



1997-3-15

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 15970.1—1995  
idt ISO 7539—1:1987

## 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第1部分：试验方法总则

Corrosion of metals and alloys—Stress  
corrosion testing—Part 1: General guidance on testing procedures



1995-12-25 发布

2004年5月20日

1996-06-01 实施

国家技术监督局 发布

## 前 言

本标准等同采用国际标准 ISO 7539-1:1987《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 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:(GB/T 15970.1—1995)试验方法总则

第2部分:弯梁试样的制备和应用

第3部分:(GB/T 15970.3—1995)U型弯曲试样的制备和应用

第4部分:单轴加载拉伸试样的制备和应用

第5部分:C型环试样的制备和应用

第6部分:预裂纹试样的制备和应用

第7部分:慢应变速率试验

第8部分:焊接试样的制备和应用

第2、4、5、6、7、8部分标准将陆续制定。

本标准由全国钢标准化技术委员会提出。

本标准由冶金部信息标准研究院归口。

本标准由冶金部钢铁研究总院负责起草。

本标准主要起草人张宣。

## ISO 前 言

ISO(国际标准化组织)是各国标准机构(ISO 成员团体)的世界性联合组织。国际标准的制订工作通过 ISO 技术委员会正规地进行。对某课题感兴趣的每个成员团体均有权参加为该课题建立的技术委员会。与 ISO 协作的国际组织、政府和非政府机构也可参加工作。

由技术委员会采用的国际标准草案经成员团体传阅赞成后,由 ISO 委员会采纳为国际标准。按照 ISO 的程序,草案至少需要 75% 的成员团体投赞成票方能通过。

国际标准 ISO 7539—1 由 ISO/TC 156“金属和合金的腐蚀”技术委员会制订。

使用者应注意,所有国际标准经常在进行修订,在此,对其他国际标准所做的任何引用,除非另有说明,均指最新版本。

# 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1部分：试验方法总则

GB/T 15970.1—1995  
idt ISO 7539—1:1987

Corrosion of metals and alloys—Stress  
corrosion testing—Part 1:  
General guidance on testing procedures

#### 0 引言

GB/T 15970 的本部分给出了各种试验方法的选择、使用和含义解释的一般指导原则。这些试验方法是为评定金属和合金的耐应力腐蚀性能而制定的，在以下的一系列附加部分中进行叙述：

第2部分：弯梁试样的制备和应用

第3部分：U型弯曲试样的制备和应用

第4部分：单轴加载拉伸试样的制备和应用

第5部分：C型环试样的制备和应用

第6部分：预裂纹试样的制备和应用

第7部分：慢应变速率试验

#### 1 范围和应用领域

当设计和进行评定金属应力腐蚀敏感性的试验时，GB/T 15970.1—1995 的本部分叙述了一般应考虑的事项。

注：试验的特定方法在本文件中没有涉及细节。这些方法在 GB/T 15970 的其他部分中进行叙述。

#### 2 定义

2.1 应力腐蚀 由腐蚀环境和静态拉应力的同时作用而引起的金属浸蚀，常导致裂纹的形成，引起金属结构承载性能明显下降。

注：见应力腐蚀破裂(3.1)。

2.2 临界应力(对应力腐蚀而言)在特定的试验条件下，高于此应力，应力腐蚀裂纹萌生和扩展。

2.3 临界应力强度因子(对应力腐蚀而言)：在塑性变形高度抑制，即平面应变占优势的条件下使应力腐蚀裂纹萌生的最低应力强度因子。

2.4 试验环境：供试样暴露的环境，既可以是使用环境，也可以是实验室制备的环境，它可保持恒定或以商定的方式变化。在应力腐蚀情况下，环境常常是特定的(见第6章)。

2.5 试验的起始：施加应力或试样暴露到试验环境的时刻，不论两者的施加顺序，以后者为准。

2.6 裂纹起导时间 从试验起始到用某种手段检查到一条裂纹的时间。

2.7 破坏时间 试验起始到破坏所消耗的时间。破坏的判据是裂纹的首先出现或试样整体分离或某个商定的中间条件。

2.8 慢应变速率试验 通常以  $10^{-1} \sim 10^{-7} \text{S}^{-1}$  的应变速率进行试样的可控拉伸或弯曲的试验。其应变既可连续也可阶梯式增加,但不是周期性的。

2.9 平均裂纹扩展速率:应力腐蚀产生的最大裂纹深度和试验时间之商。

2.10 取向 相对于产品(用于制备试样)的某特定方向(即板材的轧制方向)给试样施加拉伸应力的方向。

### 3 基本情况

3.1 根据应力腐蚀的定义(2.1)显然应力腐蚀破裂是应力腐蚀的一个特殊情况,在某些环境浸蚀中可能不导致裂纹的形成。虽然一般认为裂纹是通常的结果,但也承认应力加速的其他表现形式如晶间腐蚀或延伸的裂纹。尽管存在这些差别,但对涉及试验方法的本文件目的而言,术语“应力腐蚀”和“应力腐蚀破裂”象在通常腐蚀文献中那样能看作是同义的。就本标准而言,除了液体金属的脆化和剥落腐蚀之外,由腐蚀环境和拉伸应力同时作用而产生的所有现象包括金属的溶解或进入金属的氢的作用均属本标准范畴。

注:由损伤引起的局部溶解和由氢引起的那些现象应该区分。这两种类型的现象可以迭加但不能与直接起因于故意充氢而发生的现象相混淆。

3.2 供评定金属应力腐蚀性能使用的方法是多样的。在某些情况下,每一种方法具有各自的特殊优点。

3.3 重要的是要了解“试验”一词在应力腐蚀或其敏感性方面具有特别的意义。在给定情况下,应力腐蚀过程是否发生,取决于暴露条件和材料的性能。应力腐蚀“敏感性”一词并不表示一般应用范围中的材料性能或质量,因为给定的一套合金的优劣次序可以随着暴露条件而改变。

