

航空金属材料板材 K_R 曲线手册

北京航空材料研究所

1984. 10.

航空金属材料板材 K_R 曲线手册

北京航空材料研究所

1984.10.

内 容 简 介

本手册包括六种常用航空金属板材的174条 K_R 曲线，简要地介绍了金属板材 K_R 曲线的基本概念、测试方法及数据处理等内容，可供飞机设计、生产和科研等部门进行新机损伤容限设计、选材及老机维修和延寿使用，也可供从事疲劳、断裂方面工作的工程技术人员、高等工科院校和中等技术学校的师生参考。

前 言

为了对构件进行损伤容限设计、合理选材、估算构件的承载能力及寿命、制定合理的检验标准和检修规范以及为延寿提供有关数据,近几年来航空工业部金属板材 K_R 曲线试验方法课题组进行了大量的试验研究工作,编写了金属板材 K_R 曲线数据汇编(初稿)。试验数据经有关科研、生产、使用和高等院校等单位审查、鉴定并予以通过。本手册是在上述工作的基础上,经进一步的整理、修改和审核编成。手册包括结构钢、铝合金、钛合金等六种常用航空金属板材的 174 条 K_R 曲线。

为了便于从事有关工作的人员使用,手册简要介绍了 K_R 曲线的基本概念、测试方法及数据处理等内容。

参加试验研究工作的单位有:

北京航空材料研究所

西北工业大学

南京航空学院

北京航空学院

红安机械制造公司

峨眉机械厂

松陵机械制造公司

六一一研究所

洪都机械厂

燎原机械厂

六二三研究所

参加本手册编写的人员有:

杨永安

张剑英

吴 森

刘文廷

陈思一

蔡春玲

张 杰

魏志俊

本手册由北京航空材料研究所黄志豪负责主审,责任编辑胡少卿

目 录

前 言

第一部分 试验方法及数据处理 (1)

一、 K_R 曲线的基本概念 (1)

二、术语和符号 (5)

三、试样的尺寸形状 (6)

四、试验过程 (8)

五、数据处理 (8)

六、 $K_R - \Delta a$ 曲线的拟合方法 (10)

第二部分 试验数据和图表 (16)

一、GC-11 钢 板 (17)

1. 状态一 (CCT 试样 $B = 1.5$ 毫米, $W = 300$ 毫米) (17)

2. 状态二 (CCT 试样 $B = 3.0$ 毫米, $W = 700$ 毫米) (19)

3. 状态三 (CS 试样 $B = 1.5$ 毫米, $W = 270$ 毫米) (21)

4. 状态四 (CLWL 试样 $B = 3.0$ 毫米, $W = 180$ 毫米) (23)

5. 状态五 (CLWL 试样 $B = 3.0$ 毫米, $W = 180$ 毫米) (25)

6. 状态六 (CLWL 试样 $B = 1.5$ 毫米, $W = 200$ 毫米) (27)

二、30CrMnSiA 钢 板 (29)

1. 状态一 (CCT 试样 $B = 1.5$ 毫米, $W = 200$ 毫米) (29)

2. 状态二 (CS 试样 $B = 1.5$ 毫米, $W = 110$ 毫米) (31)

3. 状态三 (CLWL 试样 $B = 2.5$ 毫米, $W = 130$ 毫米) (33)

4. 状态四 (CLWL 试样 $B = 2.5$ 毫米, $W = 250$ 毫米) (35)

三、LY12 铝合金板 (37)

1. 状态一 (CCT 试样 $B = 2.0$ 毫米, $W = 300$ 毫米) (37)

2. 状态二 (CCT 试样 $B = 2.0$ 毫米, $W = 300$ 毫米) (39)

3. 状态三 (CCT 试样 $B = 2.0$ 毫米, $W = 300$ 毫米) (41)

4. 状态四 (CCT 试样 $B = 2.0$ 毫米, $W = 300$ 毫米) (43)

5. 状态五 (CCT 试样 $B = 2.0$ 毫米, $W = 300$ 毫米) (45)

6. 状态六 (CS 试样 $B = 2.0$ 毫米, $W = 300$ 毫米) (47)

7. 状态七 (CS 试样 $B = 2.0$ 毫米, $W = 250$ 毫米) (49)

8. 状态八 (CS 试样 $B = 3.0$ 毫米, $W = 270$ 毫米) (51)

9. 状态九 (CLWL 试样 $B = 4.0$ 毫米, $W = 250$ 毫米) (53)

