



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 38769—2020

---

## 金属材料 预裂纹夏比试样冲击 加载断裂韧性的测定

**Metallic materials—Measurement of fracture toughness at impact  
loading rates using precracked Charpy-type test pieces**

(ISO 26843:2015, MOD)

2020-04-28 发布

2020-11-01 实施

---

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

目次

前言 ..... I

引言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 符号和说明 ..... 1

4 原理 ..... 3

5 试样 ..... 5

6 试验机 ..... 6

7 试验程序和测量 ..... 6

8 断裂力学参数的计算 ..... 7

9 试验报告 ..... 8

附录 A（规范性附录） 适用于各类试验程序的试验机 ..... 11

附录 B（资料性附录） 估算应变速率 ..... 12

附录 C（规范性附录） 动态断裂韧性评价 ..... 13

附录 D（规范性附录） 用多试样法测定冲击加载速率下的阻力曲线 ..... 17

附录 E（规范性附录） 用归一化方法评定  $J_d-\Delta a$  阻力曲线 ..... 18

附录 F（规范性附录） 测定断裂韧性特征值  $J_{0.2Bd}$  ..... 20

附录 G（规范性附录） 有效性判据 ..... 21

附录 H（规范性附录） 测定  $J$  积分断裂韧性 ..... 23

附录 I（资料性附录） 试验报告示例 ..... 25

参考文献 ..... 29

订购号: 0100220207100127 防伪编号: 2022-0207-0231-3092-1538 购买单位: 北京中培质联

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用重新起草法修改采用 ISO 26843:2015《金属材料 用预制裂纹夏比型试样测定冲击加载速率下的断裂韧性》。

本标准与 ISO 26843:2015 相比存在技术性差异,这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置用垂直单线( | )进行了标识,这些差异及其原因如下:

- 将国际标准“范围”中有关技术背景介绍增加至“引言”中,使标准使用者更易理解标准的技术内容和相关背景(见第 1 章,ISO 26843:2015 的第 1 章);
- 关于规范性引用文件,本标准做了具有技术性差异的调整,以适应我国的技术条件,调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中,具体调整如下:
  - 用修改采用国际标准的 GB/T 229 代替 ISO 148-1(见第 3 章、第 4 章、5.1、5.6、7.1、9.4.5);
  - 用修改采用国际标准的 GB/T 3808 代替 ISO 148-2(见 6.1、A.4、C.2.5);
  - 用修改采用国际标准的 GB/T 19748 代替 ISO 14556(见引言、第 3 章、第 4 章、6.2、7.1、9.4.5、A.2、D.2.2);
  - 用修改采用国际标准的 GB/T 21143 代替 ISO 12135(见第 3 章、5.2、7.2、7.6、D.1、D.2.2、F.1、F.2、G.2);
  - 用修改采用国际标准的 GB/T 30069.2 代替 ISO 26203-2(见 8.6、F.2)。
- 修改了  $\Delta a_{\max}$ 、 $J_g$  与  $t_f$  的定义,明确符号的名称定义,使后续的图例和公式计算更清晰(见第 3 章);
- 规定了在预制疲劳裂纹过程中,最小与最大力比应控制在 0~0.1 之间,符合我国国情以及与 GB/T 21143 保持一致(见 5.4);
- 将国际标准“与九点初始裂纹平均值之差”修改为“与九点最终裂纹平均值之差”,使上下文一致,并与 ISO 12135 及 GB/T 21143 保持一致(见 9.4.5);
- 增加“总则”与三类不同试验机的分类,更符合我国国情,并便于标准使用者理解(见附录 A);
- 将原表中  $t''=f(t')$  修改为  $f(t')$ ,保持上下文一致(见表 C.1);
- 将国际标准中的符号  $U_{\text{tot}}$  修改为  $W_s$ ,与附录 H 上下文一致(见 D.2.2);
- 修改了式(E.5),提高数据的准确度(见 E.2);
- 增加了对迭代过程的技术说明,便于标准使用者理解,并与 GB/T 21143 保持一致(见 E.3)。

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(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位:宝山钢铁股份有限公司、上海发电设备成套设计研究院有限责任公司、力试(上海)科学仪器有限公司、深圳万测试验设备有限公司、钢研纳克成都检测认证有限公司、冶金工业信息标准研究院。

本标准主要起草人:方健、田根起、董莉、高怡斐、王斌、张建伟、黄星、侍克献、侯慧宁。

# 引 言

本标准与 GB/T 19748 关系密切。利用仪器化冲击可获得金属材料预制裂纹夏比试样在冲击加载速率条件下力、位移与能量的关系,当满足相应有效性判据时,使用本标准所测得的材料动态断裂韧性结果与常规大尺寸试样的断裂韧性结果具有可比性。由于夏比试样的尺寸较小,有效性判据一般较难达到。然而,试验得到的性能结果可用于材料的研发、质量控制以及建立冲击加载速率条件下材料性能与试验温度的相关性。

使用本标准测得的材料断裂韧性与在准静态加载条件下测得的结果存在差异。事实上,在脆性区间或韧脆区间开展试验时,材料的断裂韧性将随着加载速率的提高而降低,而在全韧区间结果恰相反(即断裂韧性同时提高)。有关加载速率(或应变速率)对断裂韧性的影响请参阅参考文献[1]。此外,断裂韧性通常也受试验温度影响。因此,试验者需给出每次试验实际的试验温度与加载速率。

当铁素体钢在韧脆转变区间发生解理脆断时,由于结果分散性(差异性)较大而无法通过简单的统计充分表征材料的性能。此时需进行额外的试验并采用适用于此类型试验相关的统计方法开展性能评价,参见参考文献[2]。

订购号: 0100220207100127 防伪编号: 2022-0207-0231-3092-1538 购买单位: 北京中培质联

# 金属材料 预裂纹夏比试样冲击 加载断裂韧性的测定

## 1 范围

本标准规定了用断裂力学方法对金属材料预制裂纹夏比试样进行仪器化冲击并评价其断裂韧性的原理、试样、试验机、试验程序和测量、断裂力学参数的计算和试验报告。

本标准适用于金属材料预制裂纹的夏比试样冲击断裂韧性的测定。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法(GB/T 229—2007,ISO 148-1: 2006,MOD)

GB/T 3808 摆锤式冲击试验机的检验(GB/T 3808—2018,ISO 148-2: 2008,MOD)

GB/T 19748 金属材料 夏比 V 型缺口摆锤冲击试验 仪器化试验方法(GB/T 19748—2019,ISO 14556: 2015,MOD)

GB/T 21143 金属材料 准静态断裂韧度的统一试验方法 (GB/T 21143—2014,ISO 12135: 2002,MOD)

GB/T 30069.2 金属材料 高应变速率拉伸试验 第 2 部分:液压伺服型与其他类型试验系统(GB/T 30069.2—2016,ISO 26203-2: 2011,MOD)

## 3 符号和说明

本标准使用的符号和说明见表 1。

表 1 符号和说明

| 符号                | 说明                                | 单位  |
|-------------------|-----------------------------------|-----|
| $a$               | 名义裂纹长度(用于预制疲劳裂纹的目的,该指定值小于 $a_0$ ) | mm  |
| $a_f$             | 终止裂纹长度( $a_0 + \Delta a$ )        | mm  |
| $a_m$             | 机械加工切口长度                          | mm  |
| $a_0$             | 初始裂纹长度                            | mm  |
| $\Delta a$        | 裂纹扩展量( $a - a_0$ )                | mm  |
| $\Delta a_{\max}$ | $J$ 值确定的裂纹扩展边界                    | mm  |
| $\Delta a_s$      | 与位移 $s$ 对应的裂纹扩展量                  | mm  |
| $B$               | 试样厚度                              | mm  |
| $B_e$             | 试样有效厚度,见式(E.7)定义                  | mm  |
| $B_N$             | 两侧槽之间的试样净厚度                       | mm  |
| $C_M$             | 试验机的柔度                            | m/N |

表 1 (续)

| 符号             | 说明                                                    | 单位                                     |
|----------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| $C_0$          | 试样的弹性柔度                                               | m/N                                    |
| $C_S$          | 试样的理论柔度                                               | m/N                                    |
| $E$            | 杨氏弹性模量                                                | GPa                                    |
| $d\epsilon/dt$ | 应变速率                                                  | $s^{-1}$                               |
| $f_g$          | 输出频率极限                                                | Hz                                     |
| $F$            | 施加的力                                                  | N                                      |
| $F_{cd}$       | 当出现图 1 所示不稳定裂纹扩展时所施加的力                                | N                                      |
| $F_f$          | 预制疲劳裂纹结束阶段的最大力                                        | N                                      |
| $F_{gy}$       | 屈服力,见 GB/T 19748 定义                                   | N                                      |
| $F_m$          | 最大力,见 GB/T 19748 定义                                   | N                                      |
| $F_s$          | 与位移 $s$ 对应的力                                          | N                                      |
| $J_d$          | 动态 $J$ 积分                                             | MJ/m <sup>2</sup>                      |
| $J_{cd}$       | 与 GB/T 21143 中 $J_{c(B)}$ 对应的动态 $J$ 值( $B=10$ mm)     | MJ/m <sup>2</sup>                      |
| $J_g$          | $J$ 值确定的裂纹扩展的上边界                                      | MJ/m <sup>2</sup>                      |
| $J_{d,max}$    | 本标准方法定义的 $J_d$ - $R$ 材料特性的极限值                         | MJ/m <sup>2</sup>                      |
| $J_{ud}$       | 与 GB/T 21143 中 $J_{u(B)}$ 对应的动态 $J$ 值( $B=10$ mm)     | MJ/m <sup>2</sup>                      |
| $J_{0.2Bd}$    | 与 GB/T 21143 中 $J_{0.2BL(B)}$ 对应的动态 $J$ 值( $B=10$ mm) | MJ/m <sup>2</sup>                      |
| $dJ_d/dt$      | 动态 $J$ 积分变化速率                                         | MJ/m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>      |
| $K_d$          | 动态应力强度因子                                              | MPa · m <sup>0.5</sup>                 |
| $K_{Jd}$       | 由 $J$ 积分计算得到的动态应力强度因子                                 | MPa · m <sup>0.5</sup>                 |
| $K_I^{dyn}(t)$ | 冲击响应曲线法中的即时应力强度因子                                     | MPa · m <sup>0.5</sup>                 |
| $K_{Id}$       | 平面应变动态断裂韧性                                            | MPa · m <sup>0.5</sup>                 |
| $K_{Jcd}$      | 由解理脆断发生时刻 $J$ 积分值计算得到的动态应力强度因子                        | MPa · m <sup>0.5</sup>                 |
| $dK_d/dt$      | 动态应力强度因子的变化速率                                         | MPa · m <sup>0.5</sup> s <sup>-1</sup> |
| $KV$           | 冲击吸收能量,见 GB/T 229 定义                                  | J                                      |
| $KV_0$         | 当摆锤降低冲击速度至 $v_0$ 时所对应的有效势能                            | J                                      |
| $M$            | 摆锤试验机打击锤的总质量                                          | kg                                     |
| $n$            | 应变硬化指数                                                | —                                      |
| $N$            | 有效试样数量                                                | —                                      |
| $R_{fd}$       | 动态流变应力,定义为动态屈服强度与动态抗拉强度的平均值                           | MPa                                    |
| $R_{md}$       | 在断裂韧性试验相同应变速率下的动态抗拉强度                                 | MPa                                    |
| $R_{pd}$       | 在断裂韧性试验相同应变速率下的动态屈服强度                                 | MPa                                    |
| $R_p$          | 准静态应变速率下的屈服强度                                         | MPa                                    |
| $s$            | 试样位移(根据 GB/T 19748 计算得到)                              | mm                                     |

