



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 20120.1—2006/ISO 11782-1:1998

## 金属和合金的腐蚀 腐蚀疲劳试验 第1部分：循环失效试验

Corrosion of metals and alloys—Corrosion fatigue testing—  
Part 1: Cycles to failure testing

(ISO 11782-1:1998, IDT)

2006-03-02 发布

2006-09-01 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



061106000204

## 前 言

GB/T 20120—2006 在“金属和合金的腐蚀 腐蚀疲劳试验”总标题下包括以下部分：

GB/T 20120.1—2006 金属和合金的腐蚀 腐蚀疲劳试验 第1部分：循环失效试验；

GB/T 20120.2—2006 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。

本部分等同采用国际标准 ISO 11782-1:1998《金属和合金的腐蚀 腐蚀疲劳试验 第1部分：循环失效试验》。

本部分作了下列编辑性修改：

——删除国际标准前言。

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。

## 引 言

通过对平板或缺口试样进行循环失效试验研究可以获得反映腐蚀疲劳裂纹本质的数据,例如金属或合金的行为,并且可以用来改进工程设计标准,以防止疲劳失效。

循环失效的研究可以应用在多种产品形式上,包括板材、棒材、丝材、薄板和管材及焊接部件等。

只有在应用条件与试验条件,尤其是关于材料、环境及应力条件完全相同时,腐蚀失效试验的结果才可以直接应用。因为材料/载荷/环境的组合不一定能与使用条件直接相比,所以对于这些情况必须进行工程学判定。

# 金属和合金的腐蚀 腐蚀疲劳试验

## 第 1 部分:循环失效试验

### 1 范围

1.1 本部分规定了金属及其合金在水或气体环境中的腐蚀疲劳试验和循环失效试验。裂纹扩展试验在 GB/T 20120.2—2006 中规定。

1.2 腐蚀或其他化学活性环境可以促使金属及其合金诱发疲劳裂纹并加快疲劳裂纹扩展速率。腐蚀疲劳过程不局限在特定的金属/环境体系中,如果没有试验室试验测得的数据,对于在所有载荷和环境组合下,疲劳寿命安全性计算均无法进行。

1.3 本部分不适用于零件或组件的腐蚀疲劳试验,但其中的许多一般原理仍可适用。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过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)

### 3 定义

下列定义适用于本部分的这一部分。

#### 3.1

**腐蚀疲劳 corrosion**

金属在交变应力和腐蚀联合作用下产生的材料破坏过程,通常导致破裂。

注:当金属在腐蚀环境中遭受周期应力时,可发生腐蚀疲劳。

#### 3.2

**疲劳载荷的应力振幅 stress amplitude  $S_a$  in fatigue loading**

$S_a$

一个周期极差的一半(也称作交变应力)。

$$S_a = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{2} \dots\dots\dots (1)$$

#### 3.3

**疲劳载荷的平均应力 mean stress  $S_m$  in fatigue loading**

$S_m$

指在恒定振幅载荷或载荷频谱单个循环中的最大应力值和最小应力值的代数平均值。

$$S_m = \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2} \dots\dots\dots (2)$$

#### 3.4

**疲劳载荷的最大应力值 maximum stress  $S_{\max}$  in fatigue loading**

$S_{\max}$

应力的代数最大值。

$$S_{\max} = S_m + S_a \quad \dots\dots\dots (3)$$

## 3.5

疲劳载荷的最小应力值 minimum stress  $S_{\min}$  in fating loading

$S_{\min}$

应力的代数最小值。

$$S_{\min} = S_m - S_a \quad \dots\dots\dots (4)$$

## 3.6

疲劳载荷的应力比 stress ratio  $R$  in fating loading

$R$

一个循环周期内最小与最大应力值的代数比。

$$R = \frac{S_{\min}}{S_{\max}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