10. 状态十 (CLWL 试样 $B = 4.0$ 毫米, $W = 250$ 毫米) (55)

11. 状态十一 (CLWL 试样 $B = 6.0$ 毫米, $W = 250$ 毫米) (57)

12. 状态十二 (CCT试样B=2.0毫米, W=300毫米)	(59)
13. 状态十三 (CCT试样B=2.0毫米, W=300毫米)	(61)
14. 状态十四 (CCT试样B=2.0毫米, W=300毫米)	(63)
15. 状态十五 (CCT试样B=2.0毫米, W=300毫米)	(65)
16. 状态十六 (CCT试样B=2.0毫米, W=300毫米)	(67)
17. 状态十七 (CLWL试样B=6.0毫米, W=200毫米)	(69)
18. 状态十八 (CLWL试样B=4.0毫米, W=200毫米)	(71)
四、LC4 CS 铝合金板	(73)
1. 状态一 (CCT试样B=2.0毫米, W=300毫米)	(73)
2. 状态二 (CCT试样B=2.5毫米, W=300毫米)	(75)
3. 状态三 (CCT试样B=4.0毫米, W=175毫米)	(77)
4. 状态四 (CLWL试样B=4.0毫米, W=140毫米)	(79)
5. 状态五 (CCT试样B=4.0毫米, W=175毫米)	(81)
6. 状态六 (CCT试样B=2.0毫米, W=300毫米)	(83)
7. 状态七 (CCT试样B=2.0毫米, W=300毫米)	(85)
8. 状态八 (CCT试样B=4.0毫米, W=175毫米)	(87)
五、LC9 CS 铝合金板	(89)
1. 状态一 (CCT试样 B=2.0毫米, W=150毫米)	(89)
2. 状态二 (CCT试样 B=2.0毫米, W=120毫米)	(91)
3. 状态三 (CCT试样 B=5.0毫米, W=300毫米)	(93)
4. 状态四 (CCT试样 B=5.0毫米, W=500毫米)	(95)
5. 状态五 (CS 试样 B=2.0毫米, W=65毫米)	(97)
6. 状态六 (CS 试样 B=2.0毫米, W=100毫米)	(99)
7. 状态七 (CS 试样 B=5.0毫米, W=150毫米)	(101)
8. 状态八 (CCT试样 B=2.0毫米, W=150毫米)	(103)
9. 状态九 (CCT试样 B=2.0毫米, W=150毫米)	(105)
六、TC4 钛合金板	(107)
1. 状态一 (CCT试样 B=2.0毫米, W=120毫米)	(107)
2. 状态二 (CS 试样 B=2.0毫米, W=100毫米)	(109)
3. 状态三 (CS 试样 B=2.0毫米, W=65毫米)	(111)

第一部分 试验方法及数据处理

一、 K_R 曲线的基本概念

随着高强材料、大型结构和焊接工艺的广泛应用,在航天、航空、交通、电力、化工等部门使用的金属机械结构中,发生过一系列低应力脆性断裂事故。这些事故造成了严重的灾难,从而引起了人们对这一问题的高度重视。研究表明,这类断裂事故往往是因构件本身含有缺陷或裂纹,因为在铸造、锻压、焊接、热处理、机械加工等工艺过程中,或在交变载荷、应力腐蚀等因素的作用下,构件不可避免地会出现裂纹。由于裂纹的存在,结构的强度被削弱,导致低于构件的最大使用应力,最后,可能在意外高载甚至正常工作载荷作用下,裂纹发生失稳扩展而断裂。为了保证结构的安全,必须考虑下列问题:已知裂纹长度,求构件的承载能力有多大?在预期的工作载荷作用下,构件能容许多长的裂纹?裂纹从已知的初始长度扩展到临界长度,需要多长时间?隔多长时间应对结构及其裂纹进行周期检查?……。要回答这些问题,就需要研究外载大小、裂纹长度与材料抗裂特性之间的关系。由于裂纹是产生断裂的根源,人们非常重视裂纹前缘的应力、应变场。

对于含裂纹构件,通常可分为三种类型(图 1-1-1),即 I 型或称“张开型”,II 型或称“滑开型”,III 型或称“撕开型”,由于 I 型裂纹在工程中最危险,因此,下面介绍 I 型裂纹问题。

