



中华人民共和国国家标准

GB/T 15970.6—2007/ISO 7539-6:2003
代替 GB/T 15970.6—1998

金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第6部分：恒载荷或恒位移下预裂纹 试样的制备和应用

Corrosion of metals and alloys—Stress corrosion testing—
Part 6: Preparation and use of pre-cracked specimens for tests
under constant load or constant displacement

(ISO 7539-6:2003, IDT)

2007-05-14 发布

2007-12-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验
第 6 部分:恒载荷或恒位移下预裂纹
试样的制备和应用

GB/T 15970.6—2007/ISO 7539-6:2003

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 62 千字

2007 年 9 月第一版 2007 年 9 月第一次印刷

*

书号: 155066·1-29833 定价 26.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

前 言

GB/T 15970 在《金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验》总标题下,包括以下部分:

第 1 部分:试验方法总则(GB/T 15970.1—1995);

第 2 部分:弯梁试样的制备和应用(GB/T 15970.2—2000);

第 3 部分:U 型弯曲试样的制备和应用(GB/T 15970.3—1995);

第 4 部分:单轴加载拉伸试样的制备和应用(GB/T 15970.4—2000);

第 5 部分:C 型环试样的制备和应用(GB/T 15970.5—1998);

第 6 部分:恒载荷或恒位移下预裂纹试样的制备和应用(GB/T 15970.6—2007);

第 7 部分:慢应变速率试验(GB/T 15970.7—2000);

第 8 部分:焊接试样的制备和应用(GB/T 15970.8—2005);

第 9 部分:渐增式载荷或渐增式位移下的预裂纹试样的制备和应用(GB/T 15970.9—2007)。

本部分等同采用国际标准 ISO 7539-6:2003《金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第 6 部分:恒载荷或恒位移下预裂纹试样的制备和应用》。

本部分作了下列编辑性修改:

——删除国际标准前言。

本部分代替 GB/T 15970.6—1998《金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第 6 部分:预裂纹试样的制备和应用》。

本部分与 GB/T 15970.6—1998 相比主要变化如下:

——删除了与渐增载荷或渐增位移有关的内容;

——增加了残余应力和电极电位变化对试验结果的影响;

——增加说明了试样制备时残余应力可能带来的影响;

——对环境因素的影响进行了较为详细的阐述;对环境试验箱及环境控制和监测进行了详细的说明;

——增加了附录 B 裂纹扩展速率的测定。

本部分附录 A 和附录 B 均为规范性附录。

本部分由中国钢铁工业协会提出。

本部分由全国钢标准化技术委员会归口。

本部分起草单位:钢铁研究总院、冶金工业信息标准研究院。

本部分主要起草人:王玮、金明秀、柳泽燕、冯超。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB/T 15970.6—1998。

金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验

第6部分：恒载荷或恒位移下预裂纹试样的制备和应用

1 范围

1.1 GB/T 15970 的本部分包括了用于研究应力腐蚀敏感性的预裂纹试样的设计、制备以及使用等内容。给出了用于研究应力腐蚀敏感性的预裂纹试样的设计、制备和使用建议。有关切口试样的推荐意见参见附录 A。本部分所用的“金属”一词，也包括合金。

1.2 因为在裂纹尖端要求维持弹性约束状态，所以预裂纹试样不适合评价如薄板或线材等细的或薄的材料。通常只适用于评价如厚板、棒和锻件等较厚或较粗的材料。预裂纹试样也适用于焊接件。

1.3 预裂纹试样可用恒载荷设备加载，或用可在施力点产生恒定位移的装置加载，渐增载荷和渐增位移试验在 GB/T 15970.9 中介绍。

1.4 预裂纹试样突出的优点是：从所测得数据可以计算出已知几何形状和承受已知应力构件的界限缺陷尺寸，如果缺陷尺寸超过临界值，就会产生应力腐蚀破裂。预裂纹试样还可以用于测定应力腐蚀裂纹的扩展速率。在监控正在使用的有缺陷的部件时，可以考虑近期的数据。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 15970 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB/T 15970.1 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第1部分：试验方法总则（GB/T 15970.1—1995，idt ISO 7539-1:1987）

GB/T 20120.2 金属和合金的腐蚀 腐蚀疲劳试验 第2部分 预裂纹试样裂纹扩展试验（GB/T 20120.2—2006，ISO 11782-2:1998，IDT）

3 术语和定义

GB/T 15970.1 确立的以及下列术语和定义适用于本部分。

3.1

裂纹长度 crack length

a

有效裂纹长度的测定是从裂纹尖端到试样缺口或到加载点轴线，具体取决于试样的几何形状。

3.2

试样宽度 specimen width

W

有效宽度的测定从试样的背面到缺口面或者是到加载平面，具体取决于试样的几何形状。

3.3

试样厚度 specimen thickness

B

试验试样从一面到另一面的尺寸。

3.4

开侧面槽后,试样厚度的减少 reduced thickness at side grooves

B_a

在侧面槽试样上,两个面上的槽之间的最小尺寸。

3.5

试样半高 specimen half-height

H

对于紧凑拉伸、双悬臂梁和改进楔型张开加载试样,平行于加载方向测量的试样高度的 50%。

3.6

施加的载荷 load

P

施加在试样上的载荷,如果方向是使裂纹面分离,认为是正的。

3.7

加载点轴线上的挠度 deflection at loading point axis

V_{LL}

对恒位移试样施加载荷期间,在加载线上产生的裂纹张开位移。

3.8

偏离加载线的挠度 deflection away from the loading line

V_o

在对恒位移试样施加载荷时,在远离加载面的位置产生的裂纹张开位移,如在缺口的刃形边缘上。

3.9

弹性模量 modulus of elasticity

E

在张力中弹性模量(即应力/应变)。

3.10

应力强度因子 stress intensity factor

K_I

是外加载荷、裂纹长度和试样几何尺寸的函数,具有应力 $\times\sqrt{\text{长度}}$ 的量纲,专门用来确定张开型位移(模型 I)试样裂纹尖端的弹性应力场的增强。

注:假设实际开裂体的裂纹尖端的塑性区域尺寸与裂纹长度和未开裂带长度相比较小,发现假设试样仅弹性响应下计算出的应力强度因子与实际的开裂体的行为是相关的。在本部分中,模型 I 是假设的,下标 I 给出提示。

3.11

初始应力强度因子 initial stress intensity factor

K_{Ii}

应力腐蚀试验开始时施加的应力强度。

3.12

平面应变断裂韧性 plane strain fracture toughness

K_{Ic}

K_I 的界限值。在塑性变形的高约束条件下,在应力强度不断增加的影响下,当 K_I 到该临界值时,将产生与环境无关的快速裂纹扩展。

3.13

暂定的 K_{Ic} 值 provisional value of K_{Ic}

K_Q

当满足平面应变为主导的有效判据时, $K_Q = K_{Ic}$ 。

3.14

应力腐蚀破裂敏感性的界限应力强度因子 threshold stress intensity factor for susceptibility to stress corrosion cracking

K_{Isc}

在塑性变形的高约束条件下的给定试验条件下,即在以平面应变为主的条件下,当应力强度因子高于 K_{Isc} 时,会产生应力腐蚀裂纹的萌生和扩展。

3.15

暂定的 K_{Isc} 值 provisional value of K_{Isc}

K_{Qsc}

当满足平面应变为主的有效判据时, $K_{Qsc} = K_{Isc}$ 。

3.16

最大疲劳应力强度因子 maximum stress intensity factor

K_{max}

在循环中的应力强度因子的最高代数值,相对应最大载荷。

3.17

0.2%规定非比例延伸强度 0.2% proof strength, non-proportional extension

$R_{p0.2}$

表示规定非比例延伸率为 0.2% 时的应力。

3.18

外加应力 applied stress

σ

来自于对试样施加的载荷产生的应力。

3.19

应力强度因子系数 stress intensity factor coefficient

Y

对特定几何形状的试样,通过应力分析推导出来的一个系数。此系数将给定裂纹长度的应力强度因子与载荷和试样尺寸相关联。

3.20

疲劳载荷比 load ratio in fatigue loading

R

在一个循环周期内,最小载荷与最大载荷代数比值。

$$R = \frac{p_{\min}}{p_{\max}} = \frac{K_{\min}}{K_{\max}}$$

3.21

开裂速率 crack velocity

通过连续的裂纹监测方法,测定应力腐蚀裂纹扩展的瞬时速率。

3.22

平均裂纹扩展速率 average crack velocity

由应力腐蚀引起的裂纹长度变化值除以试验时间,求得裂纹扩展平均速率。

3.23

试样的取向 specimen orientation

第一按加应力的方向,第二按裂纹扩展方向标志试样的破断平面。并用字母 X、Y 和 Z 三个参考轴加以表示。此外 Z 与材料加工过程中施加的主工作力方向一致(短横轴);X 与晶粒流变方向一致(纵轴);而 Y 则垂直于 X 轴和 Z 轴。

4 原理

4.1 要确保构件在加工制作或随后的使用过程中不产生裂纹状的缺陷是困难的,有鉴于此,使用预裂纹试样。这些缺陷的存在对应力腐蚀破裂是敏感的,而这种敏感性对某些材料(如钛),在光滑试样的恒载荷试验中不明显。应用线弹性断裂力学的原理,能够借助于平面应变应力强度定量地确定存在于预裂纹试样或构件中的裂纹尖端的应力状况。

4.2 对机械切口进行疲劳预制裂纹的试样,通过在施力点施加恒定载荷或位移,在化学侵蚀性介质中进行试验,目的是借助于应力腐蚀破裂界限应力强度因子 K_{Isc} 和裂纹扩展动力学来定量地确定产生环境加速裂纹扩展的条件。

4.3 设计和寿命预测中可以应用经验数据。目的是为了保证大型构件内的应力不足以在预先存在的缺陷部位引发环境诱导开裂,或者是在设计寿命或检查周期内确保裂纹扩展量不会造成失稳破坏的危险。

4.4 由于在裂纹尖端化学和电极电位的变化,应力腐蚀破裂受力学和电化学驱动力影响,后者可随裂纹深度、开放程度或形状变化,不仅仅用断裂力学应力强度因子描述。

4.5 力学驱动力包括施加的和残余应力。在实验室试验和应用于更复杂的几何形状时,应考虑后者可能的影响。试样中的残余应力梯度可导致沿裂纹前端非均匀扩展。

5 试样

5.1 总则

5.1.1 凡在断裂韧性试验中,所采用的大范围的标准试样几何尺寸都可以使用。试样的具体类型可因原材料的外形、强度、材料对应力腐蚀破裂的敏感性以及试验目的不同而异。

5.1.2 基本的要求是尺寸要满足以三轴应力为主的(平面应变)条件,在此条件下,塑性变形在裂纹尖端附近受到限制,断裂韧性试验的经验表明,为了测得正确的 K_{Ic} 值,试样的裂纹长度 a 和厚度 B 都不能小于 $2.5(K_{Ic}/R_{p0.2})^2$ 。为保证足够的约束,应尽可能使用大试样,其 a 和 B 至少等于 $4(K_{Ic}/R_{p0.2})^2$ 。从断裂力学的观点看,此时不能具体规定可得到恒定 K_{Isc} 值的最小试样厚度。在应力腐蚀过程中,侵蚀性环境的存在,可以降低与破断有关以及因此与限制塑性变形所需的尺寸有关的塑性值。然而为了减少约束不足的危险,推荐了类似于断裂韧性试验中使用的有关试样尺寸的规范,即:

$$a \text{ 和 } B \text{ 不小于 } 2.5(K_I/R_{p0.2})^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{最好不小于 } 4(K_I/R_{p0.2})^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中的 K_I 是试验中外加的应力强度,最后测定的界限应力强度值应该取代式(1)中的 K_I ,以检验其有效性。

5.1.3 如果试样是用来测定 K_{Isc} ,那么初始的试样尺寸可按材料 K_{Isc} 的估计值来考虑(开始最好将 K_{Isc} 值估计得高一点,因此采用较实际需要大一些的试样),在实际使用中,如遇到所用的材料的厚度不能满足有效的条件时,只要能清楚说明所测得的界限应力强度 K_{Qsc} 只与此特殊应用有关,那么可以使用相同厚度的试样做试验。在需要测定作为应力强度函数关系的应力腐蚀裂纹扩展行为时,试样尺寸应按测定裂纹扩展速率的最高应力强度估计值确定。