3.4 为了理想地确定在给定应用中是否发生应力腐蚀,有必要在所有可能的现役暴露条件下进行模拟试验。实际上这是困难的,即使可能也很少达到。根据经验曾找到许多“标准试验”它们能对给定特殊应用中可能的现役行为给予合理指导。然而这些实验室“标准试验”仅适合于那些有着经验关系的使用条件。过去对另一合金有用的一个试验,现在某一给定合金通过或没有通过该试验,这一结果可以是有意或或许是没有意义。如果暴露条件不同,能正确区分给定合金之间行为的某一试验未必提供可靠的指导。使用超越经验的标准试验需要有充分的依据。

3.5 在下列条款中应特别注意:应力腐蚀过程可能对暴露或试验条件的很小变化十分敏感。材料用户担负着应力腐蚀试验条件的选择。也应注意本国际标准叙述的某些试验并不表示对任何给定情况下,它们是最合适的试验。在标准中叙述这些试验的正当理由是它们使用广泛且对特殊的或普通的设备-环境体系行之有效。然而负责解释试验结果的权利属材料用户,且其解释权决不会因本标准的存在而削弱。

3.6 除了本国际标准特殊部份涉及最广泛的使用方法以外,尚需要一般的文件,以包括试验细节的选择和结果的解释。在制定本部分中,采用了该主题适当更新的早期观点。

### 4 试验方法的选择

4.1 在做应力腐蚀试验计划前,必须决定哪一类型的试验是合适的。这样的决定主要地取决于试验目的和所需的信息。某些试验对工厂工程师很有价值并试图尽可能重复现役条件,另一些试验可设计用来进行破断机理的研究。在前者中,例如受材料、空间、时间等限制,可采用较简单的试验步骤,相反,在别的情况下,则可能必需采用较复杂的试验步骤。这样,裂纹扩展速度的研究可使用预裂纹试样,而当考虑如表面粗糙度影响时,预裂纹试样可能是不合适的。虽然许多复杂技术是有效的,但当更精细的技术不能使用时,采用简单试验,在某些情况下证明有很大价值。

4.2 当选择通过或不通过型的试验方法时,重要的是要认识到本方法不应太苛刻,否则导致原适用于特定使用条件的材料被宣告不能用;也不应太宽容,否则在可能发生快速破坏的场合却允许了该材料的使用。

4.3 应力腐蚀试验目的常常是提供比现役条件更快的获得信息,但同时又能预示现役行为。达到目的

的最普通的手段之中有使用较高应力、慢的连续变形、预裂纹试样、比现役环境含更高浓度化学物质的试验环境、增加温度和电化学加速等。然而重要的是要控制这些方法,使其破坏机理的细节不致改变。

4.4 如果重现精确的现役条件太困难的话,则分析应力腐蚀过程,尽可能确定不同阶段起作用的主要因素将十分有用。然而,所选的应力腐蚀试验可能仅包含腐蚀机理的一个步骤。

## 5 加载系统

### 5.1 一般事项

不管试样最初是光滑的、缺口的或预裂纹的,其加载方法能方便地分成下列3种情况:

- a) 恒定总应变(见 5.2);
- b) 恒负荷(见 5.3);
- c) 使用慢应变速率(见 5.4)。

当采用预裂纹试样时,临界条件以应力强度值  $K_{ISCC}$  确定,试验也可以在恒应变强度条件下进行。了解不同方法的局限性与加载方法的选择同样重要。

### 5.2 恒定总应变试验

5.2.1 因各种形式的弯曲试验属于此范畴,故这些弯曲试验构成了一组最普及型的试验,进而,它们可模拟与现役失效有关的制造应力。

5.2.2 薄板常用弯曲法进行试验,板材采用拉伸或以 C 环形式进行试验。管产品和其他圆截面半成品也可用后者进行试验。

5.2.3 弯曲试验的优点为使用简单,试样和试样固定夹具加工廉价。如果真要达到任何定量的测试,这些试验方法存在的问题常常与应力水平的重复性较差有关,改进这种情况,曾导致了更加复杂类型的弯曲试验即 4 支点代替 3 支点加载试验,但特别当需要超过弹性限的应变时,通常用来计算应力水平的简单弯曲理论的局限性会导致预期应力的误差。在某些场合,用应变计测量表面应力就十分有用。为产生 U 形弯曲,条状试样的制备会引起显著的塑性变形,从而影响破裂敏感性。

5.2.4 管材以 C 环或 O 环形式进行试验,前者用开口部分的张开或闭合来加力,后者用适当大于孔的塞子使劲插入来受力。C 环试验对厚的产品形式,例如短横切方向上的铝合金也特别适用。

5.2.5 有时恒定总应变拉伸试验优于弯曲试验这样可简化应力的施加和计算。然而,前者需要比类似截面的弯曲试样更厚实的束缚框架。

5.2.6 采用含有由于不均匀变形产生的残余应力的内应力试样,可避免使用束缚框架。内应力试样的残余应力可靠塑性弯曲(即靠在薄板或厚板中产生一凸出部分)或靠焊接来产生,但是这样的试验存在初始应力规则变化的问题,该变化一般在屈服应力区达到最大值。然而在使板材凸出或使管子部分压扁而引入残余应力过程中,弹性的反弹可引起问题。除了试验是模拟实际情况以外,否则焊接将使组织结构发生变化。