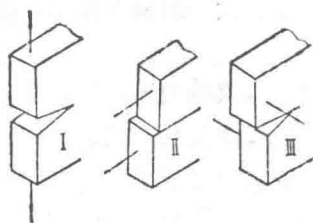


图 1-1-1 含裂纹构件的三种型式

对于线弹性材料,在平面应变或平面应力状态下, I 型裂纹的裂纹前缘的应力分量(图 1-1-2)具有如下形式

$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right)$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} - \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \quad (1)$$

$$\sigma_z = 0$$

平面应力

$$\sigma_z = \nu (\sigma_x + \sigma_y)$$

平面应变

上式中, ν 是泊桑比, r, θ 是研究点的极坐标, K_I 是应力强度因子, 下标 “I” 表示 I 型。由于这里仅介绍 I 型问题, 此后将省去 K_I 的下标。

分析表明, 应力强度因子 K 与外载大小成正比, 与裂纹长度有关, 即

$$K = P \cdot f(a) \quad (2)$$

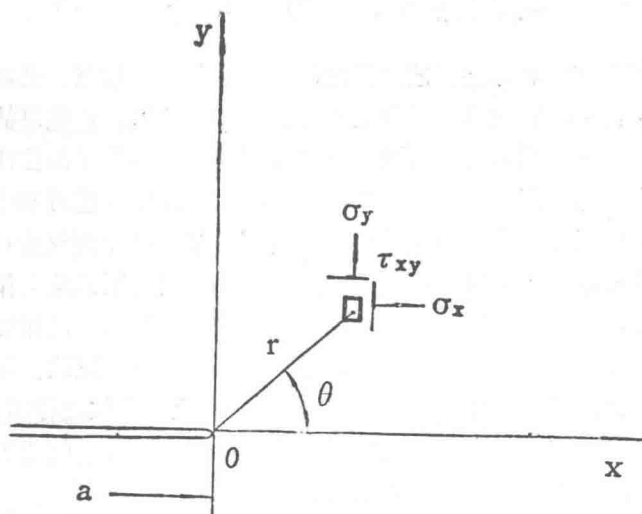


图1-1-2 I 型裂纹前缘的应力场

上式中, P 是广义的外加载荷, 它与外载大小、加载形式和构件形状有关。

(1) 式说明, 不论加载形式与构件形状如何, 只要是 I 型问题, 其裂纹前缘的应力分量都具有 (1) 式的分布规律, 而应力分量的大小取决于 K 值。故 K 值是描述裂纹前缘应力场强弱程度的单一参数。

已知裂纹前缘的应力分量后, 由应力应变关系, 不难导出裂纹前缘的应变分量表达式。对于线弹性材料, 其应力与应变之间呈线性关系, 显然, 应变分量表达式也将具有类似 (1) 式的形式, 即应力强度因子也是描述裂纹前缘应变场强弱程度的单一参数。

对于线弹性材料的平面应变问题, 可以认为, 当裂纹前缘的应力场达到临界状态时, 裂纹处于临界平衡状态, 当该应力场稍超过临界状态后, 裂纹将失稳扩展以致断裂。这就意味着当裂纹尖端应力强度因子 K 超过材料的临界值 K_{Ic} 后, 即

$$K \geq K_{Ic} \quad (3)$$

这时, 构件将发生断裂。(3) 式是平面应变断裂判据。

实验表明, K_{Ic} 是材料的特性常数, 它表征材料抵抗脆性断裂的阻力, 称为材料的平面应变断裂韧性, 而 K 是施加于裂纹端点引起裂纹扩展的推力。

应用断裂判据 (3) 式, 可估算构件的临界载荷或临界裂纹长度。例如受单向拉伸应力 σ 作用, 带中心穿透裂纹的无限大板, 如图1-1-3 所示。其裂纹尖端的应力强度因子为

$$K = \sigma \sqrt{\pi a}, \text{ 应用 (3) 式, 可得 } \left. \begin{array}{l} \text{临界外加载荷} \quad \sigma_c = \frac{K_{Ic}}{\sqrt{\pi a}} \\ \text{临界裂纹长度} \quad 2a_c = \frac{K_{Ic}^2}{\pi \sigma^2} \end{array} \right\} \quad (4)$$

由此可求得构件的承载能力或构件的容许裂纹长度。如已知材料的裂纹扩展速率，则不难求得从初始裂纹长度 $2a_0$ 扩展到临界裂纹长度 $2a_c$ 所需的时间，进而制定出合理的验收标准和检修周期。

