。一般地,断口形貌和锐切口强度将伴随某个参数的变化而改变,如试验温度、厚度或某个热处理变量等。时常发现在某个限定的参数变化范围内,断口形貌从平断口为主变到全倾斜断口时,锐切口强度有相当大的增加。

7.5 锐切口强度与屈服强度之比值—锐切口强度与拉伸屈服强度的比值是有重要意义的。用相同坯料制备若干标准拉伸试样⁷,并与锐切口试样一起进行处理,可准确地测出这个比值与材料处理过程的关系。

8 报 告

8.1 对每一组的不同控制变量(材料因素、厚度、温度),至少应试验两个锐边切口试样或中心疲劳裂纹试样。为计算非室温下锐边切口强度与屈服强度比值,屈服强度可以从不高于和不低于锐切口试验温度的 $100^\circ\text{F}(50^\circ\text{C})$ 范围内的各强度值内插得到。

8.2 每个被测锐切口试样的试验报告,

⁷ See Section 4 of ASTM Methods
E 8 Tension Testing of Metallic
Materials (Annual Book of ASTM
Standards, Parts 6, 7 and 10)。

应包括下列内容：试样类型（EN或CC）；长度；厚度；宽度；切口深度或裂纹长度；切口根部半径；温度；最大载荷；断口倾斜比和锐切口强度。在报告锐切口强度与屈服

强度比值的同时，还应报告相应于切口试验用的每一组控制变量下的极限拉伸强度和屈服强度。

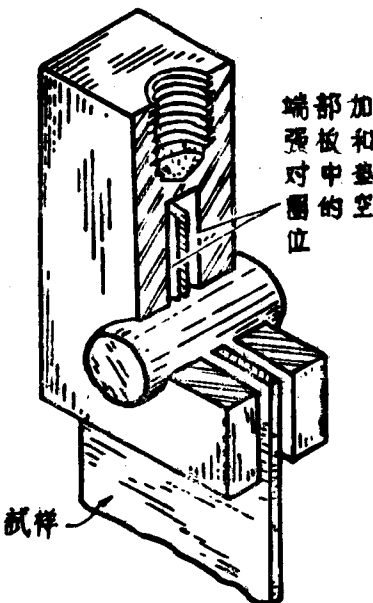
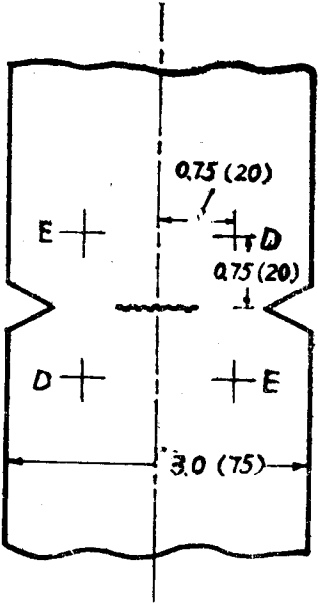


图 1 装有淬硬销的试样加载U形钩



点D位于点D相反的表面

注一图中尺寸为英寸，括号内尺寸为毫米
图 2 用于温度测量的热电偶接点位置

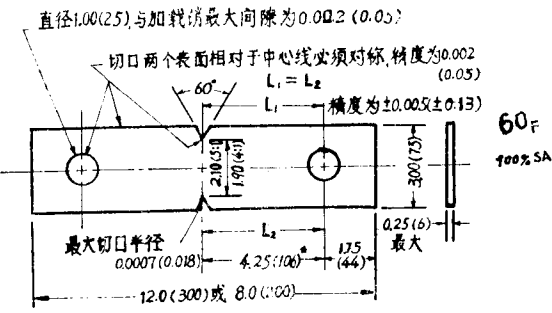
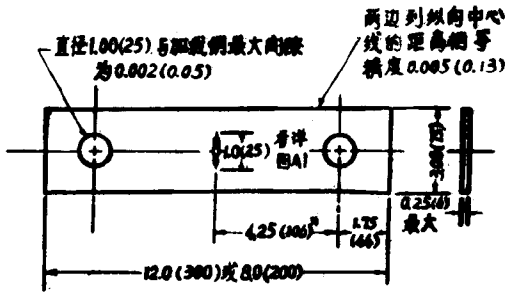


图 3 机械加工的锐边切口试样，EN
* 对非标准长度试样，这个尺寸为2.25(56)
注一图中尺寸为英寸，括号内尺寸为毫米。



* 说明同 3。
注 同图 3。
图 4 中心疲劳裂纹试样(CC)

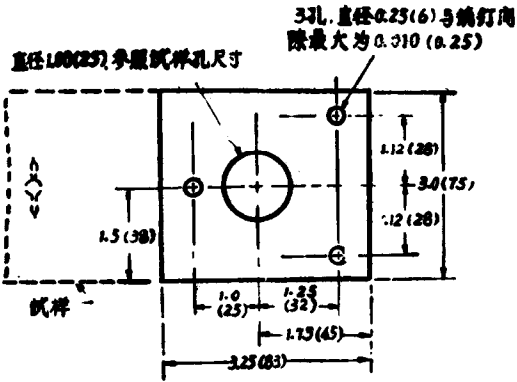


图 5 试样端部加强板
* 说明同图 3