5.2.7 有时恒总变形试样起初被安放在一台常规试验机上或类似的装置上加载,然后用束缚框架固定住保持它的应变条件。当试验机加载的负荷除去时,试样依靠框架束缚来保持应力,并假定束缚由试验机转移到框架上时试样的应变保持恒定。这就意味着试验机与框架有着相似的刚度。只有在框架比试样厚实的条件下,上述情况才能实现。

5.2.8 即使暂且不考虑初始应力水平引起的任何作用,受力框架的刚性也可影响试样的破断时间。这样,在大多数恒定总应变试验和特别在延性材料的上述试验中,当裂纹扩展时,试样的初始弹性应变部分地转换成塑性应变。

5.2.9 一旦负荷开始松弛,试样之间其松弛进展程度可以不同,根据扩展中裂纹的总数目,不同的松弛程度可影响破断时间,具有许多裂纹或点的试样能观察到明显的负荷松弛,而当只有几条裂纹存在时,仅观察到小的负荷松弛。如果仅一条裂纹扩展时,由于外加负荷保持在高值,故在最后突然破坏发生之前,裂纹不需扩展到大的尺寸;相反,许多应力腐蚀裂纹的存在使负荷明显松弛这一事实意味着,裂纹必

须进一步扩展,以使裂纹中的一个变得足够大而产生较小负荷下突然破坏的应力条件。

5.2.10 存在的裂纹数目对试验结果的影响程度,本质上取决于研究的应力腐蚀体系,即取决于如材料的断裂韧性等性能和使用环境的浸蚀性。试验结果也取决于所用束缚夹具的刚性。这样,框架的刚性愈大,试样在 Luders 带扩展后可能保留的弹性应变就愈小。给定初始应力下的破断时间随体系是刚性的还是柔性的而发生变化;在某些场合,裂纹可以停止扩展,以致不会达到破断。

### 5.3 恒负荷试验

5.3.1 这些试验可更严密地模拟由于外加或操作应力引起的应力腐蚀破坏。因为试件的有效截面随裂纹扩展而减小,从而使恒负荷试验过程中有效应力增加,故这样的试验比恒定总应变试验更可能导致早期破坏或完全破坏。

5.3.2 在截面相当大试样上进行静重加载试验时,通常需要承载能力较大的试验机,采用压缩弹簧加载是可取的。此时适当选择弹簧的特性以保证试验过程中所产生的松弛不会显著改变载荷。在拉伸试验机校正中所采用的改进检测环是上述同一类型。从测量校正环的直径变化能够确定加到环内拉伸试样的轴向负荷。

5.3.3 减少加载系统大小的另一手段为减小试样截面,即采用十分细的丝材。然而,除非应力腐蚀断裂由金相证实外,否则太多地减少截面就存在着危险,这是因为在某些应力腐蚀环境中,由于点蚀或其他形式侵蚀使有效应力增加,当达到金属抗张强度时就发生断裂。非常小截面试样的采用可伴随着其他的危险(见 7.2.2)。

5.3.4 在单独的试验机上,恒负荷下,试样的试验费用能借助于在单一试验机上试验一串试样而降低。该操作方法也可减少试验容器的需要量。一串单轴拉伸试样用简单的加载连杆连结,但该手段较好地适用于预计不会破断的场合,因为单一试样的破断会使其余试样失效。一组更为一致的预裂纹试样,用设计成可使试样逐渐卸载连杆连接,当裂纹扩展时,避免对其他试样的干扰,而其他方式则无法避免。在开始选用之前,为保证避免错误,用户必须避免采用试样串的试验方法。

5.3.5 逐渐流行的具有锥形标距长度的拉伸试样的采用可在单一试样上提供一系列初始应力。然而,例如在精确测定临界应力值中,应小心使用该方法。其试验结果可受如存在的裂纹数目,净截面屈服等因素的影响。在“分类”试验中,采用这种试样更合适,“分类”试验后再进行更精确的常规试验。

5.3.6 当裂纹扩展时,恒负荷试验包含有效应力增加的情形,因此,裂纹一旦萌生,与低于临界应力下的恒定总应变试验相比,裂纹停止扩展的可能性更小。这样,在特定体系中,恒负荷条件下测得的临界应力值可能比恒变形条件下测得的数值要低。

### 5.4 慢应变速率试验

5.4.1 最初当作快速分类试验的慢动态应变法开始显示出与实际紧密有关的用途。本质上,本方法是以较慢的应变或变形速率(即  $10^{-6}\text{s}^{-1}$ ),施加于试样,在合适的环境作用下,直到破断发生为止。

5.4.2 应力腐蚀裂纹扩展速度常处在  $10^{-3}\sim 10^{-6}\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这就意味着:普通尺寸的试样在恒总应变或恒负荷实验室试验中几天内将发生破断。如果是一个应力腐蚀破裂容易萌生的体系,则上述情况就应如此,但普通经验也发现:试件在充分延长的试验期中没有破坏,于是,选择某一任意时间去终止试验。这样的结局是结果明显分散,它与重复试验有关,而且如果允许试验继续更长时间,则任意终止试验会产生结果将是什么样的疑问,采用预裂纹试样会促进应力腐蚀破裂的萌生,采用慢动态应变方法显然也将如此。后者的更大优点是试验在某一任意时间后不会终止,结果常是试样的断裂,然后由断裂方式来判别开裂敏感性。这样,在一般使用形式中,慢应变速率法常在大约二天内产生破断,根据其应力腐蚀敏感性,既可以延性断裂也可以是应力腐蚀破裂。在有应力腐蚀敏感性时,试验在较短时间内结束,这是主要优点。

5.4.3 本试验方法的早期应用是提供数据,由此,能比较如合金成份,组织或破裂环境中添加的缓蚀剂等变量的作用,对恒负荷或恒总应力实验室试验中不引起破坏的合金与环境组合体系而言,本试验方法也可促进其应力腐蚀破裂,这样,在某种意义上它成了较苛刻类型的试验,即在实验室中,其他类型受力