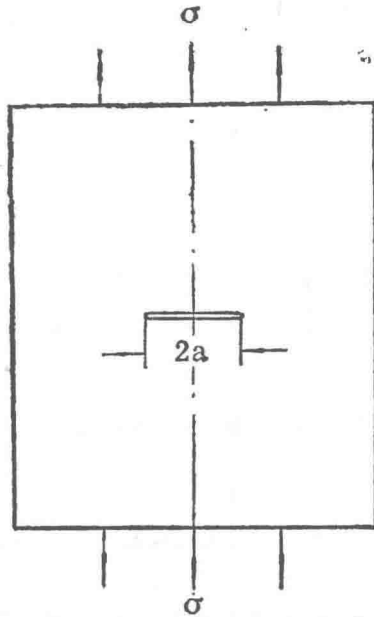


图1-1-3 受单向拉伸的无限大板

与上述线弹性材料的平面应变断裂问题相比，金属材料的平面应力断裂问题更为复杂。这是因为含裂纹金属构件的裂纹尖端，在构件承受外载作用后，不可避免地会发生缓慢的稳态裂纹扩展。由于这时裂纹尖端的应力应变状态还未达到临界状态，所以这种扩展也称为亚临界扩展。与静止裂纹相比，在裂纹稳态扩展过程中，裂纹前缘的应变集中程度下降，这就需要施加更大的载荷才能使裂纹继续扩展，或者说，在平面应力状态下，金属材料的抗裂阻力将随裂纹长度的增长而增加，即抗裂阻力是裂纹增量的函数。

裂纹前缘的塑性区尺寸远比构件其它平面尺寸〔例如裂纹长度 a 、韧带宽度 $(W-a)$ 等〕小时，可以认为上述线弹性力学平面问题的解答仍然适用，只需将(1)式中的真实裂纹长度 a 用有效裂纹长度 a_e 代换即可。这就是在小范围屈服的条件下，应力强度因子 K 仍然是裂纹前缘应力应变场的度量。与平面应变问题类似，对于平面应力问题，仍可认为，当裂纹前缘的应力应变场达到临界状态后，应力强度因子也达到材料抗裂纹扩展阻力的临界值，即仍可用 K 作参量建立断裂判据。用应力强度因子 K 表示的金属材料抵抗裂纹扩展的阻力记为 K_R 。实验测定表明，抗裂纹扩展阻力 K_R 是裂纹增量 Δa 的函数，即

$$K_R = K_R (\Delta a) \tag{5}$$

函数 $K_R = K_R (\Delta a)$ 表达的曲线称为 K_R 曲线。 K_R 曲线是给定厚度板材的特性曲线，如图1-1-4所示。

如前所述，对于含裂纹构件，裂纹尖端的应力强度因子 K 具有(2)式的形式。由该式可知，在固定载荷作用下， K 是裂纹长度 a 的函数。记 $a = a_0 + \Delta a$ ，故也可认为 K 是裂纹增量 Δa 的函数，即裂纹扩展推力

