



中华人民共和国国家标准

GB/T 24185—2009

逐级加力法测定钢中 氢脆临界值试验方法

Test method for measurement of hydrogen embrittlement threshold in
steel by the incremental step loading method

2009-06-25 发布

2010-04-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

前 言

本标准参照 ASTM F1624-06《用逐级加载技术测定钢中氢脆临界值试验方法》制定。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：上海材料研究所。

本标准主要起草人：王滨、陈华锋、李光福。

引 言

氢脆是由进入钢中的氢引起的,氢在残余应力或服役时产生的外部应力作用下会使材料发生断裂。酸洗或电镀等工艺过程,或处于阴极保护条件下都可能在钢中产生氢。本方法可用于快速确定这些工艺过程中产生的残余氢的影响,或者定量确定一定充氢条件下材料的氢脆敏感性。

当预裂纹试样的残余应力和工作应力之和大于某一应力值时就会发生延迟断裂(有限寿命),小于这一应力值时就不会断裂(无限寿命),该应力值称为临界应力[对于预裂纹试样则称为临界应力强度(K)]。采用缺口试样的持久载荷-失效时间试验可以测定产生氢应力破裂的临界应力,但需要较多试样、多台高载荷能力的试验机和几千小时以上的试验时间。

本标准提供了一个只需要少量试样在一台设备上用一周以内的时间即可完成的加速试验方法,它可用于确定钢中产生初始氢应力破裂的临界应力或临界应力强度。

逐级加力法测定钢中 氢脆临界值试验方法

1 范围

本标准规定一种用逐级加力法测量钢中氢脆临界应力值和临界应力强度值的符号与说明、原理、试验设备、试样、试验程序和试验报告。

本标准适用于定量评估钢的氢脆敏感性,或冶炼、热加工、表面处理等加工过程产生的钢内残余氢以及环境外部氢对钢性能的影响。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。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标准,然而,鼓励根据本标准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标准。

GB/T 228 金属材料 室温拉伸试验方法(GB/T 228—2002,eqv ISO 6892:1998)

GB/T 4161 金属材料 平面应变断裂韧性 K_{IC} 试验方法(GB/T 4161—2007,ISO 12737:2005,MOD)

GB/T 15970.7 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第7部分:慢应变速率试验(GB/T 15970.7—2000,idt ISO 7539-7:1989)

GB/T 16825.1 静力单轴试验机的检验 第1部分:拉力和(或)压力试验机测力系统的检验与校准(GB/T 16825.1—2008,ISO 7500-1:2004,IDT)

3 符号与说明

本标准使用的符号及相应的说明见表1。

表1 符号与说明

符 号	说 明
F	试验力
F_m	拉伸试验时得到的最大力
F_i	在位移控制条件下采用逐级加力法使在给定加力速率和环境条件的试样萌生裂纹时所承受的试验力
F_{in}	第 n 个试样的 F_i
$F_{0.2}$	F_i 不随加力速率变化时的临界值
A_{min}	试样的最小横截面积
$\sigma_{0.2}$	由 $F_{0.2}$ 除以试样的最小横截面积 A_{min} 得到的氢脆应力临界值
$\sigma_{0.2H_2}$	试验在给定的充氢环境下进行时,试样由外部氢引起的氢脆临界应力值

表 1 (续)

符 号	说 明
$\sigma_{\text{氢脆}}$	试验在空气中进行时,试样由内部氢引起的氢脆临界应力值
$K_{\text{氢脆}}$	试验在给定的充氢环境下以给定的加力速率进行时,试样由外部氢引起的氢脆应力强度临界值
$K_{\text{氢脆}}$	试验在空气中以给定的加力速率进行时,试样由内部氢引起的氢脆临界应力强度值
$K_{\text{氢脆}}$	试验在给定的充氢环境下进行时,试样由外部氢引起的恒定的氢脆临界应力强度值
$K_{\text{氢脆}}$	试验在空气中进行时,试样由内部氢引起的恒定的氢脆临界应力强度值

4 原理

通过逐级降低施加于不同试样上的加力速率,使氢扩散并产生裂纹,当位移保持不变的情况下,试验力将随裂纹萌生而减小,通过试验力-时间曲线可以得到氢脆临界应力或临界应力强度值。