5.1.4 可以使用两种基本类型的试样：

- a) 用于恒位移试验的试样，此类试样都是采用加载螺栓，自身加载；
- b) 用于恒载荷试验的试样，此类试样需要外部加载装置加载。

5.1.5 自加载的恒位移试样，因为不需要外加载装置，所以比较经济。另外，此种试样结构紧凑，便于在实际工作环境中进行暴露试验。这类试样可由疲劳预制裂纹产生应力腐蚀裂纹，因此可用于测定 K_{Isc} 。在此情况下，必须采用一组试样来精确测定临界值，或者通过裂纹扩展的终止值来求 K_{Isc} 。因为在恒位移试验条件下，随裂纹的扩展，应力强度逐渐降低。因此，原则上讲单个试样就足以测量 K_{Isc} ，但实际上考虑到 5.1.6 条所述恒位移方法的缺点，常建议采用几个试样（不少于 3 个）。

5.1.6 恒位移试样的缺点：

- a) 只能通过位移的变化间接测定外加载荷；
- b) 裂纹内生成的氧化物或腐蚀产物能够楔开裂纹表面，从而改变所加的位移和载荷值，也会阻塞裂纹口，从而阻碍了腐蚀介质的进入，并且使得用电阻方法测定裂纹长度的准确性降低；
- c) 裂纹分叉、变钝或者裂纹偏离扩展面，都会使测得的裂纹止裂，数据无效；
- d) 当裂纹扩展速率低于某一数值后，则认为裂纹止裂，而该值是难以准确测定的；
- e) 在裂纹扩展期间，加载系统的弹性松弛能够引起位移增加和产生比预计值更高的载荷；
- f) 随时间的推移，在试样内产生的塑性松弛能使试样的载荷较预计值低；
- g) 在试验环境中加载有时是不可能的，这会减缓随后试验中裂纹的萌生。

5.1.7 恒载荷试验的优点是能够准确地定量表示应力参数。由于裂纹的扩展导致张开位移量的增加，所以氧化物膜阻塞和胀开裂纹的可能很小。裂纹长度的测定可以很方便地采用许多连续监测方法进行。恒载荷试样的几何形状可以按试验材料的形状、现有的实验装置以及试验目的在很宽范围内进行选择。这意味着可以在弯曲或拉伸加载条件下研究裂纹的扩展，试样可以用来测定 K_{Isc} 或者测定裂纹扩展速率。前者，是一组带预制疲劳裂纹的试样，通过测定应力腐蚀裂纹在疲劳预裂纹上的萌生进行的。为了避免出现不必要的孕育期，可在恒载荷试样置于试验介质后对其加载。

5.1.8 恒载荷试验的主要缺点是费用高，体积大。这与需要使用外加载系统有关。对于弯曲试样能够在相对简单的悬臂梁试验机上进行试验，但是对于受拉伸加载的试样，则要求使用恒载荷蠕变断裂试验机或类似的试验机。在这种情况下，为了使其费用降至最低程度，可以用加载链使试样成串加载，这种加载链可以防止试样破断后卸载。庞大的加载系统意味着难以在实际操作介质条件下进行恒载荷试验，但是可以在实际操作系统排出的介质中进行试验。

5.2 试样设计

5.2.1 图 1 列出一些应力腐蚀试验中采用的预裂纹试样的几何形状。

5.2.2 恒载荷试样可以有两种不同类型：

- a) 应力强度随裂纹长度的增加而增加型；
- b) 应力强度实际上与裂纹长度无关型。

a) 型试样适于测定 K_{Isc} 和研究作为 K_I 函数的裂纹扩展速率。而 b) 型试样则适于研究应力腐蚀机理等基础研究。

5.2.3 增 K 的恒载荷试样可以承受拉伸或弯曲载荷。根据不同设计，拉伸加载试样在裂纹尖端主要受拉应力（类似于中心裂纹板这样一类远拉伸型试样）或者包含显著的弯曲应力成分（像紧凑拉伸这一类的裂纹线加载型试样）。裂纹尖端存在的这种显著的弯曲应力在应力腐蚀试验中能反过来影响裂纹通道的稳定性，并且对于某些材料能促进裂纹的分叉。弯曲试样可以按三支点或四支点或悬臂弯曲装置加载。

5.2.4 恒 K 恒载试样，可以受扭转载荷，如双扭转单边裂纹板试样，或者受拉伸载荷，如恒值的双悬臂

试样。虽然以拉伸加载,但后一种试样产生裂纹线弯曲,使裂纹扩展具有偏离平面的倾向。这种现象可以通过开侧面槽得到抑制。

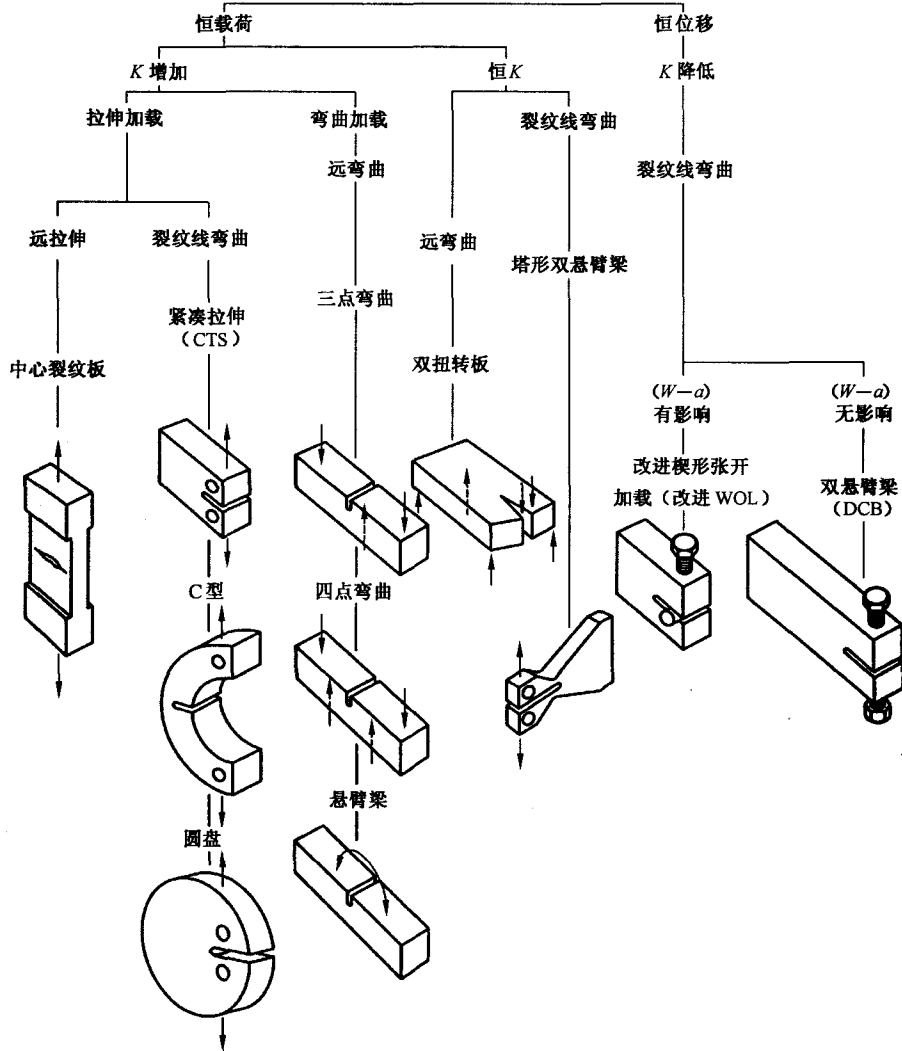
5.2.5 恒位移试样,通常借助装在试样一个臂上的加载螺栓,顶住另一个臂上的固定平台进行自加载,或者是两个臂上的两个螺栓相对进行自加载。可使用两种类型:

- a) (W-a)有影响试样,如改进楔形张开加载(改进 WOL)试样。这种试样由于端面接近裂纹尖端而对裂纹尖端的应力场产生影响。
- b) (W-a)无影响试样,如双悬臂梁 DCB 试样。这类试样的端面远离裂纹尖端,从而保证了端面位置对裂纹尖端的应力场几乎不产生影响。

5.2.6 上述几种几何形状试样具有独特的优点,而被广泛应用于应力腐蚀实验。这些优点是:

- a) 悬臂梁弯曲试样,容易加工。用于恒载荷,试验费用低;
- b) 紧凑拉伸(CTS)试样,用于恒载荷试验,材料的需用量最少;
- c) 自加载双悬臂梁(DCB)恒位移试样,便于在现场条件下进行试验;
- d) 改进楔形张开加载(改进 WOL)试样,对于恒位移试验,也可自加载并且试验中材料需用量最少;
- e) 为了研究在恒载荷条件下纵向裂纹的径向扩展,可以由厚壁圆筒加工成 C 形试样。

上述各类标准试样的设计详图分别如图 2~图 6 所示。

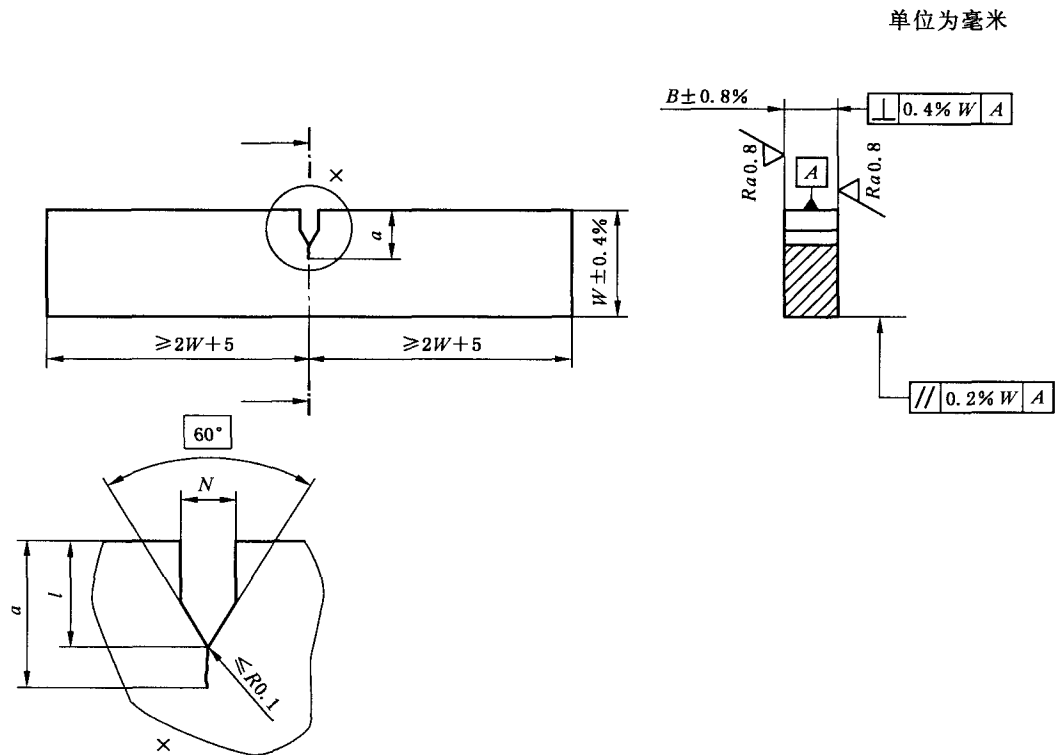


注:在出版的文献中可得到试样的应力强度因子系数。

图 1 应力腐蚀试验中预裂纹试样的几何形状

5.2.7 如果需要的话,例如,在难以准确地控制疲劳裂纹的萌生和(或)扩展的情况下,不妨采用如图 7 所示的人字形切口试样。必要时,此缺口的角度可以从 90° 增加到 120° 。

5.2.8 在需要测定裂纹张开位移的场合,如在对恒位移试样施加挠度时,安装引伸计的刀口可以加工成如图 8a)所示的切口,切口可以分别用螺钉拧紧或者粘到试样切口的相对的两侧,如图 8b)所示。图 9 展示了一种适用的锥形梁引伸计详图。