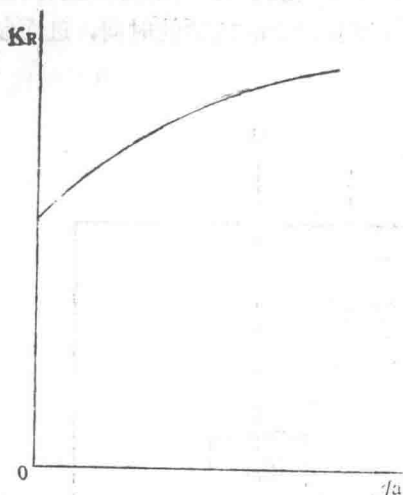


图1-1-4 $K_R - \Delta a$ 曲线

$$K = K(\Delta a) \quad (6)$$

将(6)式用虚线描绘在图1-1-5上, 它是用K表征的裂纹扩展推力曲线, 简称为K曲线,

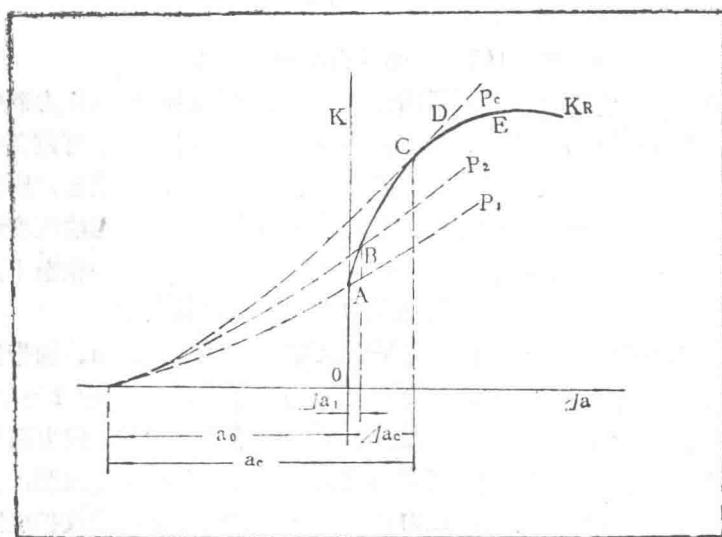


图1-1-5 K_R 曲线应用示意图

由图1-1-5 可知, 当载荷增加至 P_c 时, K 曲线与 K_R 曲线在 C 点相切。从 C 点开始, K 随 C D 变化, K_R 曲线随 C E 变化, K 将大于 K_R , 裂纹将失稳扩展以至断裂⁽¹⁾。因此, 断裂判据为

$$\left. \begin{aligned} K &\geq K_R \\ \frac{\partial K}{\partial a} &\geq \frac{\partial K_R}{\partial a} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

应用(7)式或图1-1-5,可求得构件的临界载荷 P_c 或临界裂纹长度 a_c ,由此可回答前面提出的各种问题。

在飞机设计、生产和使用中,经常遇到含裂纹的薄壁结构。这些薄壁结构的受力状态有的属于平面应力状态,有的介于平面应力与平面应变状态之间的混合型状态。为了合理地估算构件的临界载荷或临界裂纹长度,为新机设计、选材、老机维修、延寿……等提供科学的根据,必须测定板材的 K_R 曲线。下面将分节介绍 K_R 曲线的测试方法。

二、术语和符号

本手册所用的术语和符号参照了航标HB5261—83“金属板材 K_R 曲线试验方法”,并参考了ASTM E561“测定R曲线标准方法”及ASTME616“断裂力学统一名词”上的术语和符号。

1. 应力强度因子 K ——均匀线弹性体中,理想裂纹尖端应力场的强度。
2. 裂纹扩展阻力 K_R ——用应力强度因子 K 表示材料抗裂纹扩展的能力。
3. 平面应力断裂韧性 K_{Ic} ——试样或构件的裂纹开始失稳扩展时的 K_R 值。
4. 裂纹张开位移 $2V$ ——裂纹上下表面相互重合的两点在变形后的距离。
5. 裂纹长度 a ——有形裂纹长度 a_p ,初始裂纹长度 a_0 ,临界裂纹长度 a_c 和有效裂纹长度 a_e 的通称,是应力场和位移场计算中所使用的量。
6. 有形裂纹长度 a_p ——从规定的参考位置到所能观察到的裂纹前缘之间的距离。参考位置根据试样形状而定,对CCT试样为中心线,对CS和CLWL试样均为加载线。
7. 初始裂纹长度 a_0 ——试验开始前的有形裂纹长度。
8. 有效裂纹长度 a_e ——由于裂纹尖端塑性变形效应而增大了的裂纹长度。
9. 塑性区修正量 r_y ——裂纹尖端塑性变形效应对有形裂纹长度的修正量,其数值为 $r_y = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_R}{\sigma_y} \right)^2$
10. 符号

B —— 试样厚度	毫米
W —— 试样宽度	毫米
L —— 试样总长度	毫米
L_0 —— 试样有效长度,即试样两端最内侧加载孔中心线之间的距离	毫米
a —— 有效裂纹长度	毫米
a_c —— 临界裂纹长度	毫米
Δa —— 有效裂纹扩展量	毫米
Δa_p —— 有形裂纹扩展量	毫米
r_y —— 塑性区修正量	毫米
K —— 应力强度因子	公斤力/毫米 ^{3/2}
K_R —— 裂纹扩展阻力	公斤力/毫米 ^{3/2}
K_{Ic} —— 平面应力断裂韧性	公斤力/毫米 ^{3/2}
$2V$ —— 裂纹张开位移量	毫米
P —— 试验载荷	公斤力