表 1 (续)

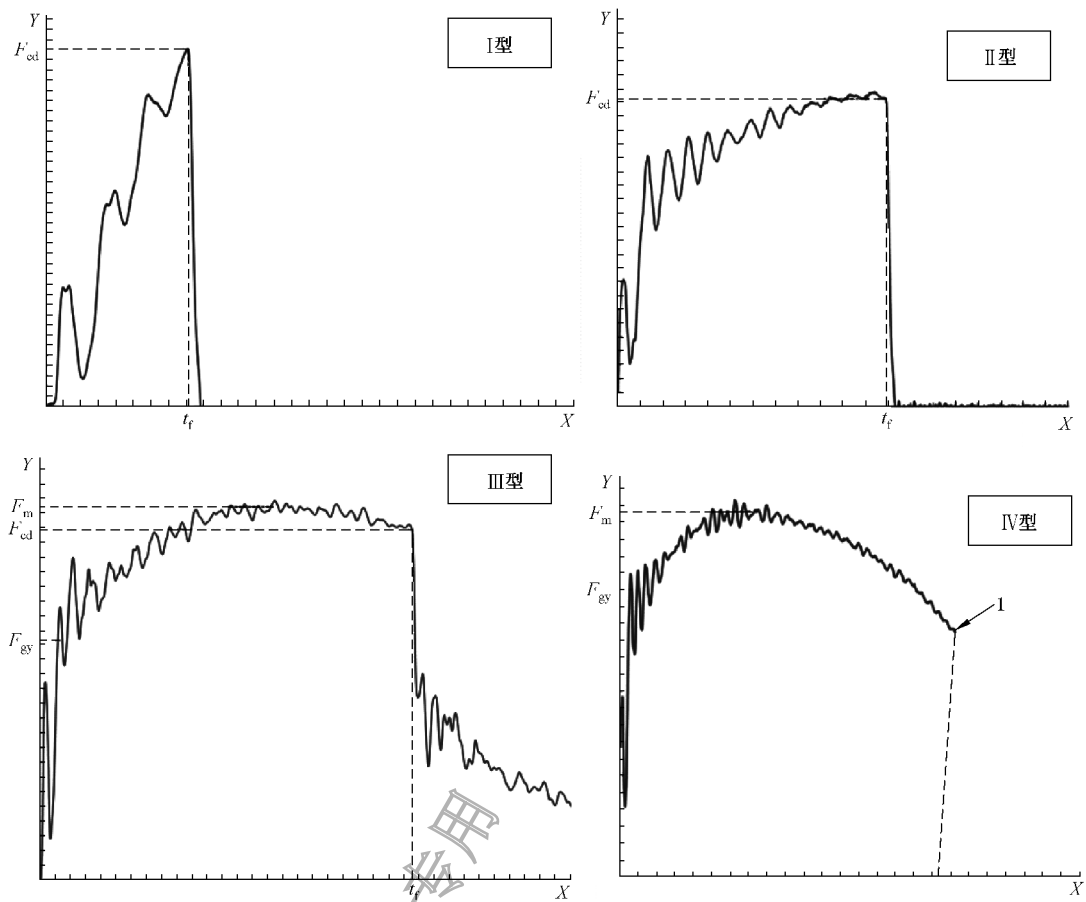
| 符号       | 说明                                                   | 单位  |
|----------|------------------------------------------------------|-----|
| $s_{pl}$ | 试样位移中的塑性分量                                           | mm  |
| $S$      | 跨距                                                   | mm  |
| $T$      | 温度                                                   | ℃   |
| $t$      | 时间                                                   | s   |
| $t_f$    | 试样受载至启裂时长                                            | s   |
| $t_i$    | 裂纹启裂时刻                                               | s   |
| $t_r$    | 信号上升的时间                                              | s   |
| $t_o$    | 摆锤冲击试样的时刻(试样开始变形的时刻)                                 | s   |
| $\tau$   | 力振荡的周期                                               | s   |
| $v_0$    | 锤刃初始冲击速度                                             | m/s |
| $v_{0s}$ | 与摆锤试验机最大有效能量对应的锤刃冲击速度                                | m/s |
| $W$      | 试样有效宽度                                               | mm  |
| $W_m$    | 最大力时的能量,见 GB/T 19748 定义                              | J   |
| $W_p$    | 至位移 $s$ 时力-位移曲线下面积的塑性分量                              | J   |
| $W_s$    | 至位移 $s$ 时力-位移曲线下面积所对应的总断裂能量                          | J   |
| $W_t$    | 力-位移曲线下全部面积对应的积分能量(积分至 $F=0.02F_m$ ),见 GB/T 19748 定义 | J   |
| $W_o$    | 有效冲击能量                                               | J   |
| $\nu$    | 泊松比                                                  | —   |

#### 4 原理

采用 GB/T 19748 规定的仪器化冲击试验机对疲劳预制裂纹的夏比试样实施冲击试验,采用断裂力学的方法基于表 2 和图 1 所反映的力-时间曲线评价材料的断裂韧性与其他动态断裂力学性能,图 2 给出了评价断裂性能和判断有效性的逻辑结构。本标准扩展了 GB/T 229 所实施的针对 V 型缺口试样的夏比冲击试验。当有效性条件满足时,本标准也可以用来开展“主曲线法”(Master Curve)参考温度点的评价<sup>[2]</sup>。

表 2 拟测定的断裂韧性

| 材料响应/断裂行为                                                      | 相应类型 | R-曲线             | 特征参数                                           |
|----------------------------------------------------------------|------|------------------|------------------------------------------------|
| 线弹性                                                            | I    | —                | $J_{cd}, K_{Jcd}, K_{Id}(B, dK_d/dt, dJ_d/dt)$ |
| 弹塑性,不稳定断裂<br>$\Delta a < 0.2 \text{ mm}$                       | II   | —                | $J_{cd} \cdot K_{Jcd}(B, dJ_d/dt)$             |
| 弹塑性,不稳定断裂<br>$0.2 \text{ mm} \leq \Delta a \leq 0.15(W - a_0)$ | II   | —                | $J_{ud}(B, \Delta a, dJ_d/dt)$                 |
| 弹塑性,不稳定断裂<br>$\Delta a > 0.15(W - a_0)$                        | III  | $J_d - \Delta a$ | $J_{0.2Bd}(dJ_d/dt)$                           |
| 弹塑性,稳定断裂                                                       | IV   | $J_d - \Delta a$ | $J_{0.2Bd}(dJ_d/dt)$                           |



说明：  
X —— 时间；  
Y —— 力；  
1 —— 试验终止。

图 1 典型的力-时间曲线示意图

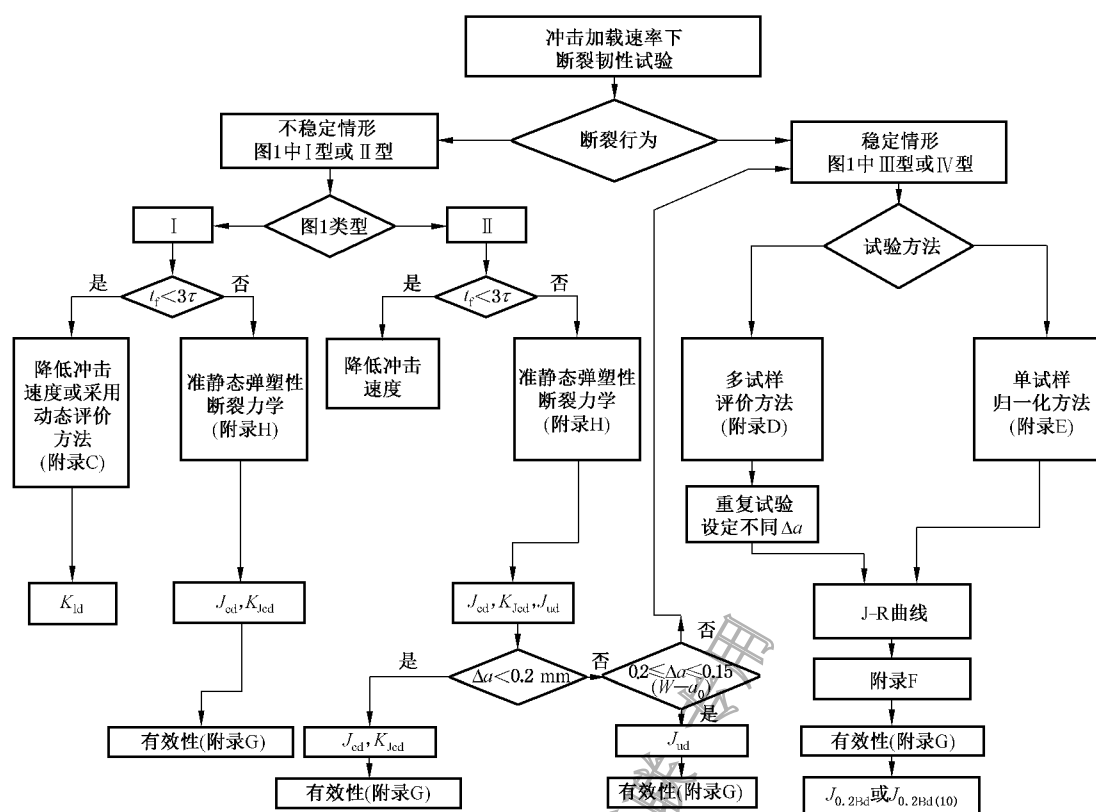


图2 应用本试验方法的流程图

## 5 试样

5.1 应根据 GB/T 229 制作深度为 2.0 mm 的 V 型缺口夏比冲击试样,并预制疲劳裂纹。

5.2 试样通过弯曲疲劳预制的初始裂纹长度  $a_0$ ,应满足  $0.30 \leq a_0/W \leq 0.70$  要求。如果  $J$  值的结果需同标准全尺寸试样所得的断裂韧性值直接比较,例如  $J_{0.2BL}$  (见 GB/T 21143 相关规定),则应满足  $0.45 < a_0/W < 0.70$  的条件。由于试样刚度越大越容易提高试验的成功率,因此制备较短的裂纹长度更为适宜。