宽度 $= W$

厚度 $B = 0.5W$

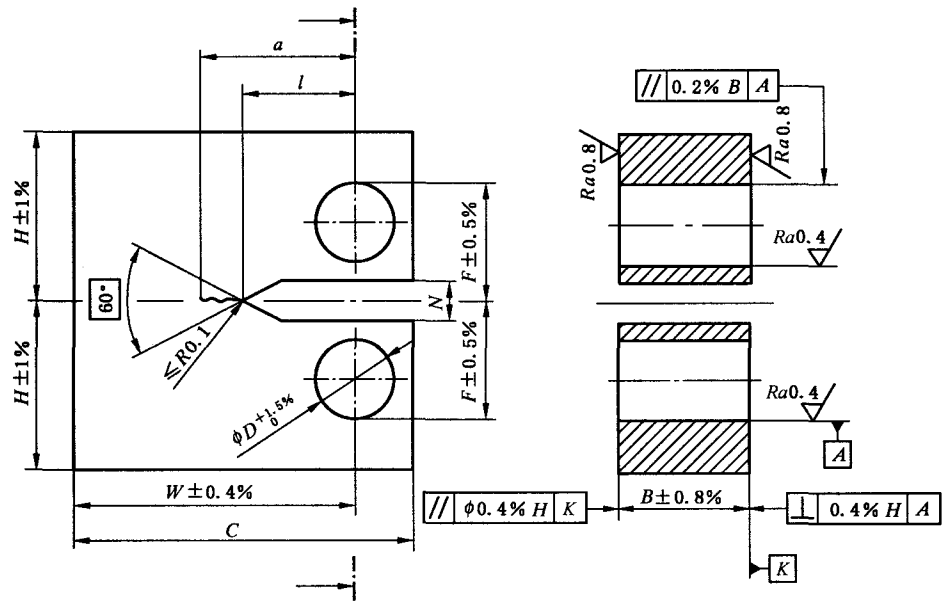
切口宽度 $N = 0.065W$ 最大(如果 $W > 25 \text{ mm}$)或 1.5 mm 最大(如果 $W \leq 25 \text{ mm}$)

有效切口长度 $l = 0.25W \sim 0.45W$

有效裂纹长度 $a = 0.45W \sim 0.55W$

图 2 悬臂梁试样的比例尺寸和公差

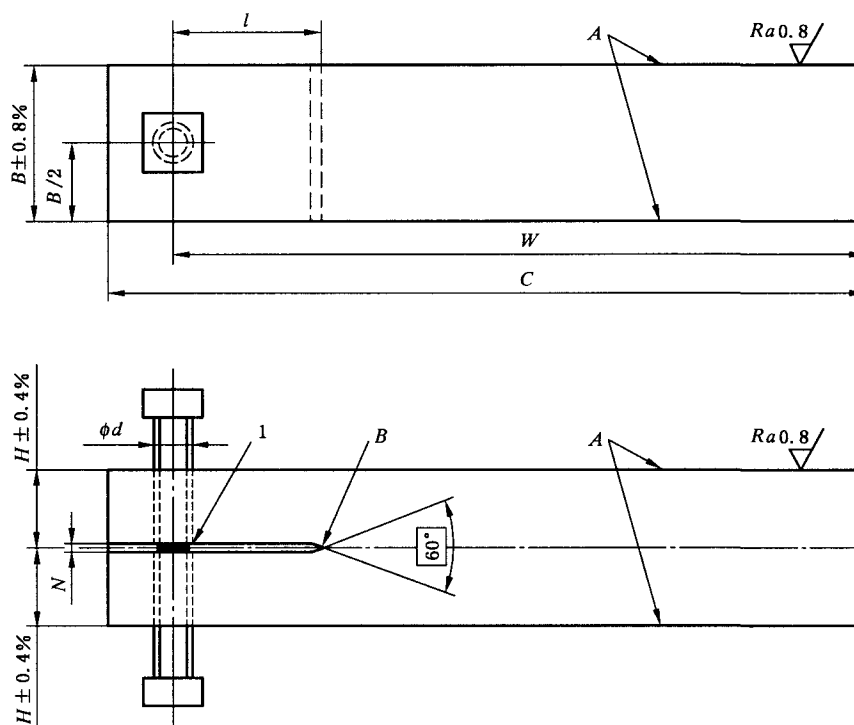
单位为毫米



- 净宽度 = W
- 总宽度 $C = 1.25W$ 最小
- 厚度 $B = 0.5W$
- 半高 $H = 0.6W$
- 孔直径 $D = 0.25W$
- 孔外边缘之间距离的一半 $F = 1.6D$
- 切口宽度 $N = 0.065W$ 最大
- 有效切口长度 $l = 0.25W \sim 0.40W$
- 有效裂纹长度 $a = 0.45W \sim 0.55W$

图 3 紧凑拉伸试样的比例尺寸和公差

单位为毫米



1——螺栓端部半径 12.5~50。

半高 = H

厚度 $B=2H$

净宽 $W=10H$ 最小

总宽 $C=W+d$

螺栓直径 $d=0.75H$ 最小

缺口宽度 $N=0.14H$ 最大

有效缺口长度 $l=2H$

注 1: “A”面相互平行和垂直,偏差在 $0.002H$ 范围内(H 为读数值)。

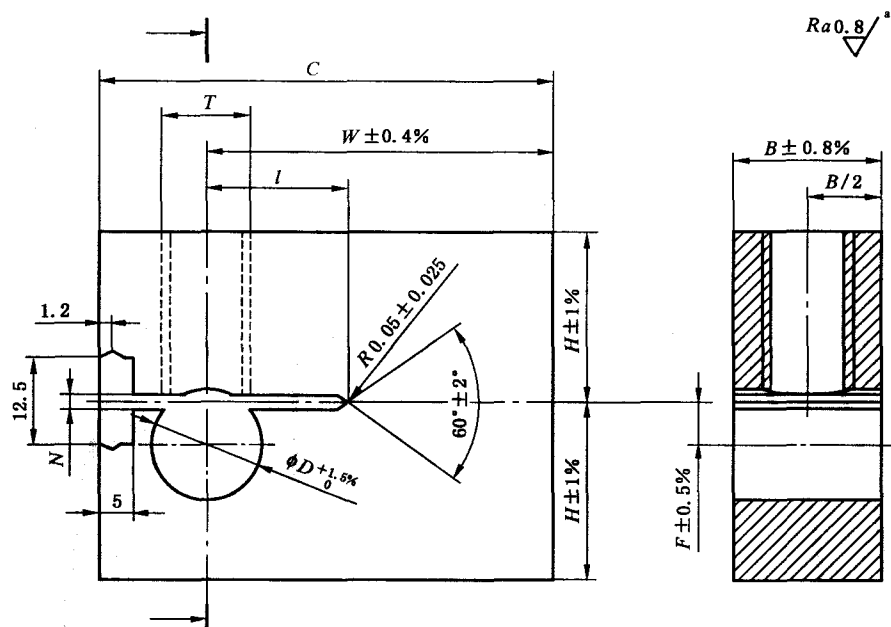
注 2: 在每个面上“B”点与表面的顶部和底部等距离,偏差在 $0.001H$ 范围内(H 为读数值)。

注 3: 螺钉中心线垂直于试样中心线,偏差 1° 。

注 4: 螺钉的材料与试样的材料相同,细螺齿为正方形或六角形头。

图 4 双悬臂梁试样的比例尺寸和公差

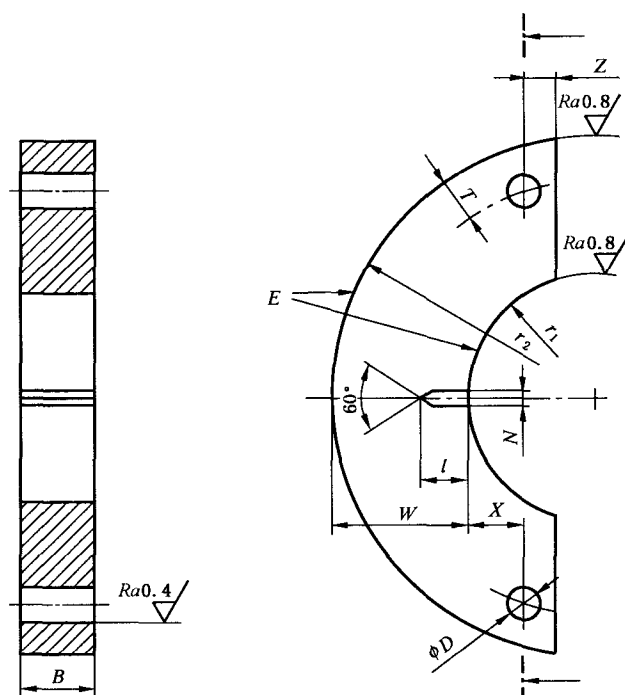
单位为毫米

^a 全部。厚度 = B 净宽度 = $W2.55B$ 总宽度 $C=3.20B$ 半高 $H=1.24B$ 孔直径 $D=0.718B \pm 0.003B$ 有效缺口长度 $L=0.77B$ 缺口宽度 $N=0.06B$ 螺钉直径 $T=0.625B$ 孔中心线到缺口中心线距离 $F=0.239B$ 注 1: 表面相互平行和垂直, 偏差在 $0.002H$ 范围内 (H 为读数)。注 2: 螺钉中心线垂直于试样中心线, 偏差 1° 。

注 3: 螺钉的材料与试样的材料相同, 细螺齿为正方形或六角形头。

图 5 改进楔型张开加载试样的比例尺寸和公差

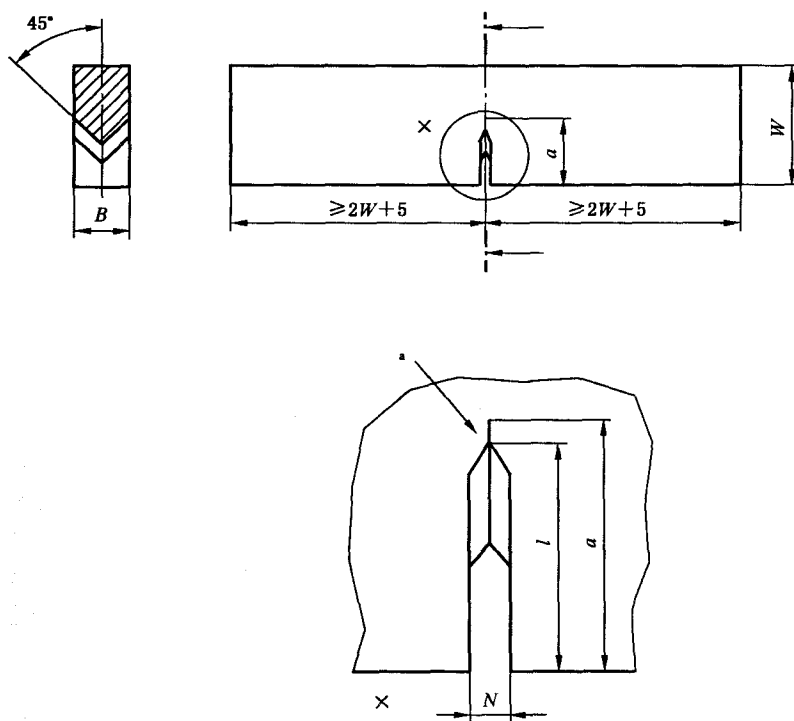
单位为毫米

净宽度 $=W$ 厚度 $B=0.50W \pm 0.01W$ 孔轴线到内径切线距离 $X=0.50W \pm 0.005W$ 缺口宽度 $N=1.5 \text{ mm}$ 最小($0.1W$ 最大)缺口长度 $l=0.3W$ 孔轴线到试样面距离 $Z=0.25W \pm 0.01W$ 孔轴线到外表面距离 $T=0.25W \pm 0.01W$ 孔直径 $D=0.25W \pm 0.0005W$