注：应力比  $R$  等效于载荷比  $P_{\min}/P_{\max}$ ，其中  $P_{\min}$  和  $P_{\max}$  分别代表在一个循环周期内的最小与最大载荷。

## 3.7

$S-N$  图  $S-N$  diagram

应力与试样断裂时循环周次的关系曲线。

应力可以是最大应力  $S_{\max}$ 、最小应力  $S_{\min}$ 、应力极差  $\Delta S$  或  $S_r$ ，也可以是交变应力  $S_a$ 。从图中可以得到在指定  $S_m$ 、 $R$  的值及幸存概率条件下， $S-N$  之间的关系。通常  $N$  为对数坐标， $S$  为线性坐标或对数坐标。

## 3.8

疲劳缺口系数 fatigue notch factor

$K_f$

在相同载荷和环境条件下，经过  $N$  次循环后同样幸存概率下的无应力集中试样的疲劳强度与有应力集中试样的疲劳强度的比值。

注：在規定  $K_f$  时，必须指定试样的几何形状、应力幅值、平均应力值和估算的  $N$  值。

## 3.9

应力集中系数 stress concentration factor

$K_t$

在缺口处或其他由弹性理论计算出的应力集中区域的最大应力与相应的标称应力之比。当缺口根部的应力超过屈服强度时， $K_t$  是无效的。

## 3.10

循环(在疲劳中) cycle(in fatigue)