5.3 为便于预制疲劳裂纹,可在试样上预先机加工或电火花切割出线槽。若试样上已有 V 型缺口,则疲劳裂纹可在原缺口根部开始预制。机加工缺口的长度  $a_m$  应比所要求的初始裂纹长度  $a_0$  至少短 1 mm。

5.4 在最后的 1.3 mm 或 50% 的预裂纹扩展量时,取两者较小值。最大疲劳预制裂纹力  $F_f$  应取式(1)或式(2)的较小者。

$$F_f = \frac{0.8B(W - a_0)^2}{S} R_p \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$F_f = \xi \cdot E \left[ \frac{\sqrt{WBB_N}}{f\left(\frac{a_0}{W}\right)} \right] \left( \frac{W}{S} \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中,  $\xi = 1.6 \times 10^{-4} \text{ m}^{1/2}$ , 函数  $f\left(\frac{a_0}{W}\right)$  的值由附录 H 中式(H.2)确定。在预制疲劳裂纹过程中,最小与最大力之比应在 0~0.1 之间。

注：对于无侧槽试样， $B_N = B$ 。

5.5 当疲劳预制裂纹在温度  $T_1$  下进行、试验在温度  $T_2$  下进行，式(2)中的  $F_f$  应乘以修正系数  $R_p[T_1]/R_{pd}[T_2]$ ，这里的  $R_p[T_1]$  是温度  $T_1$  时的准静态屈服强度，而  $R_{pd}[T_2]$  是在温度  $T_2$  时的动态屈服强度。应取  $R_p[T_1]$  和  $R_{pd}[T_2]$  的较小值代入式(1)得到  $F_f$ 。

5.6 试样疲劳预裂后，可采用 V 型切削刀具根据 GB/T 229 的要求在试样两侧开 1.0 mm 深的侧槽。推荐测定所有的  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线的试样都开侧槽。有关裂纹长度测量的具体要求，见 9.4.2。

## 6 试验机

6.1 可采用附录 A 规定的试验机进行试验。无论采用何种类型试验机，其冲击锤刃与砧座的尺寸应符合 GB/T 3808 要求。

6.2 试验机的仪器化与校准程序应符合 GB/T 19748 的规定。

6.3 对于能够记录完整力信号（即力信号返回至测量基准线）的试验，冲击吸收总能量  $KV$  与仪器化积分总能量  $W_t$  的差值应小于  $KV$  值的  $\pm 15\%$  或  $\pm 1\text{ J}$ ，取两者较大值。如无法满足上述要求且偏差未超过  $KV$  值的  $\pm 25\%$  或  $\pm 2\text{ J}$ ，取两者较大值，则可以通过修正力测量值的方式达到  $KV = W_t$ ，见参考文献[3]。若偏差超过  $KV$  值的  $\pm 25\%$  或  $\pm 2\text{ J}$ ，则试验无效，并需对仪器化冲击锤刃进行校准后方能按需重新试验。如试验中无法记录完整的力信号（如试样在试验中飞出而非全部打断），则需采用相同的试验装置和至少 5 个具有近似冲击吸收能量的夏比试样（预裂试样、无预裂试样或两者混合）开展验证试验，验证试验应能记录完整的力信号，且  $KV$  与  $W_t$  的偏差应小于  $KV$  值的  $\pm 15\%$  或  $\pm 1\text{ J}$ ，取两者较大值。

## 7 试验程序和测量

### 7.1 总则

按照 GB/T 229 进行夏比冲击试验，可用其他类型的试验机见附录 A。根据 GB/T 19748 记录力-位移曲线，并以此测定关键结果参数  $F_m$ 、 $F_{cd}$ 、 $W_m$  和  $W_t$ 。除 GB/T 19748 规定的程序外，本标准也给出了测定冲击速度、能量与裂纹长度的特定方法。通过这些基本数据可用于评测断裂韧性参数，见附录 D～附录 F。

注：本标准中的  $F_{cd}$  对应于 GB/T 19748 中的  $F_{iu}$ （不稳定裂纹扩展起始力）。

### 7.2 冲击速度

本标准所实施的试验冲击速度  $v_0$  高于 GB/T 21143 所规定的试验速度，通常所采用的冲击速度范围为 1 m/s～5.5 m/s。

注 1：通过调节冲击锤刃的释放角度（高度），可以改变摆锤式或落锤式冲击试验机的冲击速度。

注 2：可以通过以下方式降低冲击速度至  $v_0$ ：在砧座无试样状态下将摆锤降低至合适角度（高度）释放。通过摆锤指针（或角度编码器或模拟标尺）的方式读出空摆能量  $KV_0$ （单位为 J）。如摆锤式冲击试验机标称能量为 300 J 的话，则降低后的冲击速度按式(3)计算得到。

$$v_0 = v_{0s} \sqrt{\frac{300 - KV_0}{300}} \dots\dots\dots (3)$$

式中， $v_{0s}$  是摆锤式试验机最大势能（即试验机标称冲击能量，本例为 300 J）所对应的冲击速度。根据所使用的摆锤试验机实际最大势能，替代式(3)中的 300，计算冲击速度  $v_0$ 。降低后较小的速度（如 1 m/s～2 m/s）更有利于试验，特别是针对脆断行为，这是因为较小的冲击速度降低了打击试样产生的振荡幅，并且增加了试样受载至起裂时长  $t_f$  内的有效载波数（见 8.2）。

### 7.3 断裂时长

当  $t_f$  至不稳定裂纹扩展起始时长小于  $3\tau$  时,  $\tau$  为仪器化测力信号的波动周期, 则表明断裂发生在所记录的力-时间或力-位移曲线上小于 3 个载波振荡信号之后。此时, 由于力值信号的振荡干扰已无法从所记录的力信号中准确辨识试样启裂时刻, 同时也无法使用本标准进行后续试验评价, 见图 1 中 I 型曲线, 并参见参考文献[4-6]。对此, 建议在后续试验中适当降低冲击速度以增加试样断裂前有效的振荡载波数。

注: 当试样受载至启裂时长  $t_f < 3\tau$  时, 可以采用有关动态评价方法而不是测力的方式确定  $t_f$ , 例如冲击响应曲线法和裂纹尖端应变片法, 参见附录 C。

### 7.4 多试样试验

通过多试样法测定动态  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线时, 当稳态裂纹扩展了特定量  $\Delta a$  时中止断裂过程, 重复试验直到有足够多的有效数据点绘制  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线, 相关的步骤见附录 D。

### 7.5 单试样试验

本标准采用“归一化方法”, 见附录 E, 也可采用文献报道的其他单试样技术。

### 7.6 试验后的裂纹长度测量

试样在试验后应被打断, 进行断口检查测定原始裂纹长度  $a_0$  及在试验过程中发生的稳定裂纹扩展量  $\Delta a$  (若可行)。测量原始裂纹长度与稳定或不稳定裂纹扩展量 (如适用) 时, 应采用 GB/T 21143 规定的方法 (即 9 点平均法)。无论何种情形, 均应在报告中记录不规则裂纹前缘的情况。

注 1: 对于某些试验, 有必要在试样打断之前标记出稳定裂纹扩展的范围。稳定裂纹扩展量可以通过加热着色 (氧化发蓝) 或试验后二次疲劳的方法标记。注意尽量减小试验后试样的变形。对于具有韧脆转变特性的材料可以预先冷却试样, 有助于确保打断试样时发生脆断而减小变形。

注 2: 若加热着色 (氧化发蓝) 后试样断口上疲劳裂纹、稳定扩展裂纹与脆性裂纹间反差较小, 使用显微镜测定裂纹长度时宜采用暗场照明或滤镜。对断口进行数码拍摄, 并随后借助数字化图像分析软件更有助于获得可靠的结果。

## 8 断裂力学参数的计算

8.1 基于试样不同的断裂行为评价其特征断裂韧性参数, 表 2 描述的力-位移曲线类型分别与不同的断裂行为对应。因此, 通过试验测得力-位移或力-时间曲线后应根据图 1 确定与之对应的曲线类型。

8.2 当出现与图 1 中 I 型或 II 型曲线所示的不稳定断裂情形时, 需根据叠加在力信号上的振荡情况选择适合的评价方法如下:

- 如果断裂发生在三个波动周期之内, 即  $t_f < 3\tau$ , 则在后续试验中应降低冲击速度以减轻力信号的振荡效应。针对此类情形, 也可以采用附录 C 提供的动态分析方法。
- 如果断裂发生在至少三个波动周期之后, 即  $t_f \geq 3\tau$ , 则应采用附录 H 提供的公式评价  $J$  积分断裂韧性 ( $J_{cd}$  或  $J_{ud}$ ), 并根据附录 G 评价断裂韧性结果的有效性。

8.3 当出现如图 1 中 III 型或 IV 型曲线所示的稳定裂纹扩展情形时, 应采用附录 D 的多试样法或附录 E 的单试样法确定  $J_d$ - $\Delta a$  曲线。应根据附录 G 对结果进行有效性检查。

- 附录 D 给出了多试样法与相应  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线的评定步骤。
- 本标准采用“归一化方法”的单试样技术测定  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线的数值解或解析解, 见附录 E。也可采用文献报道的其他单试样技术, 如基本关键曲线法<sup>[7-9]</sup>、解析化三元参数法<sup>[10,11]</sup>等。

购买单位：北京中培质联  
防伪编号：2022-0207-0231-3092-1538  
订单号：0100220207100127

8.4 附录 F 提供了从动态裂纹扩展阻力曲线上测定特征断裂韧性结果参数 $[J_{0.2Bd}$ 或 $J_{0.2Bd(10)}$ ]的方法，同样需根据附录 G 评价结果的有效性。

8.5 给出断裂韧性结果的同时应在括号中注明相应的加载速率，估测加载速率的方法见式(4)～式(6)。

I 型曲线：

$$\frac{dK_d}{dt} = \frac{K_d}{t_f} \dots\dots\dots (4)$$

II 型曲线：

$$\frac{dJ_d}{dt} = \frac{J_{cd}}{t_f} \text{ 或 } \frac{dJ_d}{dt} = \frac{J_{ud}}{t_f} \dots\dots\dots (5)$$

III 型或 IV 型曲线：

$$\frac{dJ_d}{dt} = \frac{F_m v_0}{B_N(W - a_0)} \eta_{pl} \left( \frac{a_0}{W} \right) \dots\dots\dots (6)$$

8.6 一些断裂韧性评价程序或结果有效性核查需要特定应变速率下材料的动态屈服强度，此时可根据 GB/T 30069.2 测定相应的参数，参考附录 B 也可估测相关的应变速率。