5 试验设备

试验机的测力系统应按照 GB/T 16825.1 的要求进行校准,其准确度应为 1 级或优于 1 级。

如需在规定环境条件下进行试验,试验装置应能提供所需要的试验环境。

试验设备应能记录试验力-时间曲线。

6 试样

6.1 试样分为断裂力学试样和实物试样。

6.1.1 断裂力学试样应符合 GB/T 4161 的要求。

注:为保证试验结果的准确,预制疲劳裂纹时的最大应力应低于任一所测的氢致裂纹扩展的应力值的 60%。

6.1.2 实物试样是将产品实物作为试样,如紧固件。

注:对实物试样,同种材料不同形状或尺寸的试样试验结果会不同。

6.2 试样数量一般为 5 个~10 个。

7 试验程序

7.1 试验前按 GB/T 228 规定的试验速率对试样施加试验力直至断裂,测出最大力 F_m 。

7.2 用逐级加力法对其余试样施加试验力达到 F_m 时,每级增加的试验力值应相等,其值取决于要求的试验准确度。如对于准确度为 5% 的试验,每级增加的试验力为 5% F_m ,共分 20 级加力。1[#] 试样每级试验力的保持时间一般为 1 h。随后的试样每级试验力的保持时间一般为前一个试样的 2 倍,如图 1 中所示的 2[#] 和 3[#] 试样。为节省试验时间,建议当试验力超过 0.5 F_m 时对每级的试验力保持时间加倍,如图 1 中所示的 4[#] 试样。

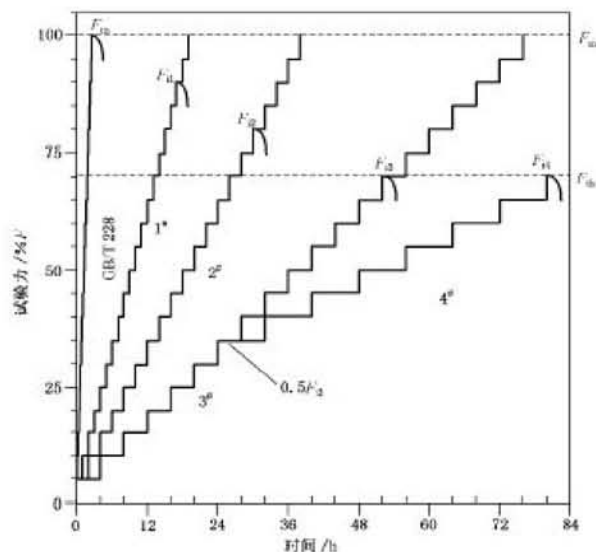


图1 逐级加力法确定临界应力的示意图

7.2.1 对 1[#] 试样进行分级施加试验力, 每级施加的试验力为 5% F_m , 每级试验力的保持时间为 1 h, 记录试验力-时间曲线, 从曲线上观察到试验力的下降量超过试验的准确度 (如 5%) 时, 记录此时裂纹萌生时的试验力 F_m (见图 1)。 F_m ($n=1, 2, 3, \dots$) 的确定方法如下:

7.2.1.1 如果试验力下降时, 试验力-时间曲线形状呈凸形, 即试验力下降速率是逐渐增加的, 则可认为此时裂纹开始在试样中扩展, 试验力开始下降时的值为裂纹形成的试验力 F_m [见图 2a)]。

7.2.1.2 如果试验力下降时, 试验力-时间曲线形状呈凹形, 即试验力下降速率是逐渐降低的, 此时不能认为是裂纹形成时的试验力 F_m [见图 2b)]。这种现象是由于裂纹尖端应力大于等于试样的屈服强度使试样产生塑性变形、试样蠕变或试验设备等因素所造成的。

7.2.1.3 如果试验力下降时, 试验力-时间曲线形状是从凹到凸的, 即试验力下降速率从恒定不变或逐渐下降过渡到逐渐增加, 那么曲线拐点处的力值也可定义为裂纹形成的试验力 F_m [见图 2c)]。

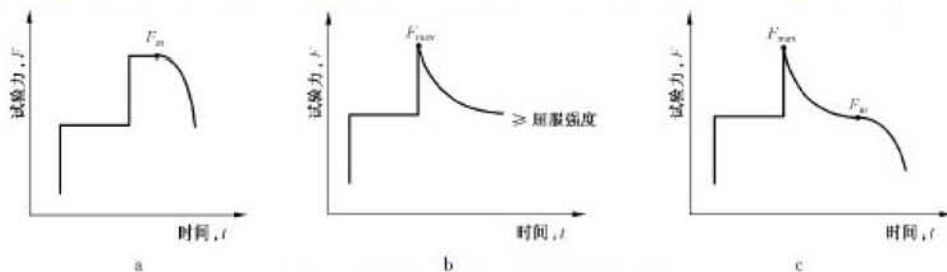


图2 裂纹开始扩展时的试验力的定义

7.2.2 随后的样品采取相同的加力级数但每级试验力的保持时间较前一个试样加倍的方法进行试验, 由此可得出更低的裂纹萌生时的试验力 F_m (见图 1, F_m 每级试验力的保持时间为 2 h, F_m 每级试验力的保持时间为 4 h)。