周期性重复的载荷或应力—时间函数的最小单位。常用术语疲劳循环、载荷循环和应力循环。

## 3.11

波形 waveform

载荷的两个相邻波峰之间形状变化，是时间的函数。

## 3.12

循环频率 cyclic frequency

$f$

单位时间内的循环次数，通常用循环次数每秒(Hz)来表示。

## 3.13

$N$  次载荷循环时的疲劳强度 fatigue strength at  $N$  load cycles

$S_N$

由  $S-N$  图所确定的试样断裂时的准确循环次数  $N$  对应的应力值。这样确定的  $S_N$  条件与  $S-N$  图相同。

注 1:  $S_N$  值通常也被认为是  $N$  次循环的疲劳强度中值。

注 2: 在腐蚀环境中的疲劳强度可能会比在空气中的小。

### 3.14

**疲劳强度极限** **fatigue strength limit**

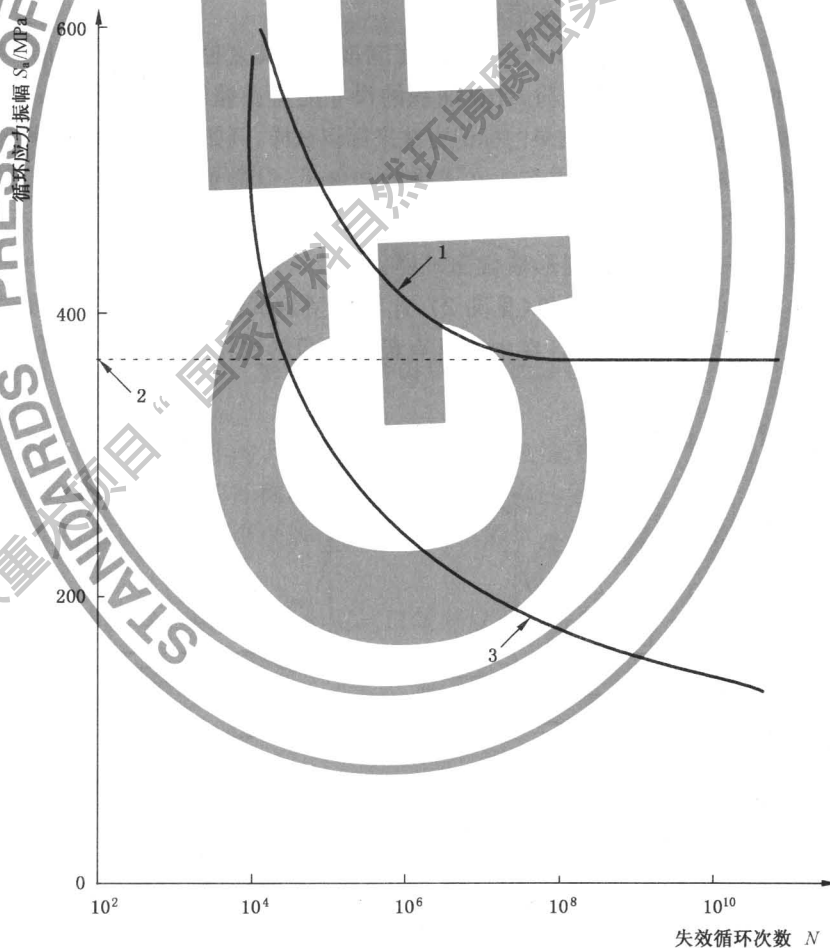
$S_f$

作为疲劳寿命的疲劳强度中值的极限值,会使循环次数  $N$  变得很大。大部分材料和环境都不能获得意义明确的疲劳极限。

## 4 试验

### 4.1 原理

在侵蚀性环境条件下,金属或合金的疲劳强度的下降程度取决于环境和试验条件的状况。例如,钢在空气中观察到的明显的疲劳强度极限,在侵蚀性环境中将不再明显,如图 1 所示。因此试验结果的解释是基于部件允许寿命假设。



- 1——空气中的疲劳;
- 2——空气中的疲劳极限;
- 3——腐蚀疲劳(无疲劳极限)。

图 1 钢的疲劳和腐蚀疲劳  $S-N$  曲线对比

本试验是在逐步减小的交变应力下,使用不同的应力循环次数,使暴露在腐蚀性或其他化学活性环境中的一系列试样产生疲劳裂纹并扩展到足够大,引起失效。目的是由  $S-N$  曲线确定  $N$  次循环时疲劳强度  $S_N$  或疲劳寿命很大时的疲劳强度极限值。

本试验是用来确定在相对循环次数多的应力作用下,环境、材料、几何形状、表面状况及应力等对金属或合金的抗腐蚀疲劳性能的影响。本试验也可以用在已知环境条件和重复应力条件下选材指导上。

## 4.2 试样

### 4.2.1 总则

试样的设计和类型取决于使用的疲劳测试机、疲劳研究的目的以及取样材料的形式。设计疲劳试验试样应根据加载方式而定,包括轴向加载、平面弯曲、旋转梁、交替扭转或组合应力。

试样可以是圆形、正方形、矩形、环形或特殊条件下的其他形状的横截面。

装夹端可以是适合试验机夹持器的任何形状。除非试样的装夹端与腐蚀试验环境相隔离,否则可能会产生问题。

应减少试样试验段的横截面面积以防止装夹端失效。为了优化系统的灵敏度和响应时间,选择试样试验段的尺寸,以便利用疲劳机额定负荷的中上部量程。

应设计试样在工作段到装夹端的过渡部分,以便使任何应力集中都减少到最小值。推荐均匀过渡的倒角半径至少为工作段直径或宽度的 8 倍。装夹端的横截面面积应至少为试样工作段横截面积的 4 倍。

工作段长度应该是其直径或宽度的 3 倍以上。

在压缩试验中,为了将挠度减到最小,工作段长度应该小于其直径或宽度的 4 倍。

为了得到要求的应力而计算施加载荷,计算面积的尺寸测量误差应在 0.02 mm 之内。

应使用一种不可擦除且不影响试验结果的标记方法来标识试样,例如在表面,最好是平坦的末端打印。

在试验前,经过适当清洗后的试样应存放在干燥的条件下,以避免发生腐蚀而影响试验结果。

### 4.2.2 圆柱形试样

在腐蚀疲劳试验中经常使用两类圆形横截面试样:

