

中华人民共和国国家标准

金属材料延性断裂韧度 J_{IC} 试验方法

GB 2038—91

代替 GB 2038—80

Metallic materials—Standard test method for
 J_{IC} , a measure of ductile fracture toughness

1 主题内容与适用范围

1.1 主题内容

本标准规定了《金属材料延性断裂韧度 J_{IC} 试验方法》的定义和符号、试验方法提要、试验设备、试样形状和尺寸、试样制备、试验程序、试验结果的处理、试验记录和试验报告。

1.2 适用范围

1.2.1 本方法测定的 J_{IC} 值,与裂纹起始扩展时的 J 值接近,是材料启裂断裂韧度的工程估计值。

1.2.2 本方法不能用来评价金属材料裂纹扩展阻力的全过程。

1.2.3 本方法测定的 J_{IC} 值,可以转换成用应力强度因子 K_I 表示的当量值 ($J = \frac{1-\nu^2}{E} K_I^2$),它只能在以弹性为主的条件下应用。在裂纹顶端以线弹性应力场为主时,该 K_I 值对应于裂纹开始稳态扩展时的断裂韧度值。

1.2.4 本方法只适用于在试验温度下裂纹能够缓慢稳定扩展,塑韧性好的材料。不适用于尚未测得本方法规定的 $J-\Delta a$ 数据,即已产生快速断裂的材料和延性、韧性极高、抗撕裂能力极好的材料。因为这种材料很难把撕裂扩展与裂纹顶端大范围的钝化区分开。

注:① 高温及低温 J_{IC} 试验,可参照本标准;

② 本标准不涉及安全防护问题,当试验用材料对人体有害时,安全防护问题由使用者自行考虑。

1.2.5 本方法采用的试样均是深裂纹、弯曲型加载为主的试样。

a. 三点弯曲试样[SE(B)]是单边裂纹梁形试样,跨度与宽度之比 S/W 等于 4,初始无量纲裂纹长度 a_0/W 在 0.5~0.75 范围内。

b. 紧凑拉伸试样[C(T)]用销钉拉伸加载,其平面尺寸比例固定不变,初始无量纲裂纹长度 a_0/W 在 0.5~0.75 范围内。

c. 拱形三点弯曲试样[ASE(B)],跨度与宽度之比 $S/W \geq 2$,初始无量纲裂纹长度 a_0/W 在 0.5~0.75 范围内。

注:如果使用其他形状的试样,本方法规定的有效性条件不能保证试验结果的有效性。

1.2.6 本方法只适用于准静态慢速加载,且不考虑环境对裂纹扩展阻力的影响。

注:在准静态慢速加载下,大多数结构材料的 J_{IC} 值与加载速率无关,但在动态加载或持久应力与腐蚀环境共同作用下,将使 J_{IC} 值降低,故本方法测定的 J_{IC} 值在工程中应用时,要对服役条件做全面考虑。

2 引用标准

GB 4161 金属材料平面应变断裂韧度 K_{IC} 试验方法

GB 10623 金属力学性能试验术语

3 术语和符号

3.1 术语

3.1.1 J 积分(J)

围绕裂纹前缘从裂纹的一侧表面到另一侧表面的线积分的数学表达式,用以表征裂纹前缘地区的应力-应变场。

3.1.2 表观启裂韧度(J_I)

J_R 曲线与钝化线交点相应的 J 值,称为表观启裂韧度。

3.1.3 延性断裂韧度(J_{IC})

按本方法规定测定的 J_{IC} 值定义为延性断裂韧度。它与裂纹开始扩展时的 J 值接近,是裂纹开始稳态扩展时 J 的工程估计值。

3.1.4 J_R 曲线

J 积分与裂纹扩展量 Δa 的关系曲线,即 $J-\Delta a$ 曲线。本方法规定按 $J=C_1\Delta a^{C_2}$ 幂乘关系拟合 J_R 曲线, C_1, C_2 是与材料有关的常数。

注: J_R 曲线只代表金属材料裂纹扩展阻力曲线的初期阶段,而不能代表全过程。

3.1.5 有效屈服强度(σ_Y)