的光滑试样没有促进破裂时,它常促进应力腐蚀破断。在这方面,它与预裂纹试样处于类似的范畴。近年来对动态应变试验本质的了解取得了进展,似乎该类型试验比有效快速的分类试验更合适和更有意义。慢应变速率下,试样拉至破断的实验室试验与现役破断的真实性之间存在较少相关性,在这一点上尚有争议。事实上,在恒总应变和恒负荷试验中,裂纹扩展也或多或少发生在慢动态应变条件下,其动态应变程度取决于初始应力值,裂纹萌生时间和支配试样蠕变的不同冶金参数。然而,在某些体系中,上述证据明显增加,可以认为应力腐蚀中应力的作用是引起应变速率,而裂纹起导或扩展的重要力学参数是应变速率而不是应力。在这些场合,象从恒负荷光滑或预裂纹试样试验中获得的临界应力或应力强度因子那样,引起破裂的最小蠕变速率同样是工程设计的一个参数。

5.4.4 慢应变试验的设备是应变速率任选,功率强大能承受所生负荷的一种简单装置。该装置由中等刚性的机架和使横头速率范围在  $10^{-3} \sim 10^{-7} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  之间的一系列减速齿轮的驱动机械组成。

试样采用光滑或预裂纹拉伸试样,但如试样截面大或负荷高时,可采用弯曲试样。

5.4.5 重要的是要认识到:在所有体系中,相同的应变速率不会产生相同的破裂敏感性,而且所选速率必定与研究的特定体系有关。

## 6 环境方面

### 6.1 一般事项

特定合金与环境的组合(如奥氏体不锈钢与氯化物溶液和碳钢与硝酸盐溶液)才能发生应力腐蚀破裂。可是如此组合的体系随时间继续增加,甚至包括高纯水,也观察到材料破裂的实例。而且,应该注意:气相中的物质也可影响应力腐蚀机理,有时气体环境可供试验之用,在这种场合,压力可能是主要的参数。

### 6.2 温度

众所周知温度对化学过程有明显影响,反应速度一般随温度升高而增加。许多腐蚀过程也是如此,而且有许多理由可以认为其温度影响更为复杂。温度增加,反应速度相应增加,保护膜更快形成,使共同的速度减小。此外,随着温度的增加,水溶液中氧溶解度降低,使腐蚀速率也较低。尚可列举其他的例子。在应力腐蚀场合,可能与这样的影响特别有关,如前所述,应力腐蚀在活化和钝化行为相平衡的特定条件下发生。十分清楚,考虑到前述事项,试验温度应严格控制,且应尽可能选择相应于现役预示的温度。虽然如 4.3 条指明的那样,有时增加温度常加速试验进程,显然这样的方法必须小心采用。

### 6.3 溶液组成

6.3.1 虽然在应力腐蚀试验中,环境不可避免地是十分重要的变数之一,但某些溶液变得特别广泛地用于某种类型的合金。不锈钢采用沸腾  $\text{MgCl}_2$  溶液和碳钢采用沸腾硝酸盐溶液就是两个明显的例子。这些溶液有若干理由受到非议,其主要理由之一是他们通常不能再现工厂条件。在不同的环境中,一系列合金相对的破裂敏感性不一定相同,这一点十分重要。

6.3.2 假如小心地制备和使用溶液并考虑到它们的局限性,则在这些普通采用的溶液中所进行的试验能提供有用的结果。虽然在不同实验室中制备相同规格的溶液预料会产生较小的差别,它常常不会影响力学试验的结果,但在某些场合,环境的较小变化能促使破裂敏感性明显改变。不锈钢在通常采用的 42% 沸腾  $\text{MgCl}_2$  试验中可能存在的问题就可作为一个例子。称重制备溶液时由于  $\text{MgCl}_2$  水合物的吸湿性可导致明显的沸点不同,使应力腐蚀的破断时间也显著不同。故溶液的制备宁可采用将水加到水合物中以获取特定的沸点。

6.3.3 与全面腐蚀有关的环境 pH 变化的作用已充分认识到,并做了恰当的研究,而 pH 对应力腐蚀的影响却较明显。环境 pH 在试验过程中的变化与起始 pH 值同样重要。pH 在试验过程中的改变取决于溶液体积、暴露试样的表面积和试验时间。采用较大的溶液体积和较小的金属暴露面积或在试验期间溶液的再补充均可使 pH 变化相对较小,因此其破断时间可能与采用小溶液体积和大暴露面积而不同。确实,如这些量值是分别地足够小和大的话,则在某些体系中就根本不会发生破断。如试验在阳极加速下



进行,特别是辅助电极浸泡在应力腐蚀电解槽中,那么 pH 变化的影响可以加剧。在某些情况下,由于采用电化学加速,溶液的分解可发生到这样的程度,以致于破坏机理明显地与自然腐蚀电位下发生的机理不同。有时采用缓冲溶液能克服这些问题,但它们的采用可改变破裂机理或甚至阻抑其破裂。

6.3.4 在加速破裂的腐蚀反应中,氧起重要作用时,氧浓度的很小变化能发生有影响的作用。这样,某些铝合金在充气溶液中的试验可在几个小时发生破断,但在脱气溶液中,试验延长也不产生破断。如若人为地将氧注入或从溶液中除去则可显示出氧所产生的可能影响。溶液中的氧靠搅拌或喷雾输送使铝合金在受喷雾时的破断时间比受全浸更短。

6.3.5 如前所述,不管合金最终遭受的使用环境如何,有时由普通采用的一种溶液中所获得的试验结果可显示出一系列合金的相对敏感性,如果实验室数据将用来选择或设计有关工业装备,那么从给定环境试验中引出结论并应用于不同场合时,常有出差错的危险,这就表明试验需尽可能地模拟使用条件。