- 工作段与装夹端间有相切的倒角(见图 2);此种类型的试样适用于轴向加载试验;
- 装夹端之间由连续半径连接,且在中心具有最小半径的试样(见图 3);此类型试样适用于旋转弯曲试验。

最小横截面直径首选 5 mm。

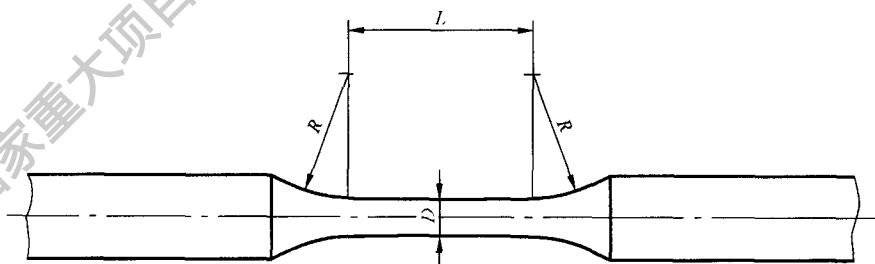


图 2 试验段与装夹端圆倒角相切的试样

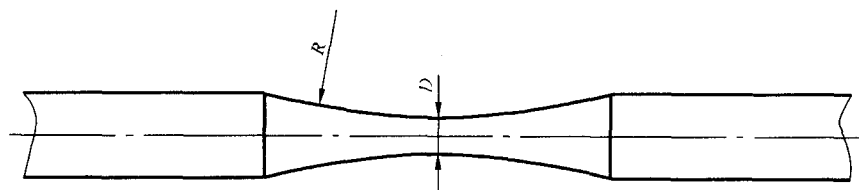


图 3 装夹端之间由连续半径连接的试样

#### 4.2.3 平直薄板或厚板试样

疲劳试验扁平试样试验段横截面的宽度减少,并且可以减少厚度。

如果试样的厚度少于 2.5 mm,且是在压缩试验中,应采取横向支撑措施,以防止在没有应用载荷影响时挠度超过 5%。

最常用的试样类型包括:

- 试验段与装夹端之间为均匀过渡倒角相切的试样(见图 4);
- 装夹端之间由连续半径连接的试样(见图 5)。

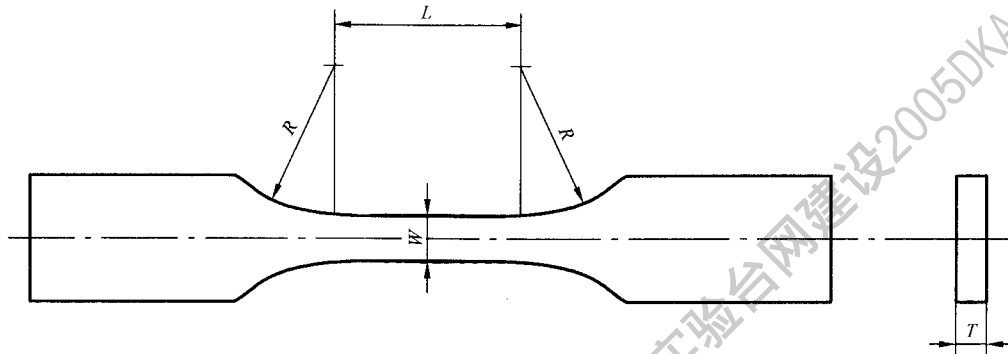


图 4 试验段与装夹端之间圆倒角相切的试样

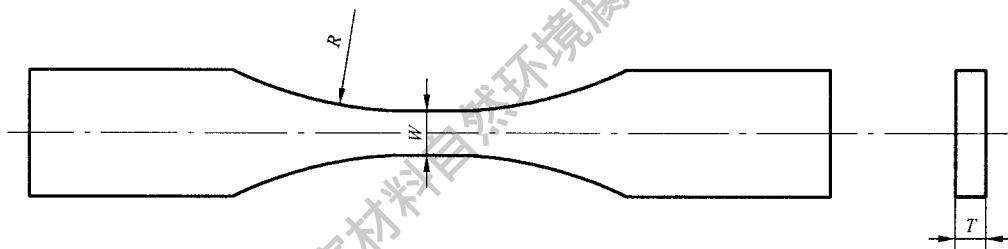


图 5 装夹端之间由连续半径连接的试样

#### 4.2.4 缺口试样

通过对比缺口试样和光滑试样的  $S-N$  曲线可以确定机加工缺口对腐蚀疲劳强度的影响。

通常根据网状横截面试样上的标称应力来标绘缺口试样的数据。

缺口对于降低疲劳极限的作用可以通过疲劳缺口系数  $K_f$  (即光滑试样的疲劳极限与缺口试样的疲劳极限的比值)来表示。

在疲劳试验中,一种材料的缺口敏感度用缺口敏感度系数  $q$  来表示。

$$q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$K_t$ ——应力集中系数;

$q=0$  表示缺口对材料疲劳极限无影响;

$q=1$  表示缺口产生完整的假设效果。

如果试样不能满足标准尺寸,可以谨慎应用其他试样结构。

#### 4.2.5 试样尺寸影响

由于残余应力分布、直径方向上应力梯度变化(弯曲的平板或缺口试样或轴向拉伸—压缩载荷作用下的拉伸试样和缺口试样)、表面积变化和氢浓度梯度变化(在适当的环境条件下)等原因,试样尺寸对疲劳试验有非常重要的影响。试样尺寸增大的同时伴随着疲劳强度下降的趋势,但不总是发生这种情况。



尺寸影响意味着很难直接从小试样的试验室试验结果中预测大构件的疲劳性能。

#### 4.2.6 表面影响

由于疲劳裂纹通常从试样表面开始,腐蚀疲劳性能对于试样表面条件非常敏感。在腐蚀疲劳试验中下列因素可能会影响试样的腐蚀性能。

##### 4.2.6.1 表面粗糙度

通常,随着表面粗糙度等级的降低,疲劳寿命升高。因此,对于腐蚀疲劳试验试样必须注意表面的准备。

除非要求观察原始表面的腐蚀性能,建议使用无加工沟纹和划痕的表面进行金相抛光。抛光方向是重要的,在轴向加载中,最终表面制备涉及沿长轴方向的打磨或抛光,例如,与施加应力相同方向。

##### 4.2.6.2 表面残余应力

精整工序,如机加工、打磨和抛光等,会使试样表面变形并产生加工硬化。热处理会引入热应力或使显微相发生改变。修整工序和热处理都会引入拉伸或压缩残余应力,这取决于使用条件。

表面残余应力会影响试样的腐蚀疲劳性能。

压缩残余应力通常会增大疲劳强度,而拉伸残余应力则会有相反的趋势。

表面残余应力也会影响局部腐蚀性能,因此而影响腐蚀疲劳裂纹的产生。

喷丸处理工艺会引入表面压缩应力从而改善腐蚀疲劳性能,但可能会由于点蚀或某处表面覆盖层不完全而减小其作用。

除非要求模拟涉及大的表面残余应力的使用条件,在制备试样期间机加工、热处理和精整工序均应有意使表面残余应力减到最小。

##### 4.2.6.3 显微表面影响

增加表层硬度和引入压缩残余应力的表面处理工艺可能会改变腐蚀疲劳性能。如果与重要的应用相关,试验试样应该进行同样的处理。

由于机加工控制不足而引入的硬表面层,尤其是在表层加热引起相变的地方,与微裂纹和拉伸表面残余应力的产生相关。这对腐蚀疲劳强度有不利的影响,因此应该避免。

#### 4.3 环境因素

由于金属环境交互作用的特性,腐蚀疲劳失效试验必须在能密切控制环境条件的情况下进行。

重要的环境因素有电极电位、温度、溶液成分、pH 值、溶解气体的浓度、流速和压力。GB/T 15970.1 中提供了有用的背景资料。对于气体环境,一个关键的因素就是气体的纯度。