7.3 如此试验直至获得不随试验速率变化的恒定的裂纹萌生时的试验力临界值 F_m 。 F_m 的确定方法如下:

7.3.1 对于裂纹扩展速率较快的材料, 一般将试验力下降 5% F_m 作为裂纹开始扩展的界线; 对于裂纹

扩展速率很低的材料,则可采用小于 $5\%F_m$ 的试验力下降量作为裂纹开始扩展界线,这样更便于试验力下降的直观检测。

7.3.2 如果施加试验力后立即检测出试验力的下降,则 F_{th} 应为保持试验力恒定的最后一级的试验力值。

7.3.3 如果试验力在某级应保持恒定 y 小时,而实际 x 小时后就出现试验力下降 ($x < y$),则 F_{th} 应为前一级的试验力值再加上本级试验力相对应的增量 $\Delta = (x/y) \times 5\%F_m$,见图 3。

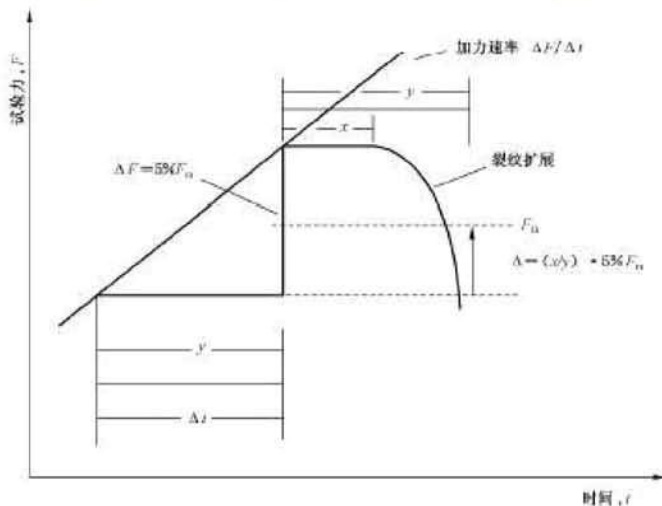


图 3 加力速率和确定 F_{th} 方法的示意图

7.4 逐级加力法的试验条件用“试验级数/每级施加的试验力 ($\%F_m$)/每级的试验力保持时间 (h)”表示,例:图 1 中 1# 试样表示为 20/5/1,即试验级数为 20,每级施加的试验力为 $5\%F_m$,每级的试验力保持时间为 1 h;同理 4# 试样表示为 7/5/4+13/5/8。

7.5 实物试样的氢脆应力临界值 s_{th} 可由 F_{th} 除以试样的最小横截面积 A_{min} 得到。如对紧固件, A_{min} 为试样的应力截面积;对缺口拉伸试样, A_{min} 为试样缺口处的最小截面积。

7.5.1 试验在给定的充氢环境下进行时,试样由外部氢引起的氢脆应力临界值用 $s_{th,HE}$ 表示。

7.5.2 试验在空气中进行时,试样由内部氢引起的氢脆应力临界值用 $s_{th,HX}$ 表示。

7.5.3 s_{th} 值与试样的几何形状和尺寸有关。

7.6 断裂力学试样的氢脆应力强度参数可根据 GB/T 4161 规定的方法由 F_m 或 F_{th} 计算得到。

7.6.1 试验在给定的充氢环境下以给定的加力速率进行时,试样由外部氢引起的氢脆应力强度临界值用 $K_{th,HE}$ 表示。

7.6.2 试验在空气中以给定的加力速率进行时,试样由内部氢引起的氢脆应力强度临界值用 $K_{th,HX}$ 表示。

7.6.3 试验在给定充氢环境下进行时,试样由外部氢引起的恒定的氢脆应力强度临界值用 K_{HE} 表示。

7.6.4 试验在空气中进行时,试样由内部氢引起的恒定的氢脆应力强度临界值用 K_{HX} 表示。

7.6.5 K_m 、 K_{HE} 和 K_{HX} 值均与试样的几何形状和尺寸无关。

7.7 试验时的应变速率应在 $10^{-5} \text{ s}^{-1} \sim 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ 之间或按照 GB/T 15970.7 的规定进行。应变速率可通过应力速率除以弹性模量得到。

8 试验报告

试验报告应包括以下内容:

- a) 本标准编号；
 - b) 试验材料的详细资料；
 - c) 试样的类型及详细的信息；
 - d) 试验结果，如 $\sigma_{0.2}$ 、 $K_{0.2}$ 等；
 - e) 每级施加的试验力和试验力保持时间；
 - f) 确定加力速率的方法；
 - g) 试验环境。
-