6.3.6 模拟服役环境,重要的是要牢记在缝隙或发生热交换的界面处可产生物质的局部浓缩,而整体环境并不是引起破裂的环境。另一例子是点蚀发展成应力腐蚀的裂纹源。其中在点蚀阶段,常发展成合适的破裂环境。应认识到裂纹尖端的环境与总体环境不同。这一点可应用于预裂纹试样和在光滑试样上扩展的裂纹尖端。

## 6.4 电化学方面

6.4.1 应力腐蚀反应的电化学本质允许从外电源施加电流或电位使破裂遭受影响。有时认为:向阳极方向移动电位将增加破裂敏感性,而施加阴极电流将延缓破裂或完全防止破裂。根据破裂机理,上述情况可以是真实的或不真实的。例如,如果合金对由氢的注入引起的破裂发生敏感,则电位改变的影响可能与上述活性通道溶解型的破裂情况完全相反。如以采集数据为目的,试验可采用增加电流或控制应力腐蚀试样的电位。这样做的一般理由是为了缩短实验室试验的破断时间或改进重现性,由于外加电流也可改变电位,能助长不同的破裂敏感性,故不应认为:如果采用恒电流技术,其对破裂动力学的影响是简单的。这里应指出:除非十分小心地确保破坏机理与自然腐蚀电位下的机理一样,且数据与使用经验相关很好,否则,不应该采用电化学加速的应力腐蚀试验。

6.4.2 电位对破裂的影响随体系而变,但为便于讨论,某些方面可结合碳钢的破裂情况进行,某些试验表明:这些材料不管浸在氢氧化物、碳酸盐还是硝酸盐溶液中均在不同的电位范围发生破坏。这些材料在各自溶液中的自然腐蚀电位常处在硝酸盐溶液的破裂电位范围之内但处在其它溶液的破裂电位范围之外。这就表明:在这些特殊试验条件下,在硝酸盐溶液中,破坏能在自然腐蚀电位下发生,但在氢氧化物或碳酸盐中情况并非如此。这并不意味着:碳钢在自然腐蚀电位的后两种环境中永不发生应力腐蚀破坏。它仅仅表明:该特定钢在自然腐蚀电位下这些实验所用的特殊溶液中不发生破坏。当然自然腐蚀电位还取决于钢的组成,表面状态和环境的组成。

6.4.3 有意添加或以不纯物形式存在的某些小量环境添加物可使腐蚀电位处在破裂电位范围之内,使应力腐蚀在没有外加电位下产生。这就解释了在 NaOH 溶液中加入少量铅盐能促进实验室试验中的碱破裂,相反,无铅盐添加时就不产生破裂。类似的解释至少部分地适用于钢组成的其它小的变化。这样,在碳钢中添加少量铝可增加耐应力腐蚀性能,铜的添加可降低耐应力腐蚀性能,其理由可能是由于前者产生更负的腐蚀电位,后者产生更正的腐蚀电位从而对破裂性能产生必然的影响。这些例子说明了不超过大约 100 mV 的电位较小变化可产生十分明显的破裂敏感性的改变。应该指出:特别在模拟现役破坏的实验室试验中,有必要再现环境条件,尤其是精确的相关电位。

6.4.4 当确立了应力腐蚀仅在超过临界电位范围才发生时,通过电位测量有可能监控现役设备是否会发生破坏。然而,在某些情况下既可以靠加入“阻抑”物质,也可以靠阴极或阳极保护,使电位保持在临界电位范围之外来减少或完全避免产生应力腐蚀的危险。

6.4.5 实验室试验尽管远离了大部分现役条件并增加了试验费用,但恒电位仪的采用常是获得特定电位的最有效方法,其优点是能获得较好重现性的效果。费用较恒电位仪低廉的恒电流技术也可以在某些场合使用。但除非已知上述电位的任何作用与研究体系无关,否则,外加电流应较小,不致于使电位远离

自然腐蚀电位。常常出现这种情况：机理研究需电化学试验，但实验室工作主张研究现役破坏，自然腐蚀电位下的试验（假设已知现役条件）常更加现实。然而重要的是要认识到自然腐蚀电位取决于许多因素如表面状态、暴露时间等。这样，采用机加工或抛光表面在实验室试验中获得的自然腐蚀电位值即使在同一环境中也与现役条件（包括工厂轧制氧化或带锈表面）获得的不同。为缩短时间因素或获得较好的重现性，当上面提出的条件满足时，对模拟现役破坏试验采用电化学控制的决定才是合理的。要不然，如试验室数据的重现性不充分的话，则较好的方法是采用合理的设计并进行一套有统计意义的试验。

6.4.6 考虑到电位对应力腐蚀行为有明显的影晌，有必要采取预防措施使试样与浸在试验溶液中的试验装置的其它金属部件进行绝缘。

6.4.7 特别当采用预裂纹试样时，裂纹尖端的电位与出现裂纹的表面及通常测定电位的表面所获得的值不同。牢记上述这点也很重要。有时，沿着裂纹的电位变化十分小，是几个毫伏，但在另一些情况下可达几百毫伏。

## 7 试样设计和制备

### 7.1 一般事项

7.1.1 试样大小是最初考虑的事项之一，而其最终的选择取决于许多因素，往往出现折衷方案。一方面，在相关的冶金条件下材料的利用率和费用制约试样的可能大小，试验设备（即有效负荷，试验容器的体积等）也制约试样大小。另一方面，采用较大试样使整体材料更具代表性，也可避免因采用小截面试样（例如十分细的丝）所引起的一般腐蚀或点蚀问题。