如果试验在开路条件下进行,金属的电极电位将取决于具体的试验环境条件,在试验中通气程度是个重要的因素。换句话说,通过恒电位或恒电流方法(见 5.3),用开路值代替电极电位。应用外加电流的辅助电极应该在试样上提供均匀的电流分布,即:电极电位应该相同。

#### 4.4 加载

##### 4.4.1 循环频率

当失效试验在“侵蚀”环境下进行时,循环频率要比在空气中试验重要的多。在空气中试验,循环频率通常没有影响。对频率的敏感是由于金属与环境的相互作用与时间有关。简单来说,这仅反映了有效凹坑发展的整个试验的时间量程,而广义上,循环周期影响了在一个载荷循环期间反应或传输的程度,进而影响了裂纹发展的程度。

在“侵蚀”环境中金属或合金的疲劳强度通常会随着循环频率的减少而降低。因此,在试验期间与实际使用有关的循环频率是非常重要的。

##### 4.4.2 波形

在一些情况下,腐蚀疲劳强度受载荷循环波形的强烈影响。尤其在循环引入延迟时间时,与时间有关的腐蚀和应力腐蚀过程可影响裂纹出现和成长。

加载和卸载速率也可影响环境作用,例如,涉及到扩散或再钝化过程。因此,应用在实际使用期间

会遇到的典型波形是非常重要的。经常使用正弦曲线的,三角形的,锯齿形的和方波来模拟实际载荷条件,而且在循环期间适当处可以增加延迟时间。

平均载荷会影响疲劳强度和寿命,应该进行适当的评定。

#### 4.4.3 可变振幅载荷

在循环载荷条件下,对于涉及到随机载荷循环或者明确的周期变化循环的某些实际应用,会引入暴晒。通过在不同载荷条件下进行的一系列试验观察到的作用总和,可能会得到这些波动的影响,最好使用控制程序块或随机加载程序进行计算机模拟实际使用环境。

### 5 装置

5.1 疲劳试验机应该符合使用要求,有相应的周期频率和波形信号,同时配备合适的循环计数和载荷监控系统。

5.2 疲劳试验机的调整应该保证施加的载荷是轴对称的。

5.3 环境箱应该把试样在工作段完全密封。如果可能,试样的装夹部分应该在溶液环境之外以阻止电池效应和缝隙腐蚀。如果这不可能,应该采取适当的避免措施,例如,使用相似的金属,电绝缘或覆盖层。要求有适当的溶液体积与金属表面积的比率(由反应速率和暴露时间决定),而且一个循环系统也通常是必要的。对于使用的电位或电流环境,对应电极使用分离隔板是必要的,以便限制任何从这个电极产生的反应产物的影响。非金属材料被推荐用来制作环境箱和循环系统。这些材料应该是不活泼的。注意玻璃和某些塑料在高温下不再是不活泼的。必须使用金属箱时,应该与试样绝缘以防止电池效应。

当试验在气体环境中进行时,首选使用全金属箱。

### 6 试验步骤

6.1 试样(脱脂并小心处理)应该固定在环境箱中的试样夹具上,努力防止由于夹具旋转或对称轴位置移动而不对称。

6.2 用分析纯药品配制的试验环境应该代表实际使用条件或者符合适当的标准。除非要求模拟含有不纯气体的特别服役条件,对于气体,应该使用高纯实验室级别的气体。在这种情况下,也可以使用与不纯气体组成成分相同的混合气体。