注：全部表面都平行和垂直，偏差在 $0.002W$ 范围内(W 为读数值)，“E”表面垂直于“Y”面，偏差在 $0.02W$ 范围内(W 为读数值)。

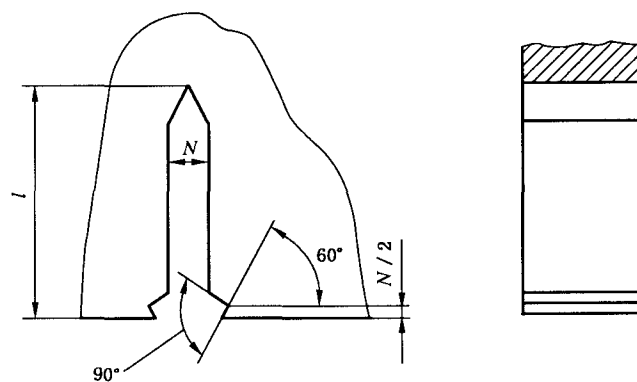
图 6 C型试样的比例尺寸和公差

单位为毫米

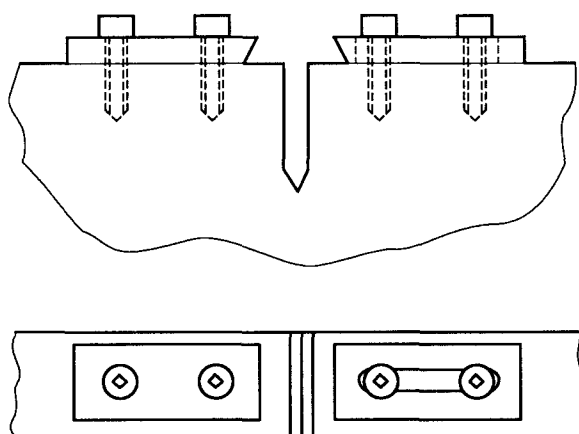


^a 用 60°刀具铣,对于全部试样,缺口根部半径最大 0.3 mm。

图 7 人字形缺口



a) 整体的形式

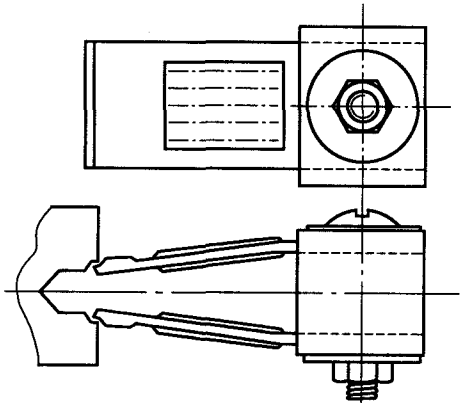


b) 螺钉形式

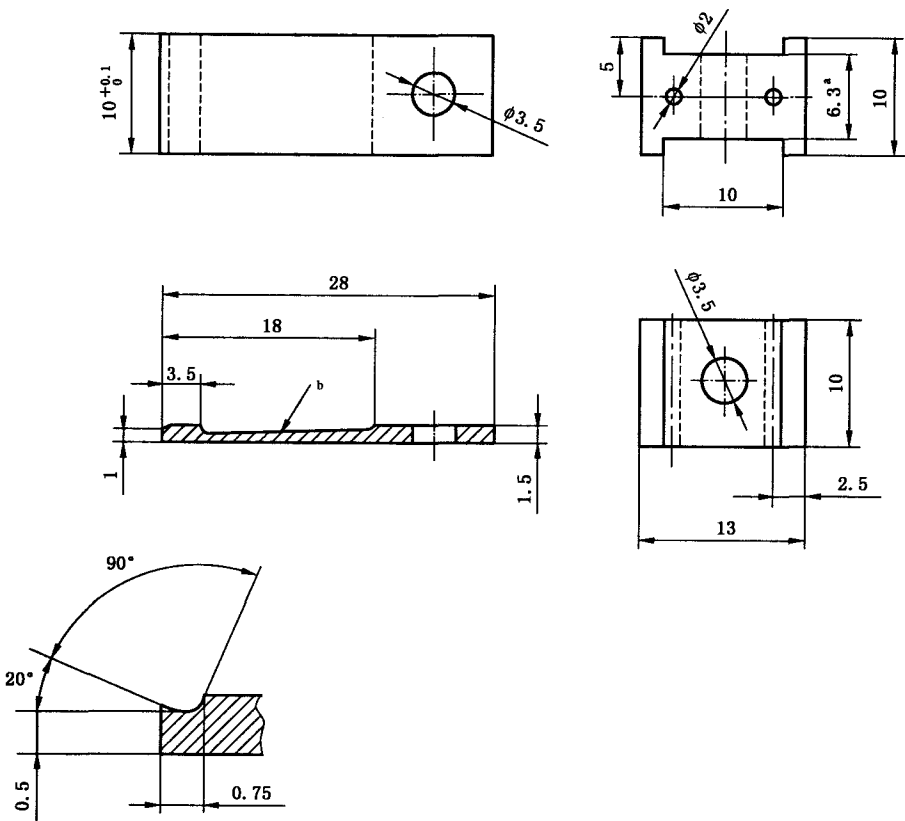
注：具有适当的强度以保证刀口用粘合剂固定。

图 8 引伸计刀口位置

单位为毫米

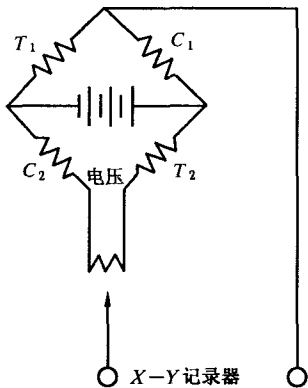


a) 试样上安装的引伸计



b) 梁的尺寸

图 9 锥形梁引伸计详图



c) 桥式测量电路

- a 此处尺寸应为最小初始标准长度的 3.8 倍。
 - b 梁厚度的斜度为 0.5~0.8。
- 注：应选择应变计及材料以适应试验环境。

图 9(续)

5.3 应力强度因子

5.3.1 用弹性理论可以证明,作用于不同形状的试样或构件的裂纹尖端的应力强度因子可以用公式(3)表示:

$$K_I = Q \times \sigma \times \sqrt{a} \dots\dots\dots (3)$$

- 式中:
- Q——几何常数;
 - σ ——外加应力;
 - a——裂纹长度。

5.3.2 对于特定几何形状和加载方法的试样, K_I 的数学解可以通过有限元应力分析或者根据试验或理论确定试样柔度值来计算。

5.3.3 通过无量纲的应力强度因子系数 Y, 可以计算 K_I 值。该系数与用 a/W 或对于 $(W-a)$ 的无影响的试样用 a/H 表示的裂纹长度有关。此处 W 是宽度, H 是试样的半高。对于紧凑拉伸或者 C 形试样, 其关系式见公式(4):

$$K_I = \frac{YP}{B \sqrt{W}} \dots\dots\dots (4)$$

对于 T 型楔形张开加载试样见公式(5):

$$K_I = \frac{YP}{B \sqrt{a}} \dots\dots\dots (5)$$

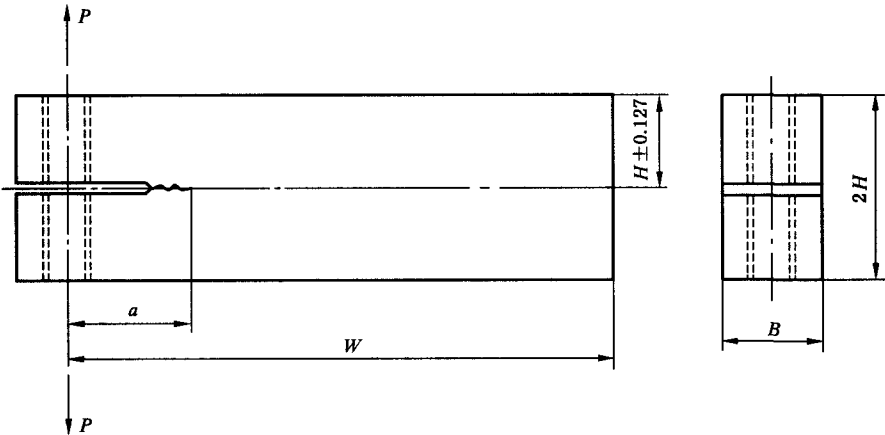
对于双悬臂梁试样见公式(6):

$$K_I = \frac{Y P}{B \sqrt{H}} \dots\dots\dots (6)$$

5.3.4 为了抑制裂纹分叉,可采用浅的侧面槽(一般在试样两侧面的槽深总共为试样厚度的 5%)。侧面槽可采用半圆形或 60°V 形,但是要注意即使采用高达 50%试样厚度的半圆侧面槽,有时也不一定能达到保持裂纹在所要求的平面内扩展的目的。在使用侧面槽的试样上,开槽后的厚度 B_n 。由于开槽对应力强度的作用可在上面公式中用 $\sqrt{B \cdot B_n}$ 取代 B 来解决。然而,侧面槽对应力强度因子的影响远远没有确定,所以在采用修正系数时要特别谨慎,特别在侧面槽较深的情况下更应如此。

5.3.5 图 10~图 14 给出了应力腐蚀试验常用试样的应力强度因子系数 Y 的解。

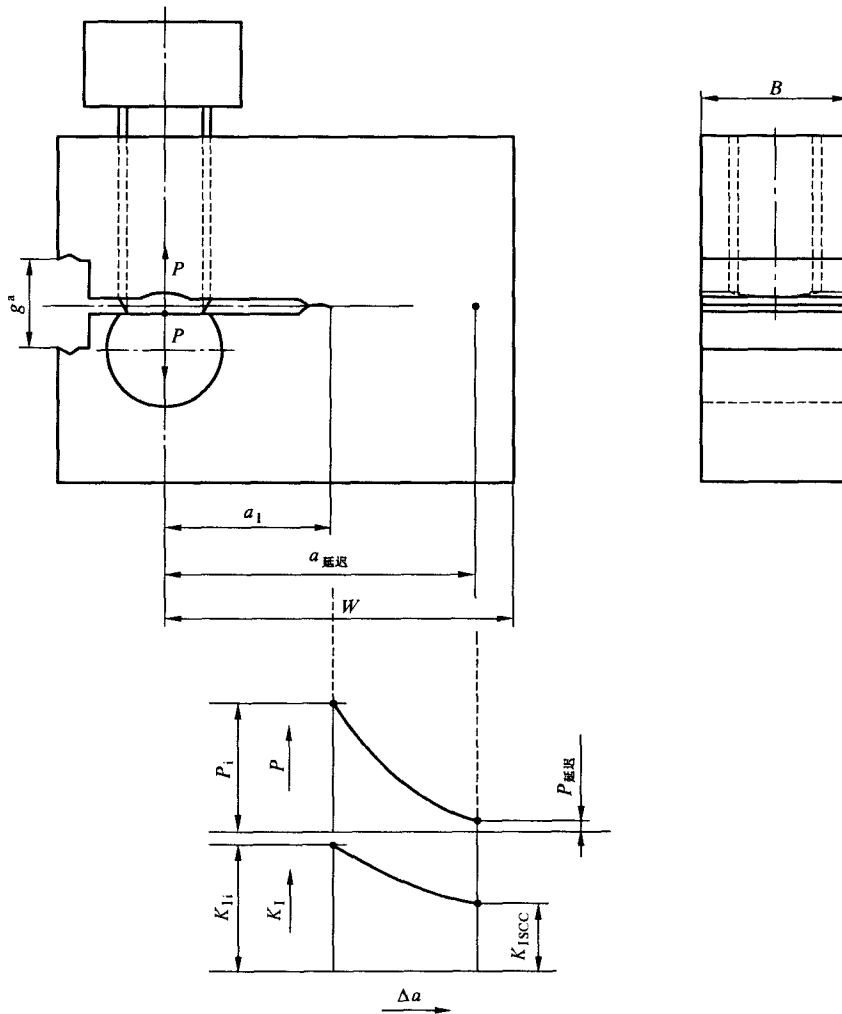
单位为毫米



$$K_I = \frac{E \times V_{LL} H \sqrt{3H(a + 0.6H)^2 + H^3}}{4[(a + 0.6H)^3 + H^2 a]}$$

注: 这个公式是从弹性柔度理论引出的,虽然它的准确性和有效程度没有规定,但已经在 $2 \leq \frac{a}{H} \leq 5$ 的范围内使用,为确有把握,推荐使用一种经验柔度指标。