为考虑塑性屈服对试验参数的影响而给出的单轴屈服强度的假定值。本方法规定,有效屈服强度 σ_Y 是屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 与抗拉强度 σ_b 的平均值。

3.2 符号

B ——试样厚度,mm;

B_N ——带侧槽试样的净截面厚度,mm;

B_e ——有效厚度,mm;

$$B_e = B - (B - B_N)^2/B$$

W ——试样宽度,mm;

S ——弯曲试样加载跨距,mm;

a_0 ——初始裂纹长度的平均值,mm;

a ——裂纹长度的平均值,mm;

Δa ——裂纹扩展量,mm;

$$\Delta a = a - a_0$$

a_i ——第 i 次卸载再加载时,用柔度法计算的裂纹长度,mm;

Δa_i ——第 i 次卸载再加载时,用柔度法计算的裂纹扩展量,mm;

b_0 ——初始韧带尺寸,mm;

$$b_0 = W - a_0$$

b ——剩余韧带尺寸,mm;

$$b = W - a$$

σ_y ——屈服强度(有屈服点时,取 σ_s ,否则取 $\sigma_{0.2}$),MPa;
 σ_b ——抗拉强度,MPa;
 σ_y ——有效屈服强度,MPa;

$$\sigma_y = \frac{1}{2}(\sigma_y + \sigma_b)$$

E ——弹性模量,MPa,一般钢取 2.06×10^5 MPa(2.1×10^4 kgf/mm²);
 E_M ——有效弹性模量,MPa;
 ν ——泊松比,一般钢取0.3;
 A ——施力点位移,mm;
 V ——裂纹嘴张开位移,mm;
 P ——载荷,kN;
 P_s ——卸载点的载荷,kN;
 P_L ——极限载荷,kN;
 P_{tmax} ——最大疲劳载荷,kN;
 P_{tmin} ——最小疲劳载荷,kN;
 ΔP ——载荷幅值,kN;
 J —— J 积分,kJ/m²;
 J_e —— J 的弹性分量,kJ/m²;
 J_p —— J 的塑性分量,kJ/m²;
 J_0 —— J_{Ic} 的暂定值,kJ/m²;
 U ——外加载荷对试样做的形变功,kJ;
 U_p ——形变功的塑性分量,kJ;
 K_I ——应力强度因子,MPa $m^{\frac{1}{2}}$;
 C_0 ——试样的初始裂纹张开柔度,mm/kN;
 C_{0LL} ——试样初始加载线的弹性柔度,mm/kN;
 C_i ——第 i 次卸载再加载时的裂纹张开柔度,mm/kN;
 C_{iLL} ——第 i 次卸载再加载时的加载线柔度,mm/kN;
 C_e ——C(T)试样进行转动修正后的弹性柔度,mm/kN。

4 试验方法提要

4.1 本方法采用疲劳预制裂纹试样,三点弯曲加载或用销钉拉伸加载,测定 J 与裂纹扩展量的关系。试验过程中可以对载荷-施力点位移进行数值采样,或在X-Y记录仪上绘制 $P-\Delta$ 曲线。将测得的 J 值对裂纹扩展量 Δa 作图。在规定的裂纹扩展量范围内,至少要有四个试验点。用最小二乘法按幂乘关系拟合 J 与 Δa 的曲线 J_R 。根据材料的有效屈服强度,按规定求出钝化线方程,在 $J-\Delta a$ 图上作钝化线。偏置0.2 mm作钝化线的平行线。偏置线与幂乘拟合线的交点对应的 J 值记为 J_0 ,如果本方法规定的有效性条件均被满足,定义 J_0 为 J_{Ic} 。

4.2 为获得 J 与 Δa 的关系曲线,可以采用两种方法。第一种方法至少需要5个形状及几何尺寸完全相同的预制裂纹试样,分别加载到不同的裂纹扩展量;用光学方法在断口上测定裂纹长度,然后把测得的 J 与 Δa 作图,得到 J_R 曲线;这种方法称为多试样法。第二种方法只需一个试样,称为单试样法,用弹性柔度或与之相当的其它间接方法求出试样的裂纹长度及扩展量。

5 试验设备

5.1 试验机