6.3 与引入环境和开始加载时的相对时间量程相关的初始步骤,对于疲劳寿命有非常重要的影响。重要的因素是凹坑发展和氢进入金属的时间量程。共同的腐蚀瞬时效果有:开始浸入后腐蚀电位的变化和与时间有关的腐蚀产物的生长。考虑到这些因素,对评价预暴露时间对疲劳强度影响是有益的。

6.4 在试验期间对环境应该依据要求进行检测和控制。在无缓冲体系中,可以使用 pH 值自动控制系统使 pH 值保持恒定。否则需要评定 pH 值变化对裂纹生长的影响。

在开放性系统中,可通过溶液中气体冒泡进行充气。在封闭性系统中,必须进行监测。适当时,应该控制系统的压力。试验中的流速应该模拟在使用条件下的范围。关于试样外部的溶液流动取向是非常重要的。注意旋转弯曲试验本质上就是旋转电机系统,这会创造其自己的局部流体动力学。

强烈推荐使用合适的参比电极来测量电极电位。在测量时应减小电位降误差。双液接电极可以用来避免溶液污染。对于高温使用环境,应使用专门的电极。

溶液温度的变化应该控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 内。

6.5 试验应持续进行直到试样失效或达到预定的循环次数。失效是完全分离的或者依据一些其他已协商的准则。

6.6 通常通过一系列试验来确定疲劳强度,这一系列试验是在逐渐降低应力水平下进行,直到某一应力振幅在试验期间不会引起任何失效为止。可在变化的平均应力下进行补偿试验。

## 7 试验报告

试验报告应该包括以下内容：

- a) 试样类型、尺寸、机加工工艺和表面状况；
- b) 对于缺口试样，缺口的详细资料及其应力集中系数；
- c) 试验设备的描述，包括动态载荷监测的校正方法；
- d) 试验材料的性能，例如在化学成分、熔炼和加工工艺、热处理、显微结构、晶粒尺寸、非金属夹杂含量和力学性能等方面；产品的大小和形状也应该报告，同时如果需要，也应报告应力消除方法；
- e) 从母材金属上切取的试样取向和切取位置；
- f) 试验加载变量，包括每个试样的应力振幅和应力比、疲劳寿命或试验终止时的循环次数、循环频率和波形；
- g) 溶液的初始成分、pH 值、充气程度（或其他相关气体的浓度），流动状况、温度和电极电位；根据用再循环速率确定的流过试样的近似线性速度说明流速。应指出使用的参比电极，应报告电位和涉及的合适标准电极（例如：在 25℃ 下的标准氢电极或饱和甘汞电极）；
- h) 试验的开始步骤，如开始电极电位的任何变化；
- i) 在试验期间环境或载荷的瞬时变化（包括试验中断），注明特征和试验时间；
- j) 环境箱和所有用来监测和控制环境的设备；
- k) 失效准则；
- l) S - N 曲线的应力最大值、最小值、应力范围或对应失效循环次数的交变应力；通常疲劳寿命 (N) 在循环次数的对数横坐标上，而应力在算数或对数纵坐标上；所有数据都应沿着一条最适合的回归分析线描绘在 S - N 曲线上；当寿命对数符合正常分布时，绘制成 S - N 曲线可能性有 50%。

参 考 文 献

- [1] GB/T 15970.2—2000 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第2部分:弯梁试样的制备和应用
- [2] GB/T 15970.4—2000 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第4部分:单轴加载拉伸试样的制备和应用
- 

用于支撑国家重大项目“国家材料自然环境腐蚀实验台网建设2005DKA10400”

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
金属和合金的腐蚀 腐蚀疲劳试验  
第 1 部分:循环失效试验  
GB/T 20120.1—2006/ISO 11782-1:1998

\*

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.bzcbbs.com](http://www.bzcbbs.com)

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 1 字数 21 千字  
2006 年 9 月第一版 2006 年 9 月第一次印刷

\*

书号:155066·1-27890 定价 12.00 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



GB/T 20120.1-2006