图 10 双悬臂梁试样[(W-a)无影响]的应力强度因子解



^a V, 刚性螺钉的裂纹张开位移(COD)是恒量($g-g_i$)。

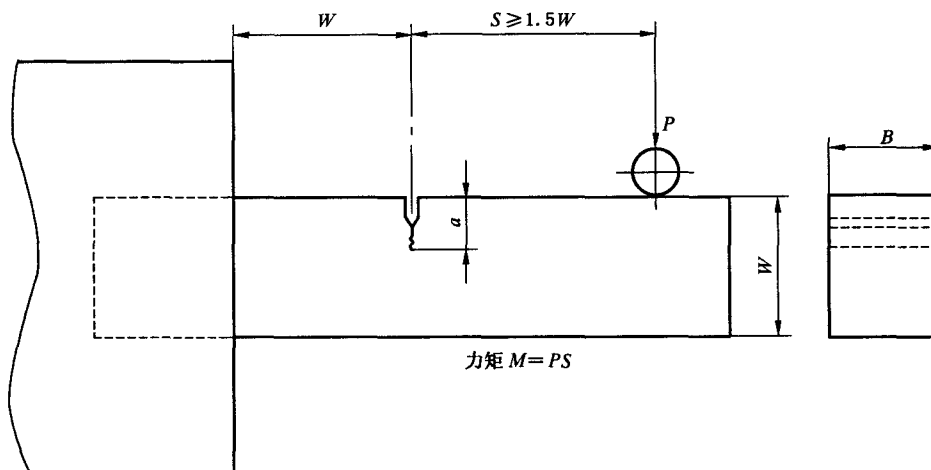
$$K_1 = \frac{YP}{B\sqrt{a}}$$

式中:

$$Y = 30.96\left(\frac{a}{W}\right) - 195.8\left(\frac{a}{W}\right)^2 + 730.6\left(\frac{a}{W}\right)^3 + 1186.3\left(\frac{a}{W}\right)^4 + 754.6\left(\frac{a}{W}\right)^5$$

注: 从弹性柔度理论引出的这个公式, 虽然公式的准确性和有效程度没有完全确定, 但它适用于 $3 \leq \frac{a}{W} \leq 0.8$ 的范围, 为了更有把握推荐使用一种经验柔度指标。

图 11 改进楔形张开加载试样的应力强度因子解

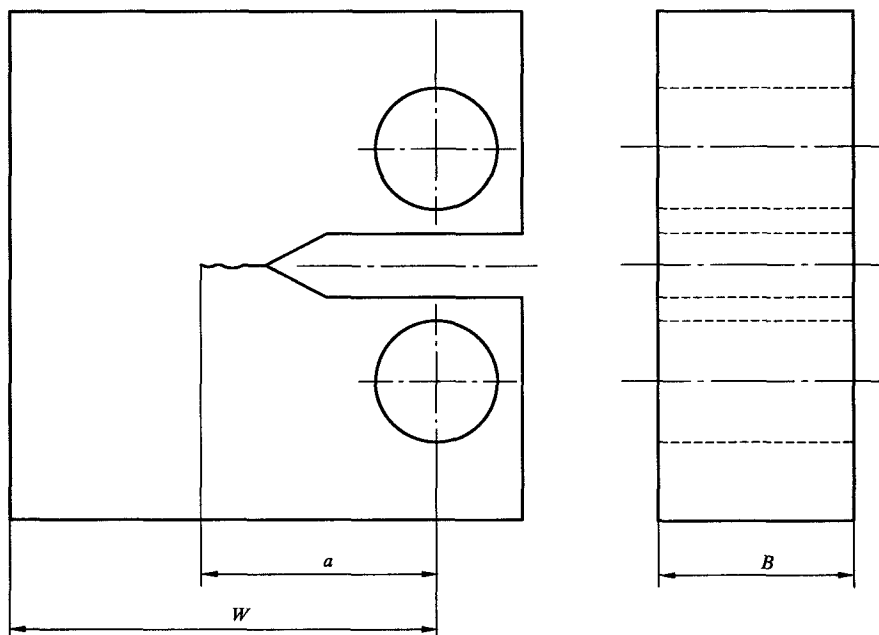


$$K_I = \frac{YP}{B\sqrt{W}}$$

此处当 $S=1.5W$ 的情况下 $Y=6.21\sqrt{\frac{1}{(1-\frac{a}{W})^3} - (1+\frac{a}{W})^3}$

注：这个公式最初是通过应力分析和柔度的组方法推导出来的，虽然没有规定公式的准确性和有效性，但它适用于 $0.2 \leq \frac{a}{W} \leq 0.6$ 的范围，为了更有把握，推荐采用经验柔度指标。

图 12 悬臂弯曲试样的应力强度因子解



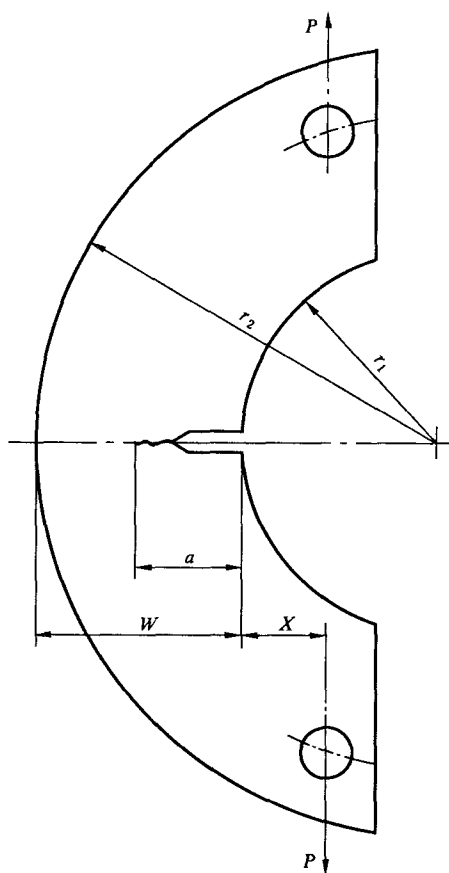
$$K_I = \frac{YP}{B\sqrt{W}}$$

式中：

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

注：此公式在 $0.2 \leq \frac{a}{W} \leq 1.0$ 范围内使用，其准确度为 $\pm 0.5\%$ 。

图 13 紧凑拉伸试样的应力强度因子解



$$K_1 = \frac{YP}{B \sqrt{W}}$$

式中：

$$Y = \left(18.23 \sqrt{\frac{a}{W}} - 106.2 \sqrt{\frac{a^3}{W}} + 397.7 \sqrt{\frac{a^5}{W}} - 582.0 \sqrt{\frac{a^7}{W}} + 369.1 \sqrt{\frac{a^9}{W}} \right) \times \left(1 + 1.54 \frac{X}{W} + 0.5 \frac{a}{W} \right) \\ \times \left[1 + 0.22 \left(1 - \sqrt{\frac{a}{W}} \right) \left(1 - \frac{r_1}{r_2} \right) \right]$$

注：这个公式在 $0.45 \leq \frac{a}{W} \leq 0.55$ 的范围内使用，准确到 1%。然而，当 $0 \leq \frac{x}{W} \leq 0.7$ 和 $0 \leq \frac{r_1}{r_2} \leq 1$ 情况下，在 $0.3 \leq \frac{a}{W} \leq 0.7$ 范围内，其准确度达 2%。

图 14 C 形试样的应力强度因子解

5.4 试样制备

5.4.1 残余应力对应力腐蚀破裂有影响,对切取试样的材料不能进行完全的应力释放时,影响明显,例如焊接件、淬火材料和复杂的锻造或挤压形状。残余应力加上施加的应力可使局部裂纹尖端的应力强度因子与单独由外加载荷计算出的有所差别。残余应力的存在经常表现出不规则的裂纹扩展,即裂纹前端弯曲或非同一平面裂纹成长,这一般暗示残余应力在影响行为。考虑测量残余应力。

5.4.2 对有取向要求的试样(见图 15)应尽可能在完成热处理后机加工。对完成热处理后难以进行加工的某些材料,最后一道热处理必须在开缺口和精加工前进行。该种情况下应考虑到最终机加工阶段,每个面至少要去掉 0.5 mm 厚度。然而,对于已经完成机加工的试样,也可以进行热处理,但这种热处理必须不损害表面状态,不会产生残余应力及淬火裂纹或者变形。

5.4.3 机加工后,应该对试样进行充分的除油处理,以保证在随后预制疲劳裂纹或应力腐蚀试验阶段试样的裂纹尖端不被污染。当采用电阻法监测裂纹扩展时,需要用锡焊或铜焊方法将电极与试样连接起来,这时为了除去少量残余焊剂,应该在焊接之后和预制裂纹之前进行除油。

5.5 试样的标记

试样的标记号可以压印或刻写在试样切口的面上,或在平行于切口的端面上。

6 疲劳裂纹的萌生和扩展

6.1 用预制疲劳裂纹的试验机对试样加载时,应使切口附近的应力分布对称,并且施加力的准确度在 $\pm 2.5\%$ 以内。

6.2 在预制疲劳裂纹过程中,试样所处的环境条件及受力状态都影响其在以后应力腐蚀试验中的行为。对于某些材料,在预制裂纹操作时,引入应力腐蚀试验环境,将促使裂纹从一般的塑性穿晶疲劳开裂模式转变为很类似于应力腐蚀开裂的模式。这有利于以后的应力腐蚀裂纹的萌生以及 K_{Isc} 起始值的测定。然而,除非在预制疲劳裂纹后直接开始应力腐蚀试验,否则存在于裂纹尖端的腐蚀剂由于腐蚀作用能使裂纹尖端变钝。再者,当在含侵蚀性物质的环境中预制疲劳裂纹时,由于腐蚀疲劳破断形式对循环加载格外敏感,因此试验结果的重现性要受影响。另外,在预制疲劳裂纹时,为了达到控制环境的目的,要求更完备的疲劳试验装置。为此,建议除非相关双方同意采用其他的方法外,一般预制疲劳裂纹都要在正常的实验室空气环境中进行。

6.3 试样要用 R 值为 0~0.1 的疲劳载荷预制裂纹,直到裂纹至少在侧面越过切口 $2.5\%W$ 或 1.25 mm(选用两者中的较大值)为止。裂纹可以在比预期 K_{Isc} 高的 K_I 值下开始,但在裂纹扩展的最后 0.5 mm,疲劳裂纹要在尽可能低的最高应力强度下完成(低于预期的 K_{Isc} 值的 60%)。

注:当期望低的 K_{Isc} 值时,GB/T 20120.2 中描述的卸载程序也许有益。

6.4 最终的疲劳裂纹长度,要满足平面应变条件,见公式(7):

$$a \geq 2.5 \left(\frac{K_I}{R_{p0.2}} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