9 试验报告

9.1 报告结构

根据本标准编制试验报告，应包括 4 个部分(见 9.2～9.5)，被测材料的描述、试样和试验条件，包括试验环境都应按 9.2 注明。疲劳预裂见 9.3，裂纹前缘的平直度和裂纹长度的数据都应符合 9.4。试验得到的断裂参数应符合 9.4 的有效性要求。

9.2 试样、材料和试验环境(参见附录 I.1)

9.2.1 试样描述包括：

- 试样编号；
- 裂纹面取向；
- 取样位置。

9.2.2 试样尺寸包括：

- 厚度  $B$  和净厚度  $B_N$ ，单位为毫米(mm)；
- 宽度  $W$ ，单位为毫米(mm)；
- 初始相对裂纹长度， $a_0/W$ 。

9.2.3 材料描述包括：

- 材料的成分和标识编号；
- 产品形状(板，锻造，铸造等)和状态；
- 在疲劳预裂温度下的拉伸性能，参考值或测量值；
- 在试验温度下的拉伸性能，参考值或测量值。

9.2.4 试验环境包括：

- 温度，单位为摄氏度(℃)；
- 锤刃冲击速度，单位为米每秒(m/s)；
- 采用试验机的类型与特征。

9.3 预制疲劳裂纹的条件

预制疲劳裂纹的条件包括：

- $K_I$ , 单位为兆帕平方根米( $\text{MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$ );
- $F_I$ , 单位为千牛(kN);
- 预制疲劳裂纹温度, 单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )。

## 9.4 试验数据的判定

### 9.4.1 限定条件

所有数据均应满足特定要求以符合本方法的判定条件, 只有满足判定条件的数据才能根据本方法用于定义冲击加载速率下的断裂韧性。建议参照附录 I 的表格形式编排 9.4.2~9.4.4 所描述的数据。

### 9.4.2 裂纹长度的测量

根据 7.6 在试样厚度方向上等间隔的九点位置上测量裂纹长度, 在报告中应注明以下根据测量结果计算得到的平均值:

- 机械加工缺口长度( $a_m$ );
- (至疲劳预裂纹尖端的)初始裂纹长度( $a_0$ );
- 预制疲劳裂纹长度( $a_0 - a_m$ );
- 最终裂纹长度( $a_f$ );
- 平均裂纹扩展量( $\Delta a = a_f - a_0$ )。

### 9.4.3 断口的形貌

断口的形貌包括:

- 记录断口特殊形貌的信息;
- 记录不稳定裂纹扩展的信息, 如解理。

### 9.4.4 阻力曲线

表 I.2 为试样试验阻力曲线的数据。

### 9.4.5 数据判定的检查表

如果符合下述要求, 则数据有效:

- a) 试样应满足 GB/T 229 尺寸和公差的要求;
- b) 试验装置应满足 GB/T 229、GB/T 19748 与第 6 章的要求;
- c) 平均初始裂纹长度  $a_0$  应在  $0.30W \sim 0.70W$  之间;
- d) 预制的疲劳裂纹各部分, 从机械加工缺口的根部算起, 均需至少扩展 1.0 mm;
- e) 预制疲劳裂纹的最大力值应满足 5.4 的要求;
- f) 中间七点的初始裂纹长度与九点初始裂纹平均值之差应不超过  $0.1a_0$ ;
- g) 中间七点的最终裂纹长度与九点最终裂纹平均值之差应不超过  $0.1(a_0 + \Delta a)$ ;
- h) 测定  $J_d - \Delta a$  阻力曲线和  $J_{0.2Bd}$  的数据点数量和间隔应满足附录 G 的要求。

## 9.5 试验结果

试验报告应注明以下所测得的断裂参数:

- a)  $K_{Id}$ , 若适用;
- b)  $dK_d/dt$ , 若适用;
- c)  $J_{cd}$ ,  $K_{Jcd}$ ,  $J_{ud}$  或  $J_{0.2Bd}$ , 若适用;

- d)  $dJ_d/dt$ , 若适用;
- e) 力-时间曲线的类型, 参见图 1 中的 I 型~IV 型曲线;
- f) 试验记录。

附 录 A  
(规范性附录)  
适用于各类试验程序的试验机

### A.1 总则

执行本标准规定程序的通用类型试验机要求如下。

### A.2 摆锤式冲击试验机

A.2.1 根据 GB/T 19748 规定设计的仪器化夏比摆锤冲击试验机,具有摆锤释放位置可变的功能,因此试验机具有可变的打击速度。

A.2.2 可以使用其他具有固定砧座/移动锤刃或固定锤刃/移动砧座以及固定或移动试样的其他类型的摆锤冲击试验机。

A.2.3 摆锤释放位置可变,因此此类试验机的打击速度通常也是可变化的。

A.2.4 仪器化锤刃或砧座可提供力-时间或力-位移关系曲线。

### A.3 落锤式冲击试验机

可配备弹簧辅助蓄能装置,试验机打击速度或落锤的质量不设限制。打击锤刃应通过仪器化设计以提供力-时间或力-位移关系曲线。

### A.4 液压伺服型高速试验机

能够对试样施加力,系统处于开环模式,可通过模拟试验或预先试验进行系统优化,以获得恒定的位移速率。必须注意是,作动器应当在锤刃打击试样前达到所需的速率。锤刃、砧座与支座应满足 GB/T 3808 的要求。

附录 B  
(资料性附录)  
估算应变速率

断裂力学试验中的加载速率以断裂特征量随时间的变化率来表征,如  $dJ_d/dt$ 。通常,裂纹尖端的应变速率是未知的。特定温度断裂力学试验所需的强度值  $R_{pd}$  须通过与此相适应的特定应变速率拉伸试验来确定。因此,  $R_{pd}$  可能与静态拉伸试验结果  $R_p$  存在显著差异。通过式(B.1)可近似估算断裂力学试验所对应的等效应变速率<sup>[12~13]</sup>,式(B.1)通常可用于估算与试样断裂相关的应变速率。

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{2R_p}{\bar{t}E} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

- $R_p$ ——试验温度下的屈服强度,单位为兆帕(MPa);
- $E$  ——试验温度下的杨氏弹性模量,单位为吉帕(GPa);
- $\bar{t}$  ——小尺度屈服时至断裂时刻所需的时间,或当材料发生显著弹塑性变形时,力-时间关系曲线上初始线性段的时间间隔,单位为秒(s)。

订单号: 0100220207100127 防伪编号: 2022-0207-0231-3092-1538 购买单位: 北京中培质联

## 附录 C

### (规范性附录)

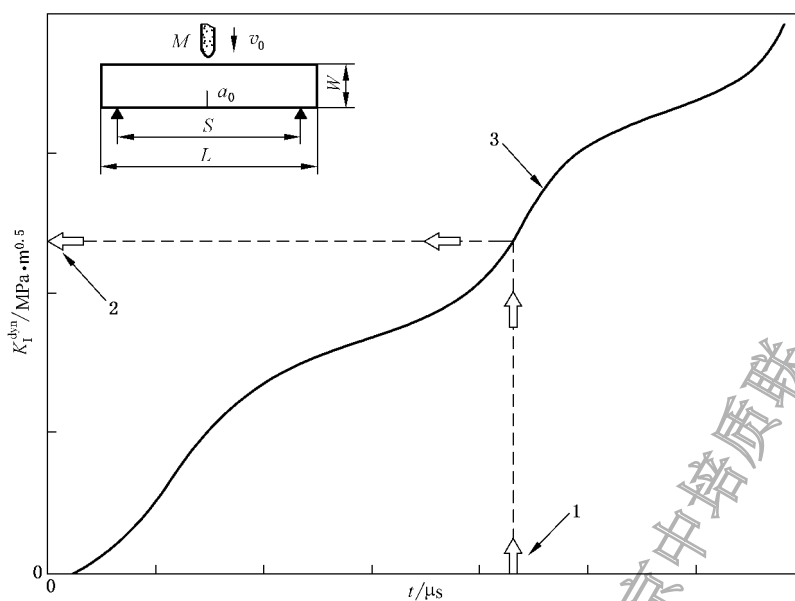
### 动态断裂韧性评价

#### C.1 总则

试验记录与结果的分析计算视具体情况而有所不同。但是所有测试都具有一些共同的特性结果,包括断裂时间、力-时间或力-位移响应。冲击响应曲线法和裂纹尖端应变片测试提供了准确可重复的试验结果。

#### C.2 冲击响应曲线法

C.2.1 冲击响应曲线法是一种全动态测量技术<sup>[14-16]</sup>。它适用于任何试验条件,特别是较高的冲击速度或低温条件,并仅适用于钢。冲击响应法曲线示意图如图 C.1 所示。该方法适用于  $t_i \geq 25 \mu\text{s}$  情形。



说明:

- 1——试样受载至启裂时长  $t_i$ , 通过试验实测;
- 2——冲击断裂韧性,  $K_{Id}$ ;
- 3——冲击响应曲线。

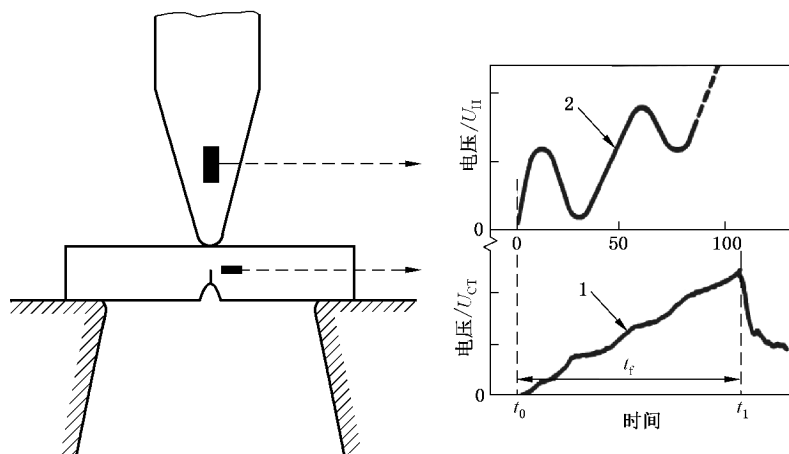
图 C.1 冲击响应曲线法示意图

冲击开始时刻  $t_0$  由力信号前沿标识。裂纹扩展时刻  $t_i$  由 C.2.2 所述的方法测定, 试样受载至启裂时长  $t_i$  等于  $t_i$  与  $t_0$  之差, 见图 C.2 所示。

C.2.2 应变片粘贴在试样上, 其中心距疲劳裂纹尖端 1 mm~2 mm 且敏感栅垂直于裂缝方向, 如图 C.2 所示。此类应变片通常无须校准。

C.2.3 应变片的敏感栅尺寸不应超过 1.5 mm×1.5 mm, 粘贴应变片应使用热固化溶剂稀释的环氧粘合剂以获得足够薄的胶合线。使用三线四分之一桥接方式将应变片与高频响应放大器连接, 推荐响应

频率大于或等于 1 MHz。典型的应变片激励电压为 1 V~4 V。



说明:

1——裂纹尖端应变片信号;

2——锤刃力信号。

图 C.2 冲击过程中典型的锤刃力和裂纹尖端应变片信号示意图, 应变片实测信号突降点定义为裂纹扩展开始时刻。

C.2.4 当试样受载至启裂时长足够,  $t_f > 3\tau$  [4-6], 启裂点定义为锤刃记录的力陡降至少 5% 的时刻。此类情形时, 可根据附录 H 进行准静态试验评估。如果  $t_f \leq 3\tau$ , 则将启裂点定义为裂纹尖端应变计信号陡降至少 20% 的时刻, 同时采用冲击响应曲线法进行动态断裂韧性评估。

C.2.5 冲击响应曲线法主要由应力强度因子与时间关系构成, 即  $K_I^{\text{dyn}}(t)$ 。根据实测的  $t_f$ , 可根据式 (C.1) 测定冲击断裂韧性  $K_{Id}$ :

$$K_{Id} = K_I^{\text{dyn}}(t = t_f) \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

三种特定冲击速度 ( $v_0 = 2.0 \text{ m/s}$ ,  $3.8 \text{ m/s}$  和  $5.0 \text{ m/s}$ ,  $a/W = 0.5$ ) 的冲击响应曲线, 见图 C.3。

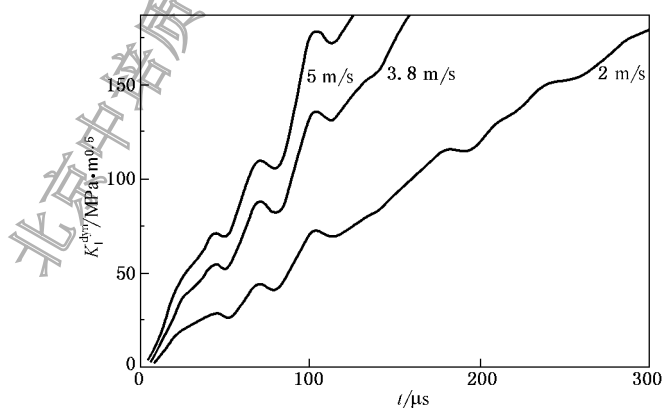


图 C.3 三种特定速率下的冲击响应曲线, 即  $K_I^{\text{dyn}}(t)$

实际使用时可采用式 (C.2):

$$K_I^{\text{dyn}} = R v_0 f(t') \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中, 常数  $R = 301 \text{ GN/m}^{5/2}$ , 修正因子  $f(t')$  的数值可从表 C.1 中获得,  $t'$  由式 (C.3) 得出:

$$t' = t \left[ 1 - 0.62 \left( \frac{a}{W} - 0.5 \right) + 4.8 \left( \frac{a}{W} - 0.5 \right)^2 \right] \dots\dots\dots (C.3)$$

式中,  $t$  是实际测得的时间物理量,  $t'$  是对居于  $0.45 < a_0/W < 0.55$  区间内的初始裂纹长度加以修正后的时间量。当  $t > 110 \mu\text{s}$  时, 修正因子小于 5%。由于  $f(t')$  修正函数的定义域限制  $t' \leq 110 \mu\text{s}$  (约等于  $2\tau$ ), 当  $t' > 110 \mu\text{s}$  时,  $f(t') = t'$ 。

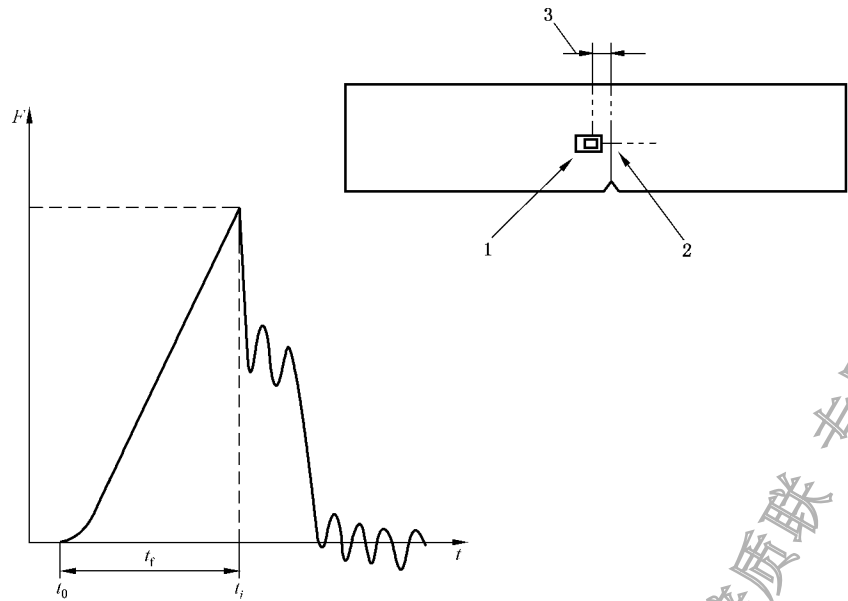
表 C.1 当  $0.45 \leq a_0/W \leq 0.55$  时评测  $K_{I, \text{dyn}}$  所需的修正值<sup>[14, 15, 16]</sup>

| $t'$<br>$\mu\text{s}$ | $f(t')$<br>$\mu\text{s}$ | $t'$<br>$\mu\text{s}$ | $f(t')$<br>$\mu\text{s}$ | $t'$<br>$\mu\text{s}$ | $f(t')$<br>$\mu\text{s}$ |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 0                     | 0                        | 40                    | 45                       | 80                    | 69                       |
| 2                     | 0                        | 42                    | 46                       | 82                    | 70                       |
| 4                     | 2                        | 44                    | 47                       | 84                    | 75                       |
| 6                     | 4                        | 46                    | 46                       | 86                    | 81                       |
| 8                     | 6                        | 48                    | 45                       | 88                    | 88                       |
| 10                    | 9                        | 50                    | 45                       | 90                    | 94                       |
| 12                    | 13                       | 52                    | 46                       | 92                    | 100                      |
| 14                    | 17                       | 54                    | 49                       | 94                    | 106                      |
| 16                    | 20                       | 56                    | 53                       | 96                    | 111                      |
| 18                    | 24                       | 58                    | 57                       | 98                    | 116                      |
| 20                    | 28                       | 60                    | 61                       | 100                   | 118                      |
| 22                    | 30                       | 62                    | 65                       | 102                   | 119                      |
| 24                    | 33                       | 64                    | 69                       | 104                   | 118                      |
| 26                    | 35                       | 66                    | 72                       | 106                   | 117                      |
| 28                    | 36                       | 68                    | 73                       | 108                   | 115                      |
| 30                    | 38                       | 70                    | 73                       | 110                   | 115                      |
| 32                    | 39                       | 72                    | 72                       |                       |                          |
| 34                    | 40                       | 74                    | 70                       |                       |                          |
| 36                    | 42                       | 76                    | 69                       |                       |                          |
| 38                    | 43                       | 78                    | 68                       |                       |                          |

注: 常数  $R$  数值适用于符合 GB/T 3808 的刚性摆锤试验机, 机器柔度系数  $C_m = 8.1 \times 10^{-9} \text{ m/N}$ 。如果测试设备的实际柔度与此值不同, 则需引入一阶修正系数, 即  $1.276 / (1 + 0.276 \times C_m \times 8.1 \times 10^{-9} \text{ m/N})$ , 通过与常数  $R$  的乘积来消除柔度的影响。参考文献[4]与参考文献[14]介绍了测定冲击试验机机器柔度的程序。

### C.3 裂纹尖端应变片法

C.3.1 裂纹尖端应变片法需使用粘贴在试样一侧或双侧应变片的输出信号, 应变片的中心需与疲劳裂纹尖端对齐, 且应变片敏感栅的方向与裂纹扩展垂直, 如图 C.4 所示。当  $a/W \approx 0.5$  时, 应变片的理想粘贴位置与裂纹尖端距离 5 mm 并与之对齐。见参考文献[17]与[19]。



说明：  
1——应变片；  
2——疲劳裂纹尖端；  
3——5 mm 典型距离。

图 C.4 裂纹尖端应变片法记录的典型力-时间曲线

C.3.2 应变片的敏感栅尺寸不应超过 1.5 mm×1.5 mm，粘贴应变片宜使用热固化溶剂稀释的环氧粘合剂以获得足够薄的胶合线。使用三线四分之一桥接方式将应变片与高频响应放大器连接，推荐频率响应大于或等于 1 MHz。典型的激励电压为 1 V~4 V。

C.3.3 首先将试样静态加载弯曲，以校准应变片测量放大器输出信号与所施加力之间的对应关系。至少需测量六组输出电压和对应的力值，直至最大的预裂纹应力强度因子  $K_{fmax}$ 。建议校准试验与冲击试验在同一试验机上进行。

C.3.4 实施冲击试验并记录应变仪输出信号，一条典型的力-时间测试记录如图 C.4 所示。

C.3.5 当试样受载至启裂时长足够， $t_i > 3\tau$  [4-6]，裂纹形成点定义为锤刃记录的力陡降至少 5% 的时刻。此类情形时，可根据附录 H 进行准静态试验评估。

C.3.6 如果  $t_i \leq 3\tau$ ，试样受载至启裂时长  $t_i$  可从应变片记录的力-时间曲线中得到，且  $K_{ld}$  可基于 C.2 所介绍的冲击响应曲线法计算确定。

## 附录 D (规范性附录)

### 用多试样法测定冲击加载速率下的阻力曲线

#### D.1 总则

当裂纹发生稳定扩展时,如图 1 中类型Ⅲ与类型Ⅳ,采用一些试验方法可测定材料的断裂韧性参数。多试样方法涉及对一系列名义相同的试样加载至设定的位移水平,进而诱使裂纹发生稳定的扩展量。每根试样在阻力曲线上提供一个点。根据 GB/T 21143 的规定,一根阻力曲线要求至少包括 6 组适宜的数据,方能确定靠近物理裂纹萌生处的断裂韧性。

注:将第一根试样加载至刚刚超出最大力点,有助于在后续试验中定位能量加载的水平。同时试验温度的选择需远高于材料的韧脆转变温度,以避免脆断造成的试样无效。

#### D.2 小角度冲击试验

D.2.1 本试验程序意图通过限制摆锤或落锤试验机的可用冲击能量  $W_0$ ,促使试样产生一定量的稳定裂纹扩展,但不足以完全打断试样。通过对一组平行试样进行不同打击能量  $W_{0,i}$  的系列化试验,可得到一系列不同的裂纹扩展量  $\Delta a_i$  与对应的  $J_d$  值,进而构建出  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线。