公斤力

公斤力/毫米²公斤力/毫米²公斤力/毫米²公斤力/毫米²公斤力/毫米²

(2) 紧凑拉伸 (CS) 试样如图1-1-7所示。

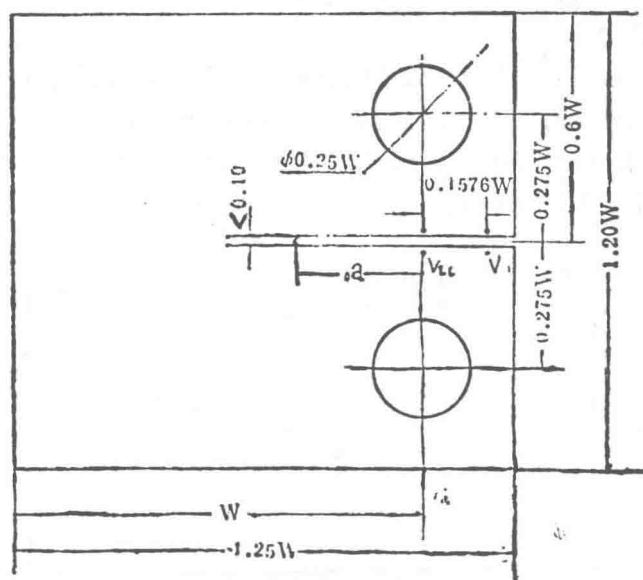


图1-1-7 CS试样

推荐试样尺寸⁽²⁾ 为:

$$W \geq 16(r_y)_{\max} = \frac{8}{\pi} \left(\frac{K_{\max}}{\sigma_y} \right)^2 [2] \quad (9)$$

$$a_0 = (0.35 \sim 0.45) W$$

(3) 裂纹线楔型加载 (CLWL) 试样如图1-1-8所示,

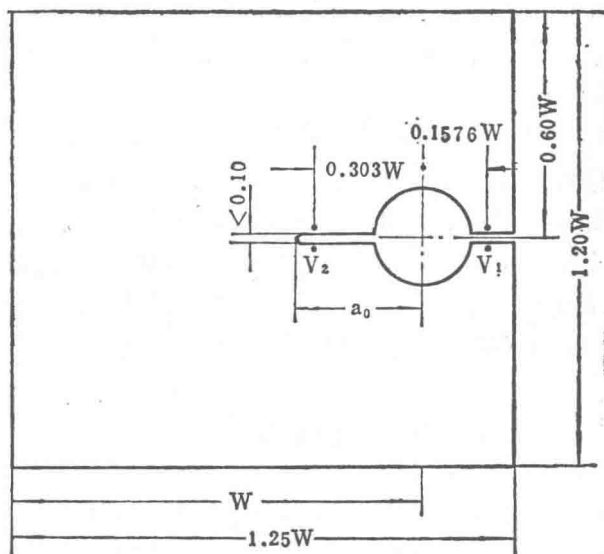


图1-1-8 CLWL试样

推荐试样尺寸同CS试样。

研究表明,对厚度相同的同种材料采用上述三种型式的试样测得的 K_R 曲线,在韧带尺寸基本相近(即CS与CLWL试样的宽度大致等于CCT试样宽度的一半)时是基本一致的,但也有一些材料并不一致,其原因尚待进一步研究。

2. 试样的取样方向

在断裂性能测试中,必须考虑裂纹面的取向,这对那些各向异性材料尤为重要。对轧制板材来说,试样的取样方向用两个字母表示,其中第一个字母表示加载方向,第二个字母表示裂纹面的扩展方向。试验方法中规定,用L表示轧制方向,或主变形方向(纵向),用T表示宽度方向或最小变形方向(横向),如图1-1-9所示。

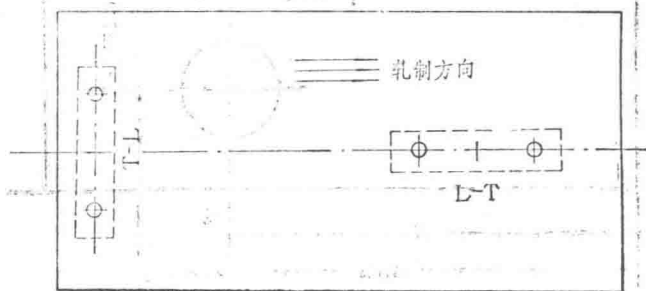


图1-1-9 轧制板材取样图

通常用L—T表示纵向试样,用T—L表示横向试样。

四、试验过程

1.对CCT和CS试样,分别采用夹板或U型夹头和销子连接于试验机上加载;对CLWL试样,则置于带孔平台上,用置于圆孔中的楔形块实现加载,加载装置简图参看 HB5261-33 “金属板材 K_R 曲线试验方法”。