当最终 a/W 的比值处在 0.45~0.55 的范围内时条件最佳[($W-a$)无影响试样除外]。

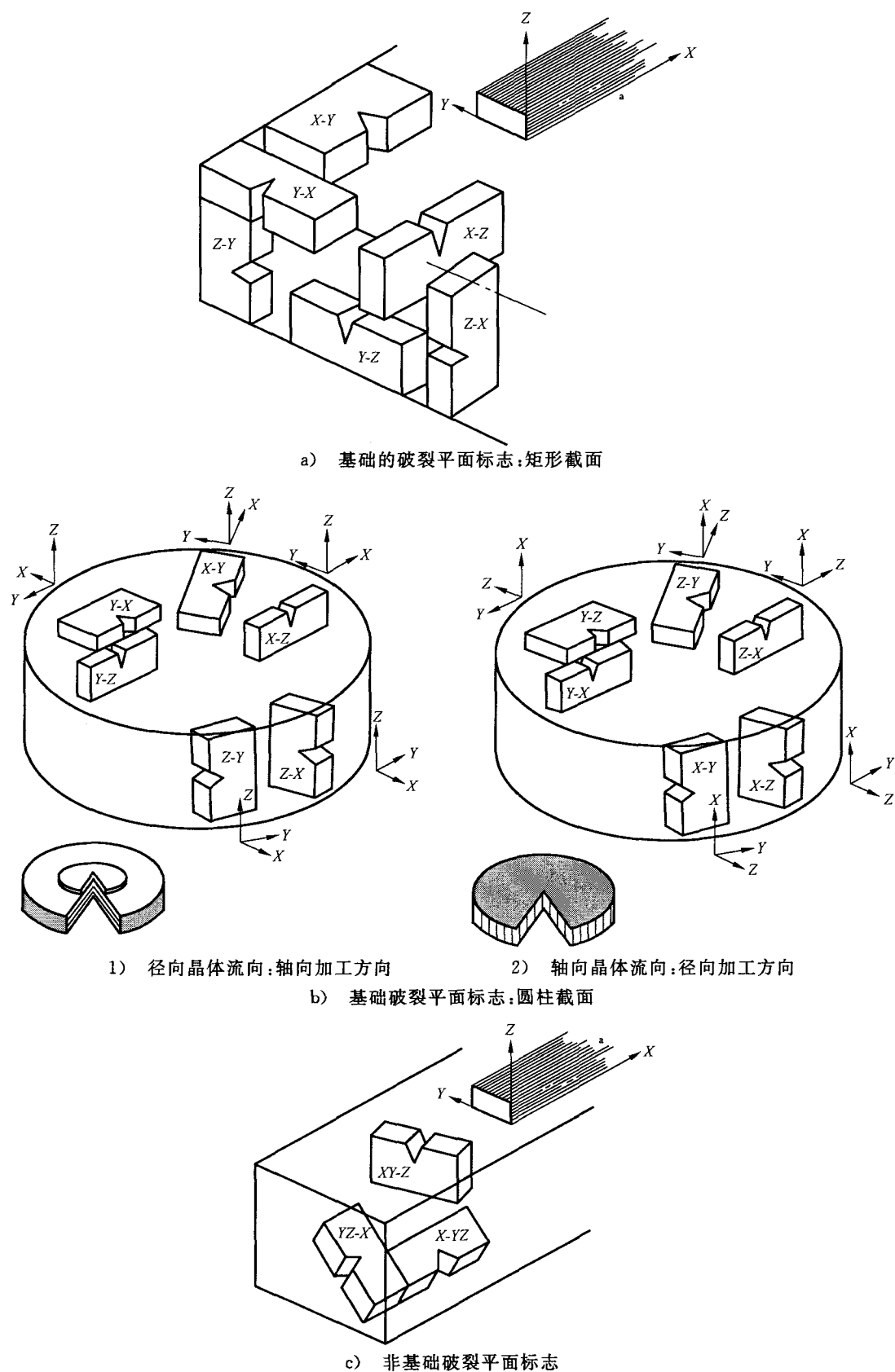


图 15 破裂平面标志

6.5 为了避免分别由切口和裂纹产生的应力场的互相作用,裂纹应限制在图 16 所示弯曲和拉伸试样的包络线内,例如对于有效的弯曲或拉伸试样,如果包络线的顶点位于疲劳裂纹的尖端,整个机械切口应位于图 16c)中的包络线内。

6.6 为了确保应力强度分析的有效性,应该检查试样两个侧面上疲劳裂纹,以保证疲劳裂纹面不得偏离切口平面 10° 以上,长度差值不得超过 $5\%W$ 。

6.7 在 GB/T 20120.2 中有关于疲劳预制裂纹方法的更多的指导。

7 试验步骤

7.1 总则

试验之前测定试样厚度 B 和宽度 W 或 $[(W-a)$ 无影响试样]半高 H ,精确到 $0.1\%W$ (或 H) 以内,测量线离裂纹平面不能大于 $10\%W$ (或 H)。还要测定试样两侧面上疲劳预裂纹的平均长度。并用该值估计产生期望的初始应力强度 K_I 所需载荷(参见 GB/T 15970.1)。

7.2 环境因素

7.2.1 因为金属-环境交互作用的特殊性,有必要在严格控制的环境条件下进行应力腐蚀裂纹扩展试验(见 7.2.3 和 7.2.4)。

7.2.2 试验所采用的环境条件取决于试验目的。但是理想情况下应该与合金使用的实际环境条件相同或相近。

7.2.3 重要的环境因素有电极电位、温度、溶液组分、pH、溶解气体的浓度、流速和压力。GB/T 15970.1 给出了有用的背景信息。与气体有关的环境中,一个关键的因素是气体的纯度。

7.2.4 试验可在开路条件下进行,在此条件中金属的电极电位依赖于特定的试验环境条件,其中充气程度是一个重要因素。替代之一,可用恒电位仪或静电计方法测的开路值代替电极电位。

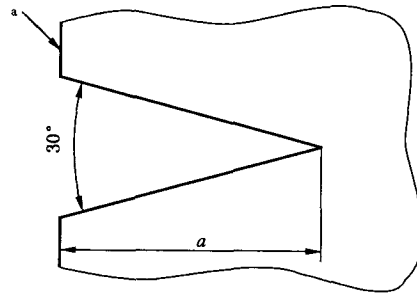
7.2.5 施加外电流的辅助电极应设计成在试样上产生均匀的电流分布,即恒定的电极电位。

7.2.6 实际操作时,建议试样与试验环境接触后再加载。否则,试样在加载后应尽快地暴露到试验环境中。

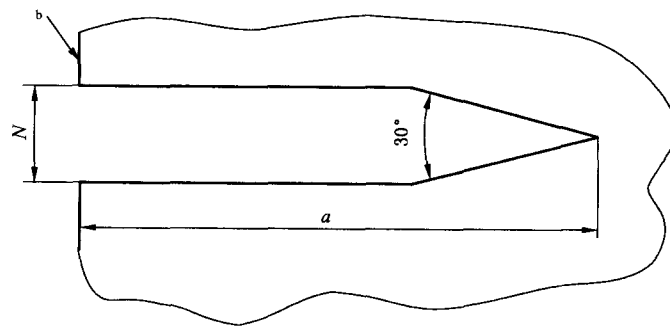
7.3 环境试验箱

7.3.1 环境试验箱应能完全封闭试样的试验部位。夹持部位尽可能避免与溶液环境接触,防止电池效应和缝隙腐蚀。这些问题可通过使用图 17 所示的局部的环境槽解决,环境在缺口、预裂纹和预期的试样裂纹扩展区域循环。在试样从试验槽的伸出处也可发生缝隙问题,可通过合适的槽设计或在这样位置使用防护涂层解决。如果期望完全浸没在腐蚀剂中,加载点应进行腐蚀防护。如果这不可行,可采用合适的措施,如相似的金属、电绝缘或涂层。

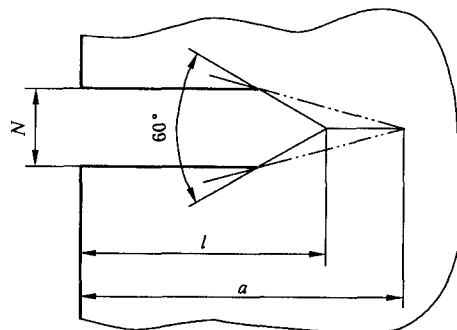
7.3.2 要求足够的溶面比(依赖于反应速率和暴露时间)和必要的循环系统。对于施加电位或施加电流的条件,为了限制电极反应产物产生的任何效应,电极间设置分离隔板。在考虑应力腐蚀破裂机制时,应当注意随裂纹长度增加,在应力腐蚀裂纹尖端的恒电位控制可遭受更大的变化。



a) 弯曲试验段



b) 拉伸试验段



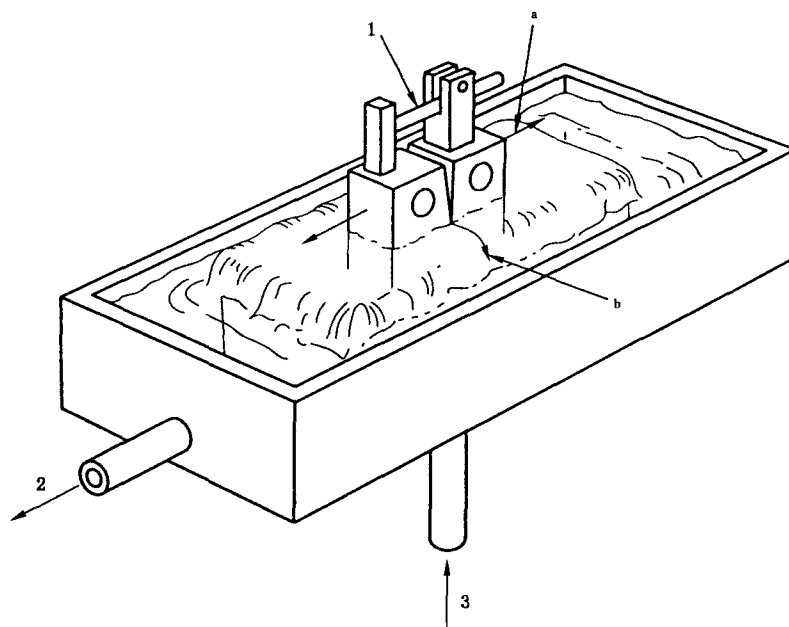
c) 弯曲或拉伸试验段

- ^a 试验段边缘。
^b 试验段加载线。

图 16 切口和疲劳裂纹的包络线极限尺寸和形式

7.3.3 推荐环境试验箱和循环系统使用非金属材料,这些材料应为惰性。注意玻璃和某些塑料在高温时不是惰性,在有必要使用金属试验箱时,为防止电池效应,应与试样电绝缘。

7.3.4 对于气体环境试验,应首选全金属试验箱。



- 1——位移转换器;
- 2——溶液出口;
- 3——溶液进口。
- a 载荷。
- b 溶液流。

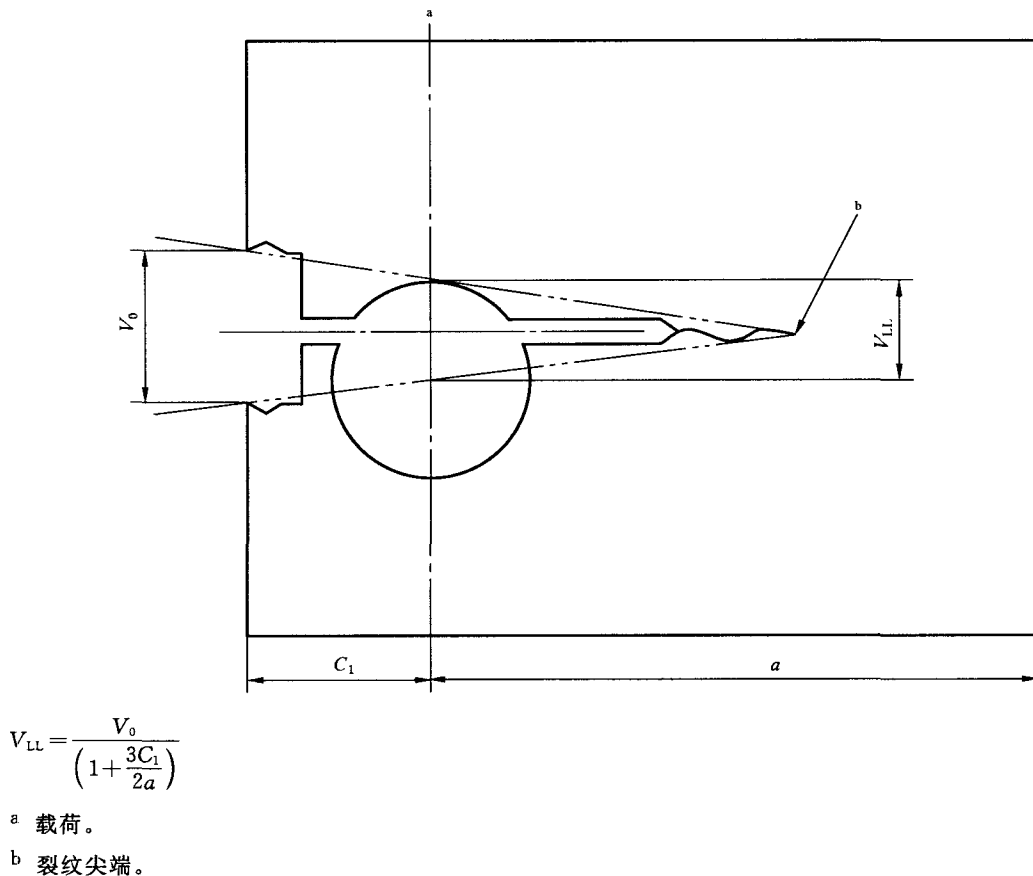
图 17 研究断裂机制试样的典型环境槽布局

7.4 环境控制和监测

7.4.1 在试验期间,要求对试验环境进行监控和控制。在非缓冲体系中,用自动 pH 值控制系统维持 pH 值恒定。否则,应评价 pH 值的变化对裂纹成长的影响。

7.4.2 在对大气开放体系中,可通过向溶液中空气鼓泡维持充气。在封闭系统中,要求监控。因为流动能影响电极电位,如影响氧的流通和裂纹里与溶液之间的物质传输,试验使用的流速应模拟实际使用的条件。在后一种情况中,相对裂纹的流动方向可能是重要的。应考虑对裂纹侧面密封以限制人为的沿厚度方向的传输,但也许引进局部缝隙问题。