7.1.2 从整体材料采样的取向是与材料形状、晶粒取向及残余应力有关。它是一个主要考虑的方面。在这方面，非金属夹杂物和第二相的存在也是重要的。

7.1.3 必要时，应力腐蚀试验计划以实际使用中破断事件作为对象，破坏的部件用作材料源。除非为了检查微裂纹的扩展，而从裂纹区取样外，仅应从确认为“无裂区”取样。这一点很重要。当选材供制备试样时，必须考虑部件内材料组织的任何变化。

7.1.4 试样需打上永久的识别标记或数字。然而，为了避免影响试验结果，要注意标记在试样上的位置，应尽可能地远离试验区域即应处在弯梁试样的两端。

### 7.2 表面状态

7.2.1 应力腐蚀裂纹的萌生必然包含某些初始的表面反应，故试样的表面状态对试验结果起着明显的影响。表面抛光最明显的改善是表面状态的改变，它取决于制备技术的细节，但表面层可发生组织和结构的局部改变，在表面可残存残余应力，这些已是充分确立的事实。因此，在任何试验计划中考虑这些情况是重要的。

7.2.2 可以预料对较硬的缺口敏感合金或截面非常小的试样而言，表面状态的影响比较软的延性材料或大截面试样要大，事实正是如此，黄铜的应力腐蚀随着表面状态的明显改变不会显著的变化，但是如果以打磨方式引入微裂纹的话则高强钢的打磨能使耐破裂性能明显降低。可以预料：表面状态改变的影响随试样截面变化成反比。

7.2.3 由于不均匀的塑性变形（即由机加工引起或因热影响或与相变有关的体积变化间接产生）使表面留有残余应力。也可发生结构的局部改变。众所周知，应力腐蚀试样的表面残余应力可影响寿命。在其他可比条件下，压应力会增加破断时间，拉应力则相反。如果热处理对力学性能不产生不利影响的话，则适当的热处理可消除或降低残余应力。

7.2.4 除残余应力的影响外，试样表面层产生的组织变化可明显地与某些合金的应力腐蚀敏感性有关。这样，塑性变形本身可十分明显地影响耐破裂性能，同时由变形或变形产生的热而诱发的局部相变也可影响试验结果。上述影响可以说明：机加工表面的 18Cr8Ni 钢的破断时间要比电抛光者缩短（约 4 倍）。或者研磨经淬火和时效的高强钢试样，促使其表面形成非回火马氏体薄层，从而增加破裂敏感性。

7.2.5 试样制备后所进行的热处理能使表面组成产生稍稍可觉察的变化，即钢的脱碳或黄铜脱锌可促

使耐应力腐蚀性能发生十分明显的改变。类似地,特别当裂纹的诱导期成为寿命的重要组成部分时,可以预料在加工或热处理过程中尤其是高温下形成的氧化膜将影响应力腐蚀的试验结果。

7.2.6 当试验表面的最后制备技术包含任何化学或电化学处理时,应小心地减少处理中的任何残余物的污染。在某些情况下,为了克服与机械制备有关的某些困难,采用电抛光,但使用该技术能引起其他问题。对氢诱发损伤敏感的材料而言,必须不采用会产生氢的化学或电化学处理。在某些场合,这样的处理也能产生相选择性侵蚀,从而影响试验结果。

7.2.7 因表面粗糙度影响的研究结果少,且大部分是从少量特定试验中产生的,而不是从系统设计的研究中获得的,因此要去进行而不是再现,在解释结果时应考虑的这些表面影响试验是困难的。所以曾经建议:采用预裂纹试样可避免这些影响,然而,有许多理由指出该建议常是无助的。理由之一是在实际工程情况下上述的某些影响确实存在着。

### 7.3 面积效应

某些材料的应力腐蚀试验结果取决于试样的暴露面积。通常该效应使结果分散,因此应推荐试样要有足够大小的面积,以减少上述效应。

### 7.4 预裂纹试样

7.4.1 在应力腐蚀实验室研究中包含许多缺口试样(相对于光滑试样)的应用文献,其目的是为了改善试验结果的重现性和由于光滑试样在其他相同条件下无能力产生裂纹或如预先决定裂纹位置,使某些参数如裂纹扩展速度变得容易测量等。然而,断裂力学的发展为应力腐蚀试验开辟了新的领域。它通常包括采用靠疲劳载荷从一缺口产生尖锐的预裂纹试样。为此,应明确指出:本方法含有应力强度因子  $K$  这个参数,它确定裂纹前缘的应力场。特别对较高屈服强度材料而言,该概念具有明显现实重要性,因为工程结构中常包含制造或现役过程中产生的裂纹。其意义可进行如下评价:裂纹是否有可能扩展为应力腐蚀裂纹或者如能扩展,那么究竟允许它扩展到什么程度,认为结构仍保持安全。

7.4.2 为评定应力腐蚀性能,围绕着光滑试样选择的困难性初看起来似乎与预裂纹试样同样大。在此意义上,许多试样类型在采用这种试验的较短时间内就开发出来了。然而,不同的试样几何尺寸是与应力强度因子有关的,所以由不同试验所得数据能够比较,故没有初看起来上述那样的选择困难问题。最大的唯一困难是与试样的大尺寸有关,如应用线弹性分析概念,对于高延性材料,大尺寸是必须的。也许是大部分现役应力腐蚀破坏都发生在较薄截面的高塑性材料中,故很明显存在上述大尺寸问题。不过,假如试验结果仅应用于类似厚度的现役场合,那末,在某些情况下,采用尺寸上并不严格遵守线弹性分析条件的预裂纹试样仍然是值得的。