为防止试样在试验过程中产生屈曲,对各种试样均采用相应的防屈曲装置。

2.在试验中采用载荷传感器和夹式位移计,分别输出载荷与位移讯号并用X—Y函数记录仪,连续记录 $P-2V$ 曲线(CCT试样), $P-2V_1$ 曲线(CS试样)或 $2V_2-2V_1$ 曲线(CLWL)。2V为CCT试样中心线上距裂纹上下表面对称点间的相对位移;2V₁为CS试样加载线外侧0.1576W处距裂纹上下表面对称点间的相对位移;而2V₂则为加载线内侧0.303W处距裂纹上下表面对称点间的相对位移(参看图1-1-6至图1-1-8)。

五、数据处理

1.用柔度法确定试验曲线上若干点处的有效裂纹长度 a_i 。对CCT与CS试样,应在 $P-2v$ ($2v_1$)曲线的直线段最高点A和失稳点C之间选取若干点,如图1-1-10所示。

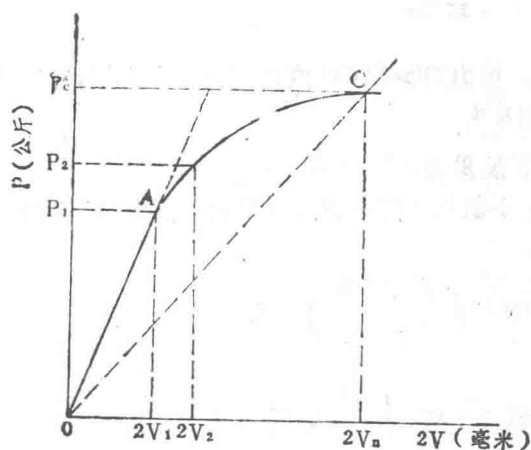


图1-1-10 CCT试样P—2v曲线

通常数据点不应少于5个，为增加可靠性可取10~15个，对韧性好的材料则需取更多的数据点。

对CCT或CS试样，分别测出各点的柔度值 $2V_i / P_i$ 或 $2V_i / P_i$ 乘以试样厚度 B 及材料弹性模量 E ，再分别由无量纲柔度标定曲线数值表（见附表1或附表2）查出 $2a_i / W$ 或 a_i / W ，从而得到 a_i 值。

对CLWL试样，则测定点的 $2V_1 / 2V_2$ 值，再由附表3查出 a_i / W 从而得到 a_i 值。

2. 各点裂纹扩展阻力 K_{Ri} 的确定

(1) 对CCT试样，将各点载荷 P_i 和有效裂纹长度 a_i 代入下列两个同等近似表达式⁽³⁾ 计算 K_R ：

$$K_R = \frac{P}{WB} \sqrt{\pi a} \cdot F_1 \left(\frac{2a}{W} \right) \quad (10)$$

$$F_1 \left(\frac{2a}{W} \right) = \sqrt{\sec \frac{\pi a}{W}} \dots \dots \dots (1)$$

$$F_1 \left(\frac{2a}{W} \right) = [1 - 0.1 \left(\frac{2a}{W} \right) + \left(\frac{2a}{W} \right)^2] \dots \dots \dots (2)$$

$F_1 \left(\frac{2a}{W} \right)$ 值可由附表1查出。

(2) 对CS试样，将 P_i 、 a_i 代入下式⁽³⁾ 计算 K_R ：

$$K_R = \frac{P}{BW^{1/2}} \cdot F_2 \left(\frac{a}{W} \right) \quad (11)$$

$$F_2 \left(\frac{a}{W} \right) = \left[\left(2 + \frac{a}{W} \right) / \left(1 - \frac{a}{W} \right)^{3/2} \right] [0.886 + 4.64 \left(\frac{a}{W} \right) - 13.32 \left(\frac{a}{W} \right)^2 + 14.72 \left(\frac{a}{W} \right)^3 - 5.6 \left(\frac{a}{W} \right)^4]$$

$F_2\left(\frac{a}{W}\right)$ 值可由附表 2 查出。

(3) 对 CLWL 试样, 可由 $2V_{1i}/2V_{2i}$ 值在附表 3 中直接查出 $K_i\sqrt{W}/E(2V_1)_i$, 将该值乘以 $E(2V_1)_i/\sqrt{W}$ 即得 K_{Ri} 。