7.4.3 强烈建议使用合适的参比电极测量电极电位。在测量电位时,应注意限制 IR 降。溶液温度应控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内。

图 18 V_0 和 V_{LL} 之间的关系和测量位置

7.5 用裂纹终止法测定 K_{Isc}

7.5.1 用裂纹终止法测定 K_{Isc} ，可使用恒位移试样。原则上单个试样就可以解决问题，但为了减少产生错误结果的可能性，仍建议使用多个试样。

7.5.2 用裂纹终止法测定 K_{Isc} 时，应将预裂纹试样固定在卡具上，并尽可能将试验介质加到切口根部区域。

7.5.3 旋转螺栓使试样臂挠曲达到预先给定 K_{Ii} 值，此值要高于预计的 K_{Isc} 值，必须避免过高的挠度。加载线上的挠度 V_{LL} 与通过切口边缘上的引伸计测得的挠度 V_0 。按图 18 说明方法换算。为了使由于弱信号过度放大造成的误差降到最小，引伸计的灵敏度应不小于 20 mV/mm。引伸计应有好的线性度，当位移 0.5 mm 时，与真值偏差不能大于 0.003 mm，而对于更大的位移，偏差不大于记录值的 1%。在进行载荷/位移校正后，对试样加载直至加载水平，不能超过应力腐蚀试验的预期值。

对于 $(W-a)$ 无影响的 DCB 试样，为了给出某一应力强度 K_{Ii} 所需要的挠度，在给定的 a/H 值下，能够从图 10 所示的 K_I 和 V_{LL} 之间的关系计算出来。

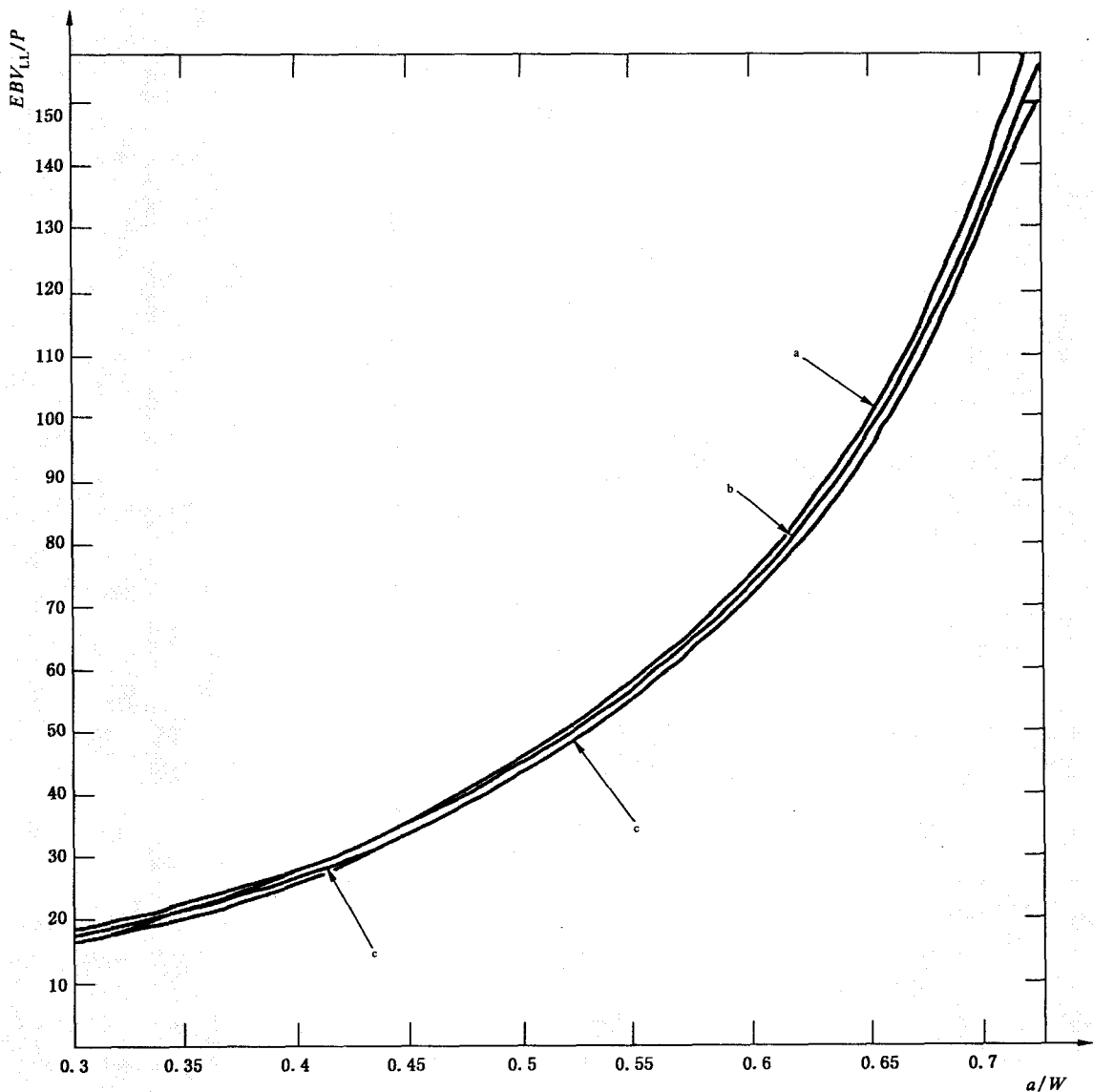
对于受 $(W-a)$ 支配的改进 WOL 试样，需要专门的柔度定标知识，以采用图 11 给出的关系来计算在特定的裂纹长度比 a/W 下，产生给定应力强度值所需的挠度。光滑的和侧面开槽的改进 WOL 试样的典型柔度定标曲线如图 19 所示。加载之后应去掉引伸计。

7.5.4 一旦试样与介质接触，就开始监测裂纹长度随时间的变化关系，可以采用光学法直接测定或背面应变法间接测定。当发生裂纹扩展时，应力强度因子下降。裂纹长度随时间变化曲线的斜率决定裂纹扩展速率。后者通常是对裂纹长度随时间变化曲线进行图解微分来测得的。裂纹可以最后终止，终止后的 K_I 值即为 K_{Isc} 。然而，通常裂纹以一种极低的速率扩展，而 K_{Isc} 却是按照一个任意选择的裂纹扩展速率测定的。最恰当的终止扩展速率值取决于具体考虑的金属与环境体系，并且相关双方之间的意见必须一致。对于高强度合金，速率约为 10^{-7} mm/s。但是实际经验表明，应力腐蚀裂纹能够在速率低于 10^{-9} mm/s 的速度下扩展。如果 K_{Isc} 值能近似知道，那么可以通过使 K_{Ii} 值接近 K_{Isc} 值的

办法来大大缩短裂纹终止时间。

7.5.5 当认为裂纹已经停止扩展时,测定裂纹长度并计算应力强度,得到一个暂定的 $K_{I\text{SCC}}$ ($K_{Q\text{SCC}}$) 值。这个值可以通过更换引伸计和记录的挠度确定。然后将试样卸载并接着在拉伸试验机上重新加载,测定相应的载荷,最后将试样断开并测定最终应力腐蚀裂纹长度的最大值和最小值,测量误差不大于 $0.5\%W$ 。也以同样精度从一边 $0.25B$ 、 $0.50B$ 和 $0.75B$ 三个位置上进行测定应力腐蚀裂纹的最终长度。后三个测定值的平均值作为计算 $K_{I\text{SCC}}$ 的有效裂纹长度。当 $K_{Q\text{SCC}} = K_{I\text{SCC}}$ 时试验是有效的,如遇到下面的情况,则认为试验无效:

- a) 这三个测定值中的任意两个之间的差超过 $2.5\%W$;
- b) 最大和最小裂纹长度相差大于 $5\%W$;
- c) 裂纹面的任一部分所处的平面偏离切口平面大于 10° ;
- d) 因子 $2.5\left(\frac{K_{I\text{SCC}}}{R_{p0.2}}\right)^2$ 大于试样的厚度和/或裂纹长度。



- a 光滑理论值。
- b 5%面缺口的经验值。
- c 光滑经验值。

图 19 楔形张开加载试样在中心加载线上的柔度比较

7.6 用裂纹初始法测定 K_{Isc}

7.6.1 恒载荷或恒位移试样都可以采用初始法测定 K_{Isc} 。

7.6.2 用裂纹初始法测定 K_{Isc} 值时,需要一组试样。以下 a) 和 b) 所述的两种方法都可以采用:

- 在时间紧迫而试样和试验设备较多的情况下,最合适的方法是同时暴露一组加载到不同 K_{Ii} 值的试样,预计的 K_{Isc} 值应处在这个 K_{Ii} 范围以内。
- 在时间允许的情况下,用折半查找法测定 K_{Isc} 值,该方法不仅准确度高,而且对试样和设备的利用都较经济。这要求先用一个试样,按推荐的方法测定材料的断裂韧性 K_{Ic} (如果无效,则为 K_Q),该 K_{Ic} 值成为 K_{Isc} 的上限。然后在 K_{Ic} 一半的初始应力强度下进行应力腐蚀试验,随后的试验依次按照如 GB/T 15970.1 中的表所示的不同 K_{Ic} 分数加载,具体加载量,应视原先试验中试样是否产生裂纹扩展而定。

7.6.3 使用恒位移试样时,施加的挠度应同 7.5.2 和 7.5.3 一致。对于恒载荷试样,为了产生某一应力强度所需的载荷,可以按图 12 和图 13 给出的关系式进行计算。加载用的试验机应具有 $\pm 1\%$ 的加载精度,并且试样暴露到试验环境中后,加载装置应能平稳地加载。

7.6.4 施加所需的载荷或位移后,立即开始计时。为了初步测定应力腐蚀临界值 K_{Isc} ,可任意选择试验持续时间。试验持续时间的长短取决于所研究的材料和环境,并且要得到相关双方的同意。但是对于初步试验,钛合金的试验时间一般定为 10 h 的倍数,超高强度低合金钢为 100 h 的倍数,较低强度钢为 1 000 h 的倍数。马氏体类型的高合金钢和铝合金的终止时间可以适当缩到最短。

7.6.5 在试验期间,裂纹长度可用光学方法定期监测或通过电阻法、背面应变法或位移引伸法进行连续监测。至于用哪一种监测方法,要根据实验的具体情况决定。这些方法可以方便地测出裂纹的萌生,并能够测定裂纹扩展速率随应力强度变化的函数关系。

7.6.6 试验完成后,检查试样是否有失效迹象。如果是完整的,则将试样拆下并测定疲劳预裂纹长度的最大和最小值,测量精度尽可能接近到 $0.5\%W$ 。也在两边和在一边的 $0.25B$ 、 $0.5B$ 和 $0.75B$ 三个位置测定疲劳预裂纹长度。后五个测定值的平均值作为计算 K_{Qsc} 的有效起始裂纹长度 a_0 。当 $K_{Qsc} = K_{Isc}$ 时试验是有效的,下述情况试验无效:

- 后三个测定值中的任意两个之间的差超过 $2.5\%W$;
- 最大和最小裂纹长度之间的差超过 $5\%W$;
- 疲劳裂纹面的任一部分所处的平面偏离切口平面超过 10° ;
- 疲劳裂纹不在一个平面上,即存在多核效应;
- 因子 $2.5\left(\frac{K_{Isc}}{R_{p0.2}}\right)^2$ 大于试样的厚度和/或裂纹长度;
- 疲劳裂纹长度测不准。

事实表明,当 K_{Ii} 大于 K_{Isc} 时,会产生应力腐蚀裂纹扩展。所以在所完成的一组试验中, K_{Isc} 是不发生应力腐蚀裂纹扩展的最高 K_{Ii} 值。

注:用裂纹终止法计算 K_{Qsc} 时规定使用不包括裂纹边缘的三点平均值(见 7.5.5),这是因为应力强度因子由裂纹最深部位决定,在恒位移下的应力腐蚀破裂成长一般在试样的中部。