注:也可用阻挡块限制试样偏转避免试样完全断裂。

##### D.2.2 应采用以下程序:

- 预裂 7~10 个试样,并使其初始裂纹长度  $a_0$  名义相同;
- 对其中一个试样进行完整的仪器化冲击试验。并根据 GB/T 19748 评估最大力点对应的能量(裂纹形成功)  $W_m$  与总断裂能量  $W_t$ ;
- 确定能量间距  $\Delta W_0 = 2W_m/N$ ,其中  $N$  是小角度冲击试验的试样数量;
- 通过设置摆锤的释放位置或落锤的高度来进行冲击试验,例如  $W_0 = 2W_m/N$ 。同时应避免打击锤对试样的二次冲击;
- 对剩余的试样重复试验,以增量  $\Delta W_0 = 2W_m/N$  的水平逐次增加可用的初始打击能量  $W_0$ ;
- 可采用二次疲劳或热着色的方法标记裂纹扩展;
- 试验后断开试样,应注意尽量减少残样的变形。对于韧脆转变显著的金属材料可采取冷却的方式,确保通过脆断的方式打开试样;
- 对于每次试验,需确定试验终止力  $F_i$  和相应的吸收能量  $W_i$ ,并根据 7.6 测量  $a_0$  与  $\Delta a = \Delta a_i$  (其中“ $i$ ”是试验序号,且  $1 \leq i \leq N-1$ );
- 采用式(H.1)~式(H.8)计算  $J_i$ ,并用  $F_i, W_i, a_i$  与  $\Delta a_i$  分别替换  $F_s, W_s, a$  和  $\Delta a_s$ ;
- 在  $J_d$ - $\Delta a$  图中绘制所得到的  $N-1$  对数据点( $J_i, \Delta a_i$ )并根据 GB/T 21143 确定  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线,根据附录 F 确定  $J_{0.2Bd}$ ;
- 根据附录 G 的有效性判据对  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线和  $J_{0.2Bd}$  进行评价;
- 根据第 9 章报告试验结果。

注:各组试验之间冲击速度和加载速率的差别甚微,其对结果的影响可以忽略不计。

## 附录 E

(规范性附录)

用归一化方法评定  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线

E.1 归一化方法源于基础的关键曲线法,见参考文献[20]。本标准采用参考文献[21]介绍的评定方法。

E.2 测定  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线的第一步是根据 7.6 章测量初始和最终裂纹长度。随后,采用式(E.1)对每个载荷值  $F_{(i)}$  进行归一化计算,直至但不包括最大力  $F_m$ 。

$$F_{N(i)} = \frac{F_{(i)}}{WB_e \left[ \frac{W - a_{b(i)}}{W} \right]^\eta} \quad \text{..... (E.1)}$$

式中,对于三点弯曲试样的  $\eta$  值取 1.9,试样的有效厚度  $B_e$  定义见式(E.2):

$$B_e = B - \frac{(B - B_N)^2}{B} \quad \text{..... (E.2)}$$

式中,  $a_{b(i)}$  是钝化修正裂纹长度,按式(E.3)~式(E.5)计算:

$$a_{b(i)} = a_0 + \frac{J_{d(i)}}{2R_{fd}} \quad \text{..... (E.3)}$$

$$J_{d(i)} = \frac{K_{d(i)}^2 (1 - \nu^2)}{E} + J_{d,pl(i)} \quad \text{..... (E.4)}$$

$$J_{d,pl(i)} = \left[ J_{d,pl(i-1)} + \frac{2(W_{pl(i)} - W_{pl(i-1)})}{(W - a_{(i-1)})B_N} \right] \left[ 1 - \frac{a_{(i)} - a_{(i-1)}}{W - a_{(i-1)}} \right] \quad \text{..... (E.5)}$$

式中,  $R_{fd}$  是动态流变应力,即动态屈服强度[根据式(G.2)或(G.3)得到]与动态抗拉强度(实测得到)的平均值,  $K_{d(i)}$  由式(E.6)得到。最大力前,计算  $K_{d(i)}$  与  $J_{d,pl(i)}$  应采用试样初始裂纹长度  $a_0$ 。

$$K_{d(i)} = \frac{F_i S}{\sqrt{BB_N} W^{1.5}} f\left(\frac{a_{b(i)}}{W}\right) \quad \text{..... (E.6)}$$

其中  $f\left(\frac{a_{b(i)}}{W}\right)$  按(E.7)计算:

$$f\left(\frac{a_{b(i)}}{W}\right) = \frac{3\sqrt{\frac{a_{b(i)}}{W}}}{2\left(1 + 2\frac{a_{b(i)}}{W}\right)\left(1 - \frac{a_{b(i)}}{W}\right)^{1.5}} \left\{ 1.99 - \frac{a_{b(i)}}{W} \left(1 - \frac{a_{b(i)}}{W}\right) \left[ 2.15 - 3.93 \frac{a_{b(i)}}{W} + 2.7 \left(\frac{a_{b(i)}}{W}\right)^2 \right] \right\} \quad \text{..... (E.7)}$$

对于仪器化力-位移曲线上每一点的位移  $S_{(i)}$ ,按式(E.8)计算其归一化塑性位移值。

$$s'_{pl(i)} = \frac{s_{pl(i)}}{W} = \frac{S_{(i)} - F_{(i)} C_{(i)}}{W} \quad \text{..... (E.8)}$$

式中,  $C_{(i)}$  是试样基于裂纹长度  $a_{b(i)}$  的加载线弹性柔度系数,可由式(E.9)计算得到:

$$C_{(i)} = \frac{1}{EB_e} \left( \frac{S}{W - a_{b(i)}} \right)^2 \left[ 1.193 - 1.98 \left( \frac{a_{b(i)}}{W} \right) + 4.478 \left( \frac{a_{b(i)}}{W} \right)^2 - 4.443 \left( \frac{a_{b(i)}}{W} \right)^3 + 1.739 \left( \frac{a_{b(i)}}{W} \right)^4 \right] \quad \text{..... (E.9)}$$

E.3 以这种方式,仪器化力-位移曲线上从起始点直至但不包括最大力  $F_m$  部分的数据点都可以归一化处理。针对结束点,在式(E.1)、式(E.8)与式(E.9)中代入最终裂纹长度  $a_f$  进行归一化计算且无需进行钝化修正,即  $a_{b(i)}$  用  $a_f$  替换。对归一化后的无量纲塑性位移值,从 0.001 开始直至最大力(但不包括  $F_m$  本身),需注意的是与最终裂纹长度对应的结束点需一并计入归一化函数拟合。归一化函数拟合可采用

式(E.10)所示的解析表达式求解。

$$F_N = \frac{C_1 + C_2 s'_{pl} + C_3 s'^2_{pl}}{C_4 + s'_{pl}} \dots\dots\dots (E.10)$$

式(E.10)中, $C_1, C_2, C_3$ 和 $C_4$ 是拟合系数。确定拟合参数后,采用迭代算法求解裂纹长度 $a_{(i)}$ ,将仪器化曲线上各实测点的归一化力值 $F_{N(i)}$ 与拟合函数值吻合。具体而言,从 $s'_{pl(i)} \geq 0.002$ 的数据点开始迭代,相应地利用实测的初始裂纹长度 $a_0$ 进行载荷和位移的归一化处理。通过调整裂纹长度 $a_{(i)}$ 的数值,直到归一化载荷 $F_{N(i)}$ 的测量值[按式(E.1)]与拟合函数计算值[按式(E.10)]的相对误差 $\leq \pm 0.1\%$ 。后续每个数据点采用类似的方法处理。如果每次以前一数据点的裂纹长度作为迭代初值,那么只需进行较小的调节便可相对较快地获得试样的实时裂纹长度 $a_{(i)}$ 。迭代计算出仪器化力-位移曲线上各点对应的裂纹长度后,可进一步计算得到 $J_d-\Delta a$ 阻力曲线和临界 $J$ 积分值, $J_{0.2Bd}$ 。

**E.4** 当应用归一化方法时,除附录 G.3 的规定外还应满足以下要求:数据点应在拟合范围内均匀分布,且至少应有 10 个有效数据点;所有拟合点与测量数据之间的偏差应在 1% 以内;使用该方法所允许估算的最大裂纹扩展不应超过初始韧带的 15%。如果不满足上述要求,则无法采用本标准实施试验。

**E.5** 应至少增加一个试样以确认归一化方法是否适用于所测材料。即使用先前获得的 $J_d-\Delta a$ 阻力曲线,测定裂纹扩展 0.5 mm 对应的试样加载挠度值(或冲击吸收能量)。对所增加的这一根试样采用相同的加载条件与方式至计算所得到的加载水平,此时通过光学测量的裂纹扩展应为 0.5 mm  $\pm$  0.25 mm。

**E.6** 按第 9 章的要求报告试验结果。

北京中培质联 专用

## 附录 F (规范性附录)

### 测定断裂韧性特征值 $J_{0.2Bd}$

#### F.1 概述

根据附录 D 或附录 E 确定  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线后,可按照 GB/T 21143 评测各特征断裂韧性值。其中,测定  $J_{0.2Bd}$  应满足 GB/T 21143 对于数据点间隔与曲线拟合程序的要求,根据 0.2 mm 偏置钝化线与  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线交点计算得到。0.2 mm 偏置钝化线应根据动态加载予以调整,如下所述。 $J_{0.2Bd}$  的计算值应满足附录 G 中规定的有效性判据。

注 1:  $J_{0.2Bd}$  通常用于稳定裂纹扩展起始点的工程估算。在安全评估中采用  $J_{0.2Bd}$  可能会导致非保守的结果。不过,  $J_{0.2Bd}$  值可用于材料的研发、质量控制和使用性能评估,并建立试验温度与材料性能变化的相关特性。

注 2: 在 GB/T 21143 中采用  $J_i$  表示准静态试验条件下裂纹尖端钝化时物理裂纹的萌生点,定义为裂纹启裂断裂韧性。 $J_i$  被认为是一种材料特性,与试样的尺寸与形状不敏感。确定  $J_i$  需使用扫描电子显微镜来测量断裂面上的拉伸区宽度。动态加载的试样通常表现出相对粗糙的断面,其中拉伸区可能与其他特征区无法有效分辨甚至根本不可见。本标准不包含与 GB/T 21143 所规定的准静态  $J_i$  值相对应的动态断裂韧性  $J_i$  值的评测程序。

#### F.2 评测 $J_{0.2Bd}$ 的动态钝化线

采用 GB/T 21143 对钝化线的定义,动态加载条件钝化线如式(F.1)所示:

$$J_d(\Delta a) = 3.75 \times R_{md} \times \Delta a \quad \dots\dots\dots (F.1)$$