3. 各点的有效裂纹扩展量为 $\Delta a_i = a_i - a_0$

4. 对 $(K_{Ri}, \Delta a_i)$ 数据点进行有效性检验, 凡满足下列条件方为有效

$$\text{对 CCT 试样 } \sigma_N = \left(\frac{P_i / WB}{1 - \frac{2a_i}{W}} \right) < \sigma_y \quad (12)$$

$$\text{对 CS 与 CLWL 试样 } (W - a_i) \geq \frac{4}{\pi} \left(\frac{K_{Ri}}{\sigma_y} \right)^2 \quad (13)$$

5. 绘制 $K_R - \Delta a$ 散点图

将有效的 $(K_{Ri}, \Delta a_i)$ 数据点标入直角坐标纸上, 得到 $K_R - \Delta a$ 散点图, 如图 1-1-11 所示。

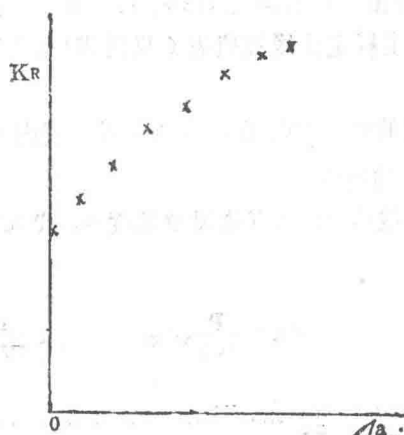


图 1-1-11 $K_R - \Delta a$ 散点图

六、 $K_R - \Delta a$ 曲线的拟合

将一根试样的全部 $(K_{Ri}, \Delta a_i)$ 数据拟合成一条光滑的 $K_R - \Delta a$ 曲线, 可以采用工程拟合的方法, 也可采用函数拟合的方法。推荐如下的 K_R 曲线函数表达式⁽⁴⁾：

$$\hat{K}_R = e^{\alpha} (\Delta a + C_0)^{\beta} \quad (14)$$

式中： α 、 β 为常数， C_0 可根据材料试选，使拟合误差最小。

附表1 CCT试样EB2v/P和 $F_1(\frac{a}{W})$ 表^[1]

$\frac{2a}{W}$	$\frac{EB2V}{P}$ *	$F_1(\frac{a}{W})$ **	$\frac{2a}{W}$	$\frac{EB2V}{P}$	$F_1(\frac{a}{W})$	$\frac{2a}{W}$	$\frac{EB2V}{P}$	$F_1(\frac{a}{W})$
0.300	0.635	1.059	0.405	0.901	1.115	0.510	1.215	1.199
0.305	0.647	1.062	0.410	0.915	1.118	0.515	1.232	1.204
0.310	0.659	1.064	0.415	0.929	1.122	0.520	1.249	1.210
0.315	0.671	1.066	0.420	0.943	1.125	0.525	1.266	1.214
0.320	0.683	1.068	0.425	0.957	1.128	0.530	1.283	1.219
0.325	0.695	1.071	0.430	0.971	1.132	0.535	1.300	1.224
0.330	0.708	1.073	0.435	0.985	1.136	0.540	1.318	1.230
0.335	0.720	1.075	0.440	0.999	1.139	0.545	1.335	1.235
0.340	0.732	1.078	0.445	1.014	1.143	0.550	1.353	1.241
0.345	0.745	1.080	0.450	1.029	1.148	0.555	1.372	1.247
0.350	0.757	1.083	0.455	1.043	1.151	0.560	1.390	1.253
0.355	0.770	1.086	0.460	1.058	1.155	0.565	1.408	1.259
0.360	0.783	1.088	0.465	1.073	1.159	0.570	1.427	1.265
0.365	0.795	1.091	0.470	1.089	1.163	0.575	1.446	1.271
0.370	0.808	1.094	0.475	1.104	1.167	0.580	1.465	1.277
0.375	0.821	1.097	0.480	1.119	1.171	0.585	1.485	1.284
0.380	0.834	1.100	0.485	1.135	1.176	0.590	1.505	1.291
0.385	0.848	1.103	0.490	1.151	1.180	0.595	1.525	1.297
0.390	0.861	1.106	0.495	1.167	1.185	0.600	1.545	1.304
0.395	0.874	1.109	0.500	1.183	1.189	0.605	1.565	1.311
0.400	0.888	1.112	0.505	1.199	1.194	0.610	1.586	1.319