7.6.7 应力腐蚀破裂是一个依赖时间的过程,因此 K_{Isc} 不是绝对的材料属性,但依赖于试验时间(同样依赖于环境和试验方法)。如果时间允许,最初的 K_{Isc} 值的可靠性可以通过进一步的应力腐蚀试验来核实,此试验的应力强度需等于最初的 K_{Isc} 值,而试验时间却要增加一个数量级。通常如果该试验显示出裂纹扩展,则需进一步试验。此外,关于 K_{Isc} 的时间相关性,也可通过绘制试样的断裂时间曲线图得到。该图表明,破断产生在与 K_{Ii} 成函数关系的暴露时间内,从而证实是否存在如图 20 所示的渐近于 K_{Isc} 值的曲线。

7.7 裂纹扩展速率的测定

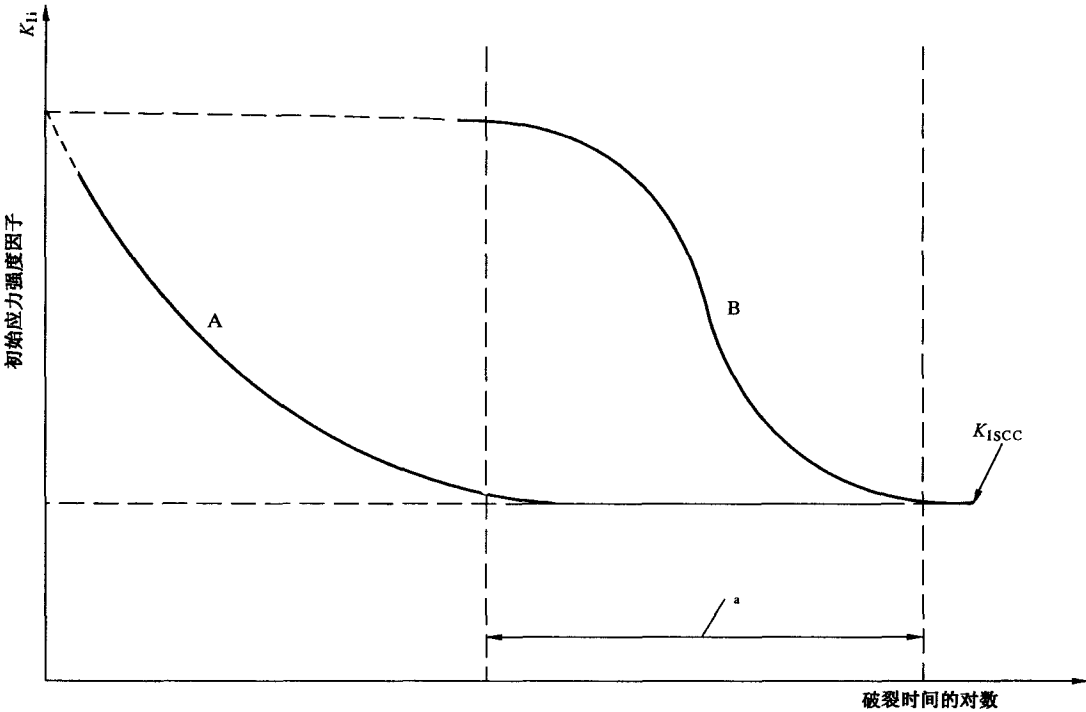
7.7.1 7.5 和 7.6 用于确定 K_{Isc} 值的试验也可用于确定环境裂纹扩展速率,即可作为平均数据也可

作为附录 B 给出的应力强度因子 K 的函数。为了确定这些数据,试样应被断裂,并用显微镜检查断裂表面。

7.7.2 应测量最终裂纹前端,测量精度近可能在 $0.5\%W$ 内,在两边和 $0.25B$ 、 $0.50B$ 和 $0.75B$ 处。这 5 点测量的平均值作为有效的最终裂纹长度 a_f 。

注: 5 点平均值与裂纹速率测量有关,因为基于电阻的在线裂纹长度测量方法受试样边缘的未分离带的强烈影响。

7.7.3 平均裂纹速率 $\Delta a/\Delta t$,可通过最终和起始裂纹长度的差($a_f - a_0$)除以裂纹起始和试验终止的所用时间获得。



^a 试验终止的任意时间。

图 20 用破裂时间试验方法得到的应力腐蚀数据图示

8 试验报告

试验报告应包含以下信息:

- a) 详细描述试验材料,包括化学成分,组织状态以及力学性能,产品类型和截面厚度;
- b) 监控位置、起始溶液组分、pH、充气程度(或其他相关气体浓度)、流动状况、温度和电极电位;根据再循环速率确定近似流经试样的线速度说明流速;
- c) 对于每个试样:
 - 1) 试样类型和加载方式;
 - 2) 厚度 B (如果有侧面槽则为 B_n), mm;
 - 3) 宽度 W , mm;
 - 4) 半高[仅用于 $(W-a)$ 无影响试样] H , mm;
 - 5) 疲劳预裂纹
 - i) 裂纹扩展终止段的 K_{max} 值;
 - ii) 疲劳载荷比 R ;
 - iii) 预制裂纹过程中的温度和环境。
 - 6) 疲劳预裂纹的长度 a ;

- 7) 初始应力强度 K_{Ii} ;
 - 8) 暴露到介质中的起始时间和开始加载时间以及总的暴露时间;
 - 9) 裂纹是否扩展(对于恒位移试样为裂纹终止);
 - 10) 是否产生断裂,如果产生,记下破断时间;
 - 11) 裂纹平面和扩展方向,按图 15 所示的标记表示。
- d) K_{Ic} 值(如果不满足有效判据,则为 K_Q);
 - e) K_{Isc} 值(如果不满足有效判据,则是 K_{Qsc}),要注明 K_{Isc} 是用裂纹初始法还是终止法得到的,以及所用的判据(分别为试验时间或终止扩展速率);
 - f) 能得到的裂纹扩展数据(平均值或作为应力强度的函数)。

附录 A

(规范性附录)

应力腐蚀试验中切口试样的采用

A.1 范围

A.1.1 断裂力学试样可以在不带疲劳预裂纹的钝切口条件下进行试验,这样的试验只是在要求评价构件或部件的钝切口上能产生环境诱导开裂条件的情况下进行。

A.1.2 钝切口试样可用在 1.2 和 1.3 所述的基本几何尺寸和加载方法。

A.2 符号

除了第 3 章中定义预裂纹试样所用符号外,还使用以下符号:

L :从切口根部到切口外边或到加载点轴的距离,具体取决于试样几何形状;

σ_n :名义应力;

σ_{me} :用弹性力学计算的最大切口应力;

σ_{mk} :用断裂力学方法计算的最大切口应力;

ϵ_{Th} :切口表面应变的临界值。超过此值,在特定试验条件下将萌生和扩展环境诱导开裂;

σ_{Th} :切口应力的临界值。超过此值,在特定试验条件下将萌生和扩展环境诱导开裂;

r :切口根部半径;

K_t :理论弹性应力集中因子;

K_I' :按切口深度和施加载荷计算的表观裂纹尖端应力强度因子;

M :弯矩;

μ :泊松比。

A.3 原理

A.3.1 试验涉及到带有机机械切口的试样,暴露到化学腐蚀性环境时,在施力点受到恒载荷、恒位移或是一种单调增加的载荷。其目的是从通过弹性力学计算的最大切口应力 σ_{me} ,计算界限表面应变 ϵ_{Th} ,并且来定量表示能产生环境加速裂纹扩展的条件。

A.3.2 如果在钝切口试样上用弹性力学计算的最大应力得到的最大应变值,与在研究的结构件及部件上的最大应变间的相互关系经检验是有效的,则可用经验数据来保证构件内的应力不会引起环境诱导开裂。

A.4 试样

A.4.1 总则

其他与第 5 章所述的预裂纹试样相似的钝切口试样,除了没有疲劳裂纹外,都可使用。

A.4.2 试样设计

与预裂纹试样相似,试样尺寸应足以维持切口根部以平面应变状态为主,因为在此状态下,切口根部的塑性区受到约束,其总的切口应变,即弹性加塑性应变,将是某种特定材料的弹性计算最大切口应力的唯一函数。应该规定塑性区尺寸和切口根部半径比切口深度要小。因此推荐:

- a) 切口深度 L 和厚度 B 不小于 $2.5 \left(\frac{K_I'}{R_{p0.2}} \right)^2$, 其中 K_I' 是根据所加载荷和切口深度计算的表观应力强度;

b) 切口根部半径 r , 应满足比值 $r/(W-L)$ 不超过 0.2。

A.4.3 应力

A.4.3.1 最大的切口应力能够用弹性力学方法由名义应力 σ_n 和弹性应力集中因子 K_t 的乘积计算。

A.4.3.2 弹性应力集中因子 K_t 能够用弹性有限元分析方法按照公布的表计算或用关系式 $K_t = \sigma_{mk} / \sigma_n$ 来计算。公式中的 $\sigma_{mk} = 2K_I' / \sqrt{\pi r}$ 。应该指出, 后一种方法的准确度随切口半径的增加而减小。

A.4.3.3 名义应力 σ_n , 取决于试样的几何形状。对于弯曲试样见公式(A.1):

$$\sigma_n = 6M/(W-L)B \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

公式中的 M 是弯矩。

对于紧凑拉伸试样见公式(A.2):

$$\sigma_n = \left[\frac{P}{(W-L)B} \right] \left[\frac{3(W+L)}{W-L} + 1 \right] \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

A.4.4 试样制备

A.4.4.1 在热处理后, 采用类似于有关部件制造的机加工条件, 加工试样切口。

A.4.4.2 鉴于缺口试样产生裂纹所需的载荷比预裂纹试样大, 因此需要使用稍大的切口深度约 $0.6L/W$ 。

A.4.4.3 在试验之前彻底除油。

A.5 程序

A.5.1 界限表面应力 σ_{Th} , 大于此值, 材料对环境诱导开裂敏感, 可用恒位移或者恒载荷试样按 7.6 条提出的裂纹初始法, 测定 $K_{I SCC}$ 的分析方法进行测定。

A.5.2 相应的界限表面应变值 ϵ_{Th} , 大于此值, 材料对于环境诱导开裂敏感, 可用公式(A.3)进行计算:

$$\epsilon_{Th} = (1 - \mu^2) \sigma_{Th} / E \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

A.6 试验报告

除列于第 8 章的有关数据外, 每个试样都要记录以下内容:

- a) 切口半径 r ;
- b) 切口深度 l ;
- c) 切口的加工方法和所用的加工参数(因为这些可以影响切口的表面状态, 从而影响产生环境诱导开裂所要求的条件)。

附录 B

(规范性附录)

裂纹扩展速率的确定

裂纹扩展速率 da/dt , 是由裂纹长度与所用时间 (a/t) 比值计算得到。如果数据有干扰或有假象, 建议在计算裂纹扩展速率前, 建立 a 与 t 的多项式拟合曲线, 否则在裂纹扩展中可发生明显的波动。应注意确保由拟合方法获得 a 与 t 的清楚的真实波动。

一个推荐方法是在 GB/T 15970.2 中描述的疲劳裂纹扩展速率 (da/dN) 的递增多项式方法。这种方法涉及到拟合一个二次多项式 (抛物线), 设定 $(2n+1)$ 个连续数据点, 此处 n 通常为 1、2、3 或 4。

局部拟合公式 (B.1) 如下:

$$\hat{a} = b_0 + b_1 \frac{T_i - C_1}{C_2} + b_2 \left(\frac{T_i - C_1}{C_2} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$-1 \leq (T_i - C_1)/C_2 \leq +1$;

T_i ——试验时间;

b_0 、 b_1 和 b_2 是回归参数, 用在 $a_{i-n} \leq a \leq a_{i+n}$ 范围的最小二乘法确定;

\hat{a}_i ——裂纹长度在 T_i 的拟合值。

参数 $C_1 = 0.5 \times (T_{i-n} + T_{i+n})$ 和 $C_2 = 0.5 \times (T_{i+n} - T_{i-n})$ 用于定标输入数据。从上面抛物线导出在 T_i 的裂纹成长速率。由公式 (B.2) 给出:

$$(da/dt)\hat{a}_i = \frac{b_1}{C_2} + 2b_2 \frac{T_i - C_1}{C_2^2} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

与 da/dt 有关的 K_I 使用相应于 T_i 的拟合裂纹长度 \hat{a}_i 计算。