7.4.3 除了考虑断裂力学外,有时之所以采用预裂纹试样是为了模拟使用情况,和在预裂纹处应力腐蚀裂纹较易萌生或与单一裂纹的扩展所带来的优点有关。采用预裂纹试样进行试验时,所做的下列论点很少完全有效。即预裂纹试样超越了光滑试样的裂纹萌生阶段,而且总是把该阶段错误地认为与提供近似于预裂纹内最初达到的应力集中程度那样的腐蚀点的产生有关。这样,点、缺口或预裂纹的几何尺寸不仅常对应力分布有影响,同样对电化学的影响也十分重要,这是因为上述必须的几何不连续性方能提供应力腐蚀扩展必备的环境组成和电位那样的局部电化学条件。曾经提出下列一些反对采用预裂纹试样的理由即在即将遭受晶间应力腐蚀破裂的试样中引入穿晶预裂纹是否有效,或者当腐蚀环境的引入使裂纹溶解变钝时,是否有必要用较多的费用去制备十分尖锐的裂纹。上述的异议都没有抓住在真实材料中实际存在着如此明显的不连续性。预裂纹试样试验的主要优点是能提供数据并计算在保持结构安全条件下所容许的最大缺陷尺寸。然而应该认识到存在缺陷尺寸的较低限和外加应力的较高限,超过这些限度,断裂力学不再适用。特别是缺陷尺寸小于 0.1 mm 或局部应力接近屈服应力时,断裂力学的应用必须小心,因为在这些场合,所预示的最大容许缺陷尺寸不再可靠。

7.4.4 在不同的实验室实践中,采用预裂纹试样的试验技术有某些差别,它与测量临界强度因子所用递增负荷有关。虽然逐级加载和直接加载所得值之间有密切的相关性,但前者所得值依赖于加载速度。

7.4.5 某些工作者以前认为光滑试样试验是不恰当的,预裂纹试样试验是唯一能提供有意义结果的试

验。相反的论点也同样存在,幸运的是近年来持有上述狭隘观点的人迅速减少。提出下列情况似乎是恰当的,即在某些场合,当应力腐蚀裂纹在光滑试样中扩展到某一距离时,至少在应力强度这一点上,试验变得与预裂纹试样试验难以区分,虽然两种场合之间存在着电化学差别。

7.4.6 在应力腐蚀试验开始前,估计初始疲劳预裂纹长度时,应考虑到可能发生裂纹弯曲,这样,真正的最大裂纹长度可比试样表面测得的估计值要大。

## 8 应力腐蚀试验槽

8.1 含有试样和应力腐蚀试验介质的试验槽通常是由对介质惰性的某些材料(通常为玻璃)做的容器。它不对试样产生电的效应。值得指出:除玻璃容器受浓 NaOH 溶液浸蚀的已知效应外,容器与环境之间还可能发生不太明显的相互作用。在热的高纯水环境中曾发现过这样的例子,即在试验过程中足量的  $\text{SiO}_2$  从标准实验室的玻璃器皿中滤去,从而明显影响低合金钢试样的应力腐蚀行为。

8.2 对裂纹萌生于发生热传递的表面场合,有必要设计考虑到有这种影响的试验槽。因为热传递界面可发生溶质的浓缩。特别是如果表面沉积物允许蒸发浓缩且阻止和本体的混合,则浓缩物质在促进破裂方面将起重要作用。这类的例子有热绝缘下不锈钢管的破裂和铆接的碳钢锅炉的碱性破裂。

为模拟浓缩条件下的破裂,曾开发了相应的试验方法。

8.3 上述的(见 6.3.3)试样面积与溶液体积的关系对试验槽的设计具有明显的意义。

## 9 应力腐蚀试验的开始

可能认为应力腐蚀试验的开始只不过为引入介质与产生应力的试样接触,但实现上述步骤的次序可影响结果,因为在试验的开始存在着某些其他作用。这样,在户外暴露试验中,试验开始于一年中的哪个时刻可对破断时间有明显影响,试样的取向即按弯曲试样的拉伸表面是处在水平向上还是向下或某一其他角度都可影响破断时间。但即使在实验室试验中,与试样接触介质时间有关的加力时间也可影响结果;上述同样情况也适用于到达试验温度或采用任何电化学加速所占用的时间。有关 7.4.4 叙述的预裂纹试样递增负荷的观察结果也与这方面有关。

## 10 结果处理和评定

10.1 几年来,当应力腐蚀试验方法的数量增加时,评定结果的方法也增加了。从最初的以破断时间为评定结果的简单 U 形弯曲试验开始,出现了更加复杂的技术。正如试验方法的选择依赖于许多因素那样,评定方法也是如此。众所周知在某些场合只可能有十分简单的评定结果,不过重要的是弄清特定技术的局限性。

10.2 最早的试验评定方法是试样的破断(或不破断)时间,它仍然十分广泛地被采用。但应考虑这种评定方式的局限性,例如前面(5.2)提到的加载框架的刚性,材料的断裂韧性、环境的侵蚀性、萌生的裂纹数目、试样厚度等对评定结果的影响。

10.3 从耐应力腐蚀的观点看,一般惯例是用给定应力下的破断时间来进行材料之间的比较,但甚至采用同一设备,上述情况并不总是合理的,更满意的评定依据似乎是临界应力水平或临界应力强度水平(预裂纹试样场合)。这就需要测定适当的应力-破断时间曲线,最好是在一系列初始应力或应力强度水平下进行试样的暴露试验而不是在相同应力或应力强度水平下做大量的重复试验。然而即使采用该方法,也可预料到结果的某些变化,当然,它取决于试验类型。例如恒负荷试验下,临界应力水平常常要比恒总应变条件下所得的低。它也依赖于试验环境,一种溶液中所获得的临界值就不能适用于其他场合。