其中,  $R_{md}$  是材料的动态抗拉强度,可根据 GB/T 30069.2 开展动态拉伸试验测得。

## 附 录 G

### (规范性附录)

### 有效性判据

#### G.1 总则

根据本标准评测断裂韧性值,应满足  $0.30W \leq a_0 \leq 0.70W$  及以下判据时方为有效。

#### G.2 $J_{cd}$ 与 $J_{ud}$ 的判定

$$J_{cd}, J_{ud} \leq \frac{R_{fd}(W - a_0)}{100} \dots\dots\dots (G.1)$$

式(G.1)中,  $R_{fd}$  表示当前试验应变速率与温度条件下的动态流变应力,即与 GB/T 21143 采用的静态流变应力所等效的动态指标。 $R_{fd}$  通过动态屈服强度  $R_{pd}$  与动态抗拉强度  $R_{md}$  的平均值计算得到。若无法试验获得  $R_{pd}$  与  $R_{md}$  时,  $R_{fd}$  可根据式(G.2)和式(G.3)估算<sup>[22]</sup>。与此同时,  $R_{md}$  应通过动态拉伸试验实测。

对于 2 mm 半径的锤刃:

$$R_{pd} = \frac{0.729 \times F_{gy} \times S}{(W - a_0)^2 B_N} \dots\dots\dots (G.2)$$

对于 8 mm 半径的锤刃:

$$R_{pd} = \frac{0.683 \times F_{gy} \times S}{(W - a_0)^2 B_N} \dots\dots\dots (G.3)$$

注:  $J_{cd}$  与  $J_{ud}$  系尺寸敏感参数,仅反映当前试样厚度时的材料特性。

#### G.3 $J_d$ - $\Delta a$ 阻力曲线的判定

G.3.1 根据式(G.4)~ 式(G.6)计算每个试样的  $J_{d, \max}$ ,取最小值。

$$J_{d, \max} = a_0 \frac{R_{pd} + R_{md}}{20} \dots\dots\dots (G.4)$$

$$J_{d, \max} = B \frac{R_{pd} + R_{md}}{20} \dots\dots\dots (G.5)$$

$$J_{d, \max} = (W - a_0) \frac{R_{pd} + R_{md}}{20} \dots\dots\dots (G.6)$$

G.3.2 根据式(G.7)计算每个试样的  $\Delta a_{\max}$ 。

$$\Delta a_{\max} = 0.25(W - a_0) \dots\dots\dots (G.7)$$

G.3.3 最佳拟合曲线与  $J_{d, \max}$  或  $\Delta a_{\max}$  边界线的交点定义为  $J_g$ ,作为被测试样  $J$  值确定的裂纹扩展边界。

G.3.4 在以下排除性条件所规定的边界范围内,应至少采用 6 个数据点来拟合  $J_d$ - $\Delta a$  图中的阻力曲线:

—— $J_d = J_g$ ;

——最小裂纹扩展边界线,与钝化线[式(F.1)]平行且偏置 0.10 mm;

——最大裂纹扩展边界线,与钝化线[式(F.1)]平行且偏置量等于  $\Delta a_{\max}$  [式(G.7)]。

G.3.5  $J_g$  设定了  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线的适用范围限制,其定义见 G.3.3。

#### G.4 $J_{0.2Bd}$ 的判定

G.4.1 如果  $J_{0.2Bd}$  超过  $J_{d,\max}$ ,那么  $J_{0.2Bd}$  无效。

G.4.2 如果  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线在 0.2 mm 裂纹扩展位移偏置线交点处的斜率  $(dJ_d/da)_{0.2Bd}$  不能满足式 (G.8) 的要求,那么  $J_{0.2Bd}$  无效。

$$3.75 \times R_{md} > 2 \left( \frac{dJ_d}{da} \right)_{0.2Bd} \dots\dots\dots (G.8)$$

G.4.3 如果  $J_{0.2Bd}$  通过有效性判据,则所测得的  $J_{0.2Bd}$  是非尺寸敏感的。如不满足,则应该报告尺寸敏感值  $J_{0.2Bd(10)}$ ,其中 10 mm 是预裂纹夏比试样的名义厚度。

北京中培质联

## 附录 H

### (规范性附录)

#### 测定 $J$ 积分断裂韧性

**H.1** 当  $0.30 \leq a_0/W < 0.45$  时,在仪器化力-位移曲线上由力值  $F_s$ ,位移  $s$  及裂纹长度  $a_0$  确定某点所对应的动态  $J$  积分断裂韧性  $J_d$  值,可通过式(H.1)计算。

$$J_d = \left[ \frac{F_s S}{\sqrt{B B_N} W^{1.5}} f\left(\frac{a_0}{W}\right) \right]^2 \frac{(1-\nu^2)}{E} + \frac{2W_p}{B_N(W-a_0)} \quad \dots\dots\dots (H.1)$$

其中  $f\left(\frac{a_0}{W}\right)$  按式(H.2)计算:

$$f\left(\frac{a_0}{W}\right) = \frac{3\sqrt{\frac{a_0}{W}}}{2\left(1+2\frac{a_0}{W}\right)\left(1-\frac{a_0}{W}\right)^{1.5}} \left\{ 1.99 - \frac{a_0}{W} \left(1 - \frac{a_0}{W}\right) \left[ 2.15 - 3.93 \frac{a_0}{W} + 2.7 \left(\frac{a_0}{W}\right)^2 \right] \right\} \quad \dots\dots\dots (H.2)$$

式(H.2)中  $W_p$  表示力-位移曲线下面积的塑性分量,可通过式(H.3)确定:

$$W_p = W_s - \frac{C_0 F_s^2}{2} \quad \dots\dots\dots (H.3)$$

式(H.3)中,  $W_s$  是力-位移试验记录曲线下至位移  $s$  的总面积,  $C_0$  是试样的弹性柔度,根据式(H.4)计算:

$$C_0 = C_s + C_M \quad \dots\dots\dots (H.4)$$

其中,  $C_s$  是试样理论柔度,由式(H.5)确定。

$$C_s = \frac{1}{EB_e} \left( \frac{S}{W-a_0} \right)^2 \left[ 1.193 - 1.98 \left( \frac{a_0}{W} \right) + 4.478 \left( \frac{a_0}{W} \right)^2 - 4.443 \left( \frac{a_0}{W} \right)^3 + 1.739 \left( \frac{a_0}{W} \right)^4 \right] \quad \dots\dots\dots (H.5)$$

$C_M$  是机器柔度,可通过对无缺口夏比试样实施弹性小角度冲击试验确定其数值,见式(H.6):

$$C_M = \frac{2\bar{W}}{(F_m)^2} - C_{Scal} \quad \dots\dots\dots (H.6)$$

式中  $\bar{W}$  是小角度冲击试验施加的能量,  $F_m$  是试验记录的最大力,  $C_{Scal}$  可根据标准梁理论计算获得,见式(H.7):

$$C_{Scal} = \frac{S}{4 \times 10^9 EBW} \left[ \frac{S^2}{W^2} + 2(1+\nu) \right] \quad \dots\dots\dots (H.7)$$

在式(H.6)与式(H.7)中,  $C_M$  与  $C_{Scal}$  的单位是  $m/N$ ,  $\bar{W}$  单位是  $J$ ,  $F_m$  单位是  $N$ ,  $E$  单位是  $GPa$ ,  $S$ 、 $B$  与  $W$  的单位是  $m$ 。

**H.2** 若  $0.45 \leq a_0/W \leq 0.70$  时,当加载位移至  $s$ ,裂纹从  $a_0$  稳定扩展至  $a_0 + \Delta a_s$ ,此时式(H.1)应转化为式(H.8):

$$J_d = \left[ \frac{F_s S}{\sqrt{B B_N} W^{1.5}} f\left(\frac{a_0}{W}\right) \right]^2 \frac{(1-\nu^2)}{E} + \left[ \frac{2W_p}{B_N(W-a_0)} \right] \left[ 1 - \frac{\Delta a_s}{2(W-a_0)} \right] \quad \dots\dots\dots (H.8)$$

注 1: 对于不开侧槽试样,  $B_N = B$ 。

注 2: 如  $0.30 \leq a_0/W < 0.45$  时,  $J_d$  值应当使用式(H.1)计算。

**H.3** 用式(H.1)与式(H.8)计算得到的  $J_{cd}$  与  $J_{0.2Bd}$ ,可转换为相应的应力强度因子  $K_{Jcd}$  与  $K_{J0.2Bd}$ ,如(H.9):

$$K_{Jd} = \sqrt{\frac{EJ_d}{1-\nu^2}} \quad \dots\dots\dots (H.9)$$

此外,式(5)计算得到的  $dJ_d/dt$  可通过式(H.10)转化为  $dK_{Jd}/dt$  :

$$\frac{dK_{Jd}}{dt} = \sqrt{\frac{EJ_d}{2(1-\nu^2)}} \cdot \frac{d^2J}{dt^2} \dots\dots\dots (H.10)$$

$K_{Jcd}$  与  $dK_{Jd}/dt$  值可用于计算“主曲线参考温度”,详见参考文献[2]。

北京中培质联 专用

订单号: 0100220207100127 防伪编号: 2022-0207-0231-3092-1538 购买单位: 北京中培质联

附录 I  
(资料性附录)  
试验报告示例

注：本附录给出了试验报告需包含的内容而不是格式。

I.1 试样、材料与试验条件

|                      |       |         |
|----------------------|-------|---------|
| 试样标识：                | 试验员：  | 日期：     |
| 试样                   |       |         |
| 试样编号                 |       |         |
| 取样方向                 |       |         |
| 取样部位                 |       |         |
| 材料                   |       |         |
| 材料说明                 |       |         |
| 材料形状或状态              |       |         |
| 试样尺寸                 |       |         |
| $B$                  | =     | (mm)    |
| $B_N$                | =     | (mm)    |
| $W$                  | =     | (mm)    |
| $a_0/W$ (名义)         | =     |         |
| 拉伸性能-疲劳预裂温度          |       |         |
| 温度                   | =     | (℃)     |
|                      | 参考值 € | 实测值 (M) |
| $E$ (杨氏模量)           | =     | (GPa)   |
| $\nu$ (泊松比)          | =     |         |
| $R_{p0.2}$ (准静态屈服强度) | =     | (MPa)   |
| $R_m$ (准静态抗拉强度)      | =     | (MPa)   |
| 拉伸性能- 试验温度           |       |         |
| 温度                   | =     | (℃)     |

订单号：0100220207100127 防伪编号：2022-0207-0231-3092-1538 购买单位：北京中培质联

订单号: 0100220207100127 防伪编号: 2022-0207-0231-3092-1538 购买单位: 北京中培质联

|                 | 参考值 € | 实测值 (M)                 |
|-----------------|-------|-------------------------|
| $E$ (杨氏模量)      | =     | (GPa)                   |
| $\nu$ (泊松比)     | =     |                         |
| $R_p$ (准静态屈服强度) | =     | (MPa)                   |
| $R_m$ (准静态抗拉强度) | =     | (MPa)                   |
| $R_p$ (动态屈服强度)  | =     | (MPa)                   |
| $R_m$ (动态抗拉强度)  | =     | (MPa)                   |
| 疲劳预裂            |       |                         |
| 疲劳预裂温度          | =     | (°C)                    |
| 最终 $K_f$        | =     | (MPa·m <sup>0.5</sup> ) |
| 最终 $F_f$        | =     | (kN)                    |
| 最终 $K_f/E$      | =     | (m <sup>0.5</sup> )     |
| 试验信息            |       |                         |
| 锤刃冲击速度          |       | (m/s)                   |
| 可用势能            |       | (J)                     |
| 试验温度            |       | (°C)                    |

I.2 数据判定

裂纹长度测量信息

试样编号:

表 I.1 裂纹长度测量表 单位为毫米

| 测量点 | 位置 | 预裂纹长度 | $\Delta a$ |
|-----|----|-------|------------|
| 1   |    |       |            |
| 2   |    |       |            |
| 3   |    |       |            |
| 4   |    |       |            |
| 5   |    |       |            |
| 6   |    |       |            |
| 7   |    |       |            |
| 8   |    |       |            |
| 9   |    |       |            |

|                  |            |      |
|------------------|------------|------|
| $a_0$            | 平均初始裂纹长度   | (mm) |
| $a_0 - a_m$      | 平均疲劳预制裂纹长度 | (mm) |
| $\Delta a$       | 平均裂纹扩展量    | (mm) |
| $a_0 + \Delta a$ | 平均最终裂纹长度   | (mm) |

断口形貌

发生解理断裂记录 (是 / 否)

断面上呈现异常特征的记录如下：

表 I.2 阻力曲线数据

|           |           |           |             |                  |                            |
|-----------|-----------|-----------|-------------|------------------|----------------------------|
| 试样编号：     |           | 日期：       |             |                  |                            |
| 阻力曲线评测方法： |           | 试验员：      |             |                  |                            |
| 试验记录信息：   |           |           |             |                  |                            |
| 数据点       | $F$<br>kN | $s$<br>mm | $a_0$<br>mm | $\Delta a$<br>mm | $J_d$<br>$\text{MJm}^{-2}$ |
|           |           |           |             |                  |                            |
|           |           |           |             |                  |                            |
|           |           |           |             |                  |                            |
|           |           |           |             |                  |                            |
|           |           |           |             |                  |                            |
|           |           |           |             |                  |                            |
|           |           |           |             |                  |                            |
|           |           |           |             |                  |                            |
|           |           |           |             |                  |                            |
|           |           |           |             |                  |                            |

1.3  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线判定

|         |      |
|---------|------|
| $a_0$   | (mm) |
| $B$     | (mm) |
| $W-a_0$ | (mm) |

幂律拟合方程  $J_d = \alpha + \beta \Delta a^\gamma$  系数

$\alpha =$

$\beta =$

$\gamma =$

订单号：0100220207100127 防伪编号：2022-0207-0231-3092-1538 购买单位：北京中培质联

订单号: 0100220207100127 防伪编号: 2022-0207-0231-3092-1538 购买单位: 北京中培质联

$J_{d,max}$  $\Delta a_{max}$  $J_g$

$(\text{kJ}/\text{m}^2)$  $(\text{mm})$  $(\text{kJ}/\text{m}^2)$

附录 G 要求:

- a) 数据应符合附录 G.3 的判据要求;
- b) 根据  $J_g$  确定  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线适用范围的限制。

若满足全部判据要求,则根据本方法得到的幂律方程可有效表征  $J_g$  范围内的  $J_d$ - $\Delta a$  阻力曲线。

1.4  $J_{0.2Bd}$  的判定

$R_{md}$  $(dJ_d/da)_{0.2Bd}$  $J_{d,max}$

$(\text{MPa})$  $(\text{MPa})$  $(\text{kJ}/\text{m}^2)$

选用数据点的数目:

幂律拟合方程  $J_d = \alpha + \beta \Delta a^\gamma$  系数

$\alpha =$  $\beta =$  $\gamma =$

附录 G 要求:

- a) 数据应符合附录 G.4 的判据要求;
- b) 钝化线 0.2 mm 偏置线与幂律拟合曲线交点的切线斜率  $dJ_d/da$  应小于  $1.875R_{md}$ ;
- c)  $J_{0.2Bd} \leq J_{d,max}$ .

若满足全部判据:

$J_{0.2Bd} =$  $(\text{MJ}/\text{m}^2).$

若无法满足全部判据:

$J_{0.2Bd(10)} =$  $(\text{MJ}/\text{m}^2).$

## 参 考 文 献

- [1] Anderson T.L. Dynamic and time-dependent fracture. In: Fracture Mechanics—Fundamentals and Applications. CRC Press, Second Edition, 1995, pp. 205-225.
- [2] ASTM E 1921, Standard Test Method for Determination of Reference Temperature,  $T_0$ , for Ferritic Steels in the Transition Range, ASTM Book of Standards, Volume 03.01.
- [3] Lucon E. On the effectiveness of the dynamic force adjustment for reducing the scatter of instrumented Charpy results. J. ASTM Int, 2009 January, 6(1).
- [4] Ireland D.R. Procedures and problems associated with reliable control of the instrumented impact test. In: Instrumented Impact Testing. ASTM STP 563, (DeSisto T.S. ed.). American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1974, pp. 3-29.
- [5] Ireland D.R. Fracture Toughness Data for Ferritic Nuclear Pressure Vessel Materials, ETI Technical Report TR75-37 for EPRI, 1975.
- [6] Ireland D.R. A Review of the Proposed Standard Method of Test for Impact Testing Pre-cracked Charpy Specimens of Metallic Materials, C. S. N. I. Specialist Meeting on Instrumented Pre-cracked Charpy Testing, EPRI NP-2102-LD, Project 1757-1, C. S. N. I. No. 67, Proceedings, November 1981, pp. 1.25-1.64.
- [7] Ernst H., Paris P.C., Rossow M., Hutchinson J.W. Analysis of load-displacement relationship to determine J-R curve and tearing instability material properties. In: Fracture Mechanics. ASTM STP 677. (Smith C.W. ed.). ASTM, 1979, pp. 581-599.
- [8] Joyce J.A. Static and dynamic J-R curve testing of A533B steel using the key-curve analysis technique, Fracture Mechanics: 14th symposium, Volume I: Theory and Analysis, ASTM STP 791, J. C. Lewis and G. Sines, Eds., ASTM, 1983, pp. I-543-I-560.
- [9] Brüninghaus K., Twickler R., Heuser A., Memhard D., Dahl W. Application of the Key Curve Method on Static and Dynamic J-R-Curve Determination with CT- and SENB-Specimens, Proc. 6<sup>th</sup> Europ. Conf. Fracture, (ECF 6), Amsterdam, 1986, S. 429.
- [10] Schindler H.J. Estimation of the dynamic J-R-curve from a single impact bending test, Proceedings of 11th European Conf. on Fracture (ECF11), Poitiers, 1996, EMAS, pp. 2007—2012.
- [11] Schindler H.J. Estimation of fracture toughness from Charpy tests- theoretical relations. In: Pendulum Impact Testing: A Century of Progress. ASTM STP 1380, (Siewert T., & Manahan M.P. Sr. eds.), American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1999, pp. 337-353.
- [12] Irwin G.R. Crack-toughness testing of strain-rate sensitive materials. Transaction of the ASME. Journal of Engineering for Power, October 1964, pp. 444-450.
- [13] Shoemaker A. K. Factors influencing the plane-strain crack toughness values of a structural steel. Transactions of the ASME. Journal of Basic Engineering, Sep 1969, pp. 506-511.
- [14] Kalthoff J.F., Winkler S., Böhme W. A Novel Procedure for Measuring the Impact Fracture Toughness  $K_{Id}$  with Pre-cracked Charpy Specimens, Int. Conf. DYMAT 85, 2-5 Sep 1985, Paris, France, in: Journal de Physique, Coll. C5, Suppl. No. 8, Tome 46, pp. 179-186, 1985.
- [15] Böhme W. Dynamic Key Curves for Brittle Fracture Impact Tests and Establishment of a Transition Time, 21st Nat. Symp. on Fracture Mechanics, Annapolis, Maryland, USA, 28-30.06.1988, in: ASTM STP 1074, Eds. J.P. Gudas, J.A. Joyce, and E.M. Hackett, Am. Soc. for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 144-156, 1990.

- [16] Kalthoff J.F. Fracture behaviour under high rates of loading. *Eng. Fract. Mech.* 1986, 23(1) pp.289-298.
- [17] MacGillivray H.J., & Cannon D.F. The development of standard methods for determining the dynamic fracture toughness of metallic materials. In: *Rapid Load Fracture Testing*. (Chona R., & Corwin W. eds.). Am. Soc. for Testing and Materials, Philadelphia, 1992, pp.161-179.
- [18] Klenk A., Link T., Mayer U., Schüle M. Criteria for Crack Initiation in Elastic Plastic Materials Under Different Loading Rates, *Proceedings of the 10th Biennial European Conference on Fracture, ECF10*, Berlin, Germany, 20-23 September 1994, pp.431-436.
- [19] Hermann R., MacGillivray H.J., Dear J.P. Comparison of dynamic initiation toughness measured by strain gauges and the shadow optical method. *Strain*. 1993 August, 29(3) pp.83-89.
- [20] Landes J.D., Zhou Z., Lee K., Herrera R. Normalization method for developing  $J$ - $R$  curves with the LMN function. *J. Test. Eval.* 1991 July, 19(4) pp.305-311.
- [21] ASTM E 1820, Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness, ASTM Book of Standards, Volume 03.01.
- [22] Server W.L. General yielding of Charpy V-notch and precracked Charpy specimens. *J. Eng. Mater. Technol.* 1978, 100(Apr) pp.183-188.
- [23] ISO 3785, Metallic materials—Designation of test specimen axes in relation to product texture.

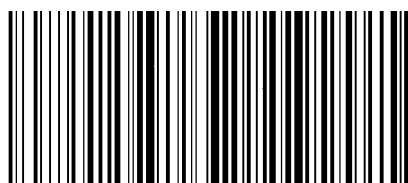
北京中培质联 专用

 **版权声明**

中国标准在线服务网([www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn))是中国标准出版社委托北京标科网络技术有限公司负责运营销售正版标准资源的网络服务平台,本网站所有标准资源均已获得国内外相关版权方的合法授权。未经授权,严禁任何单位、组织及个人对标准文本进行复制、发行、销售、传播和翻译出版等违法行为。版权所有,违者必究!

中国标准在线服务网  
<http://www.spc.org.cn>

标准号: GB/T 38769-2020  
购买者: 北京中培质联  
订单号: 0100220207100127  
防伪号: 2022-0207-0231-3092-1538  
时 间: 2022-02-07  
定 价: 45元



GB/T 38769-2020

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
金属材料 预裂纹夏比试样冲击  
加载断裂韧性的测定

GB/T 38769—2020

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn)

服务热线: 400-168-0010

2020年4月第一版

\*

书号: 155066 • 1-64855

版权专有 侵权必究