10.4 如需要减少试样数目,可采用二元搜索法来决定临界应力。第一次试验应在特定的初始应力下(即有关材料抗张强度的一半)进行,以后的试验如图 1 所示程序那样按上一次试验是否发生试样破断再考虑在抗张强度的另一百分数下进行。



试验 1

试验 2

试验 3

试验 4

试验 5

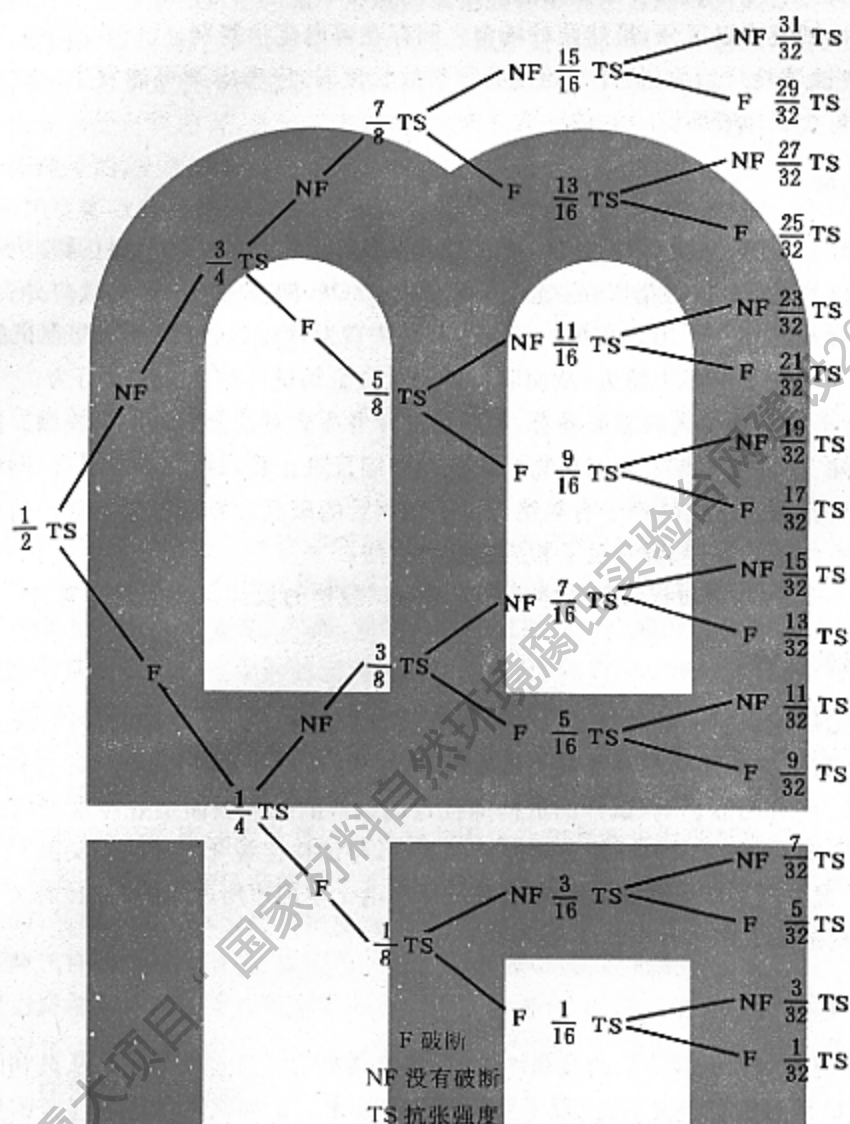


图 1 测定临界应力的二元搜索步骤

10.5 在某些试验方法中,采用的评定判据是第一裂纹的出现时间,由此,产生了许多问题。试验过程中当检查试样时应采取预防措施来避免表面的污染。用于检查裂纹的某些溶液含有可观量的有害杂质,它们本身可促进应力腐蚀破裂。应该认识到,取出试样检查以后再放回试样能影响最终结果。最好是在同一应力水平下采用若干试样以避免再次暴露的必要性。

试样检查常用低倍显微镜,由于裂纹的检出取决于体系的分辨能力,故在此情况下应采用一标准放大倍数(例如 20×)。

10.6 根据应力腐蚀定义,其中显然要包含应力和环境的协同作用,故环境的单独作用应独自评价即试样是否为应力腐蚀所破坏。试验方案应包括对不受应力试样进行暴露,然后,用不同的方法检查试样,以供试验比较之用。

10.7 慢应变速率的试验结果能用多种参数评定。应力腐蚀破裂的作用即可用负荷-位移曲线中所达到的最大负荷,也可用达到破断的最大延伸来反映,因此这些可作为破裂敏感性的指标,同样,断面收缩率也是如此。在某些情况下,将负荷和延性结合起来考虑能提供有用的比较依据。与其他试验方法一样,破断时间往往为有用的评定手段,常用相同温度,相同应变速率下惰性环境中所得的破断时间除试验所

得的破断时间,由此使结果归一化,有时断口形貌也可用来评价应力腐蚀敏感性,其指标参数为环境断裂形貌对塑性断裂形貌的百分比。

10.8 有时应力腐蚀裂纹扩展速度或临界应力强度因子是设计工程师们所需要的重要信息。这些参数在几天内就能测定。采用预裂纹试样特别适用于裂纹扩展速度的评定。许多方法(弹性形变的变化、声发射、电位降、X射线等)可用来监控裂纹的扩展。根据断续试验的概念,能够得到不同时间间隔后的裂纹深度。这样,也可采用光滑试样来测定裂纹扩展速度。依靠上述观察结果或预裂纹试样的递增负荷法能获得临界应力强度因子。

10.9 与大部分实验研究一样,应力腐蚀试验结果采用正规统计方法进行处理。凡有可能,所得结果应按如此处理后生效。