



中华人民共和国国家军用标准

FL

GJB 1483—92

超高强度钢板材表面裂纹
断裂韧度 K_{Ic} 试验方法

Standard test method for surface-crack fracture
toughness K_{Ic} of extra-high strength steel plates

1992—10—28 发布

1993—06—01 实施

国防科学技术工业委员会 批准

超高强度钢板材表面裂纹
断裂韧度 K_{Ic} 试验方法

GJB 1483—92

Standard test method for surface-crack fracture
toughness K_{Ic} of extra-high strength steel plates

1 范围

1.1 主题内容

本标准规定了超高强度钢板材表面裂纹试样的制备,用条件载荷 P_Q 和有效条件确定表面裂纹断裂韧度 K_{Ic} 值的方法。

1.2 适用范围

本标准适用于厚度为 2.5~10mm 的超高强度钢板材,在室温和大气环境条件下用半椭圆表面裂纹矩形截面拉伸试样,测定表面裂纹断裂韧度 K_{Ic} 。

2 引用文件

GB 228—87 金属拉力试验方法

GB 4161—84 金属材料平面应变断裂韧度 K_{Ic} 试验方法

GB 7732—87 金属板材表面裂纹断裂韧度 K_{Ic} 试验方法

3 定义

3.1 术语

3.1.1 应力强度因子 (K_I) stress intensity factor

在线弹性介质中,I 型理想裂纹承载时,裂纹前缘附近区域应力场强度的度量(见 GB 7732 第 2.2.1 条)。

3.1.2 条件载荷 (P_Q) conditional load

裂纹发生规定启裂量所对应的载荷。

3.1.3 表面裂纹条件断裂韧度(K_{IQ}) surface-crack conditional fracture toughness

用条件载荷 P_Q 计算的应力强度因子 K_I 值见 GB 7732 第 2.2.2 条。

3.1.4 表面裂纹断裂韧度 (K_{Ic}) surface-crack fracture toughness

表面裂纹试样承受连续缓慢增加的拉伸载荷,裂纹前缘处于平面应变状态下,半椭圆表面裂纹最深处,出现规定启裂量时的应力强度因子 K_I 值(见 GB 7732 第 2.2.3 条)。

3.1.5 剩余强度(σ_r) residual strength

最大拉伸载荷与包含裂纹面的试样横截面面积之比。

3.1.6 裂纹深度 (a) crack depth

表面裂纹前缘最深点到试样裂纹表面的距离。

3.1.7 裂纹长度 (2C) crack length

表面裂纹前缘与试样表面相交的两点间的距离(见 GB 7732 第 2.2.7 条)。

3.2 符号

- a. B 试样厚度, mm
- b. W 试样宽度, mm;
- c. l 试样有效长度, mm;
- d. S 弯曲加载跨距, mm;
- e. a 裂纹深度(包括加工裂纹源深度和疲劳预制裂纹深度), mm;
- f. a_0 加工裂纹源深度, mm;
- g. Δa 裂纹真实扩展量, mm;
- h. 2C 裂纹长度, mm;
- i. $2C_0$ 加工裂纹源长度, mm;
- j. V 表面裂纹中心处的裂纹嘴张开位移, mm;
- k. Y 裂纹几何形状因子;
- l. P 拉伸载荷, N;
- m. P_0 条件载荷, N;
- n. P_1 突进载荷, N;
- o. P_{max} 最大拉伸载荷, N;
- p. P_{max} 疲劳预制裂纹时循环载荷的最大值, N;
- q. P_{min} 疲劳预制裂纹时循环载荷的最小值, N;
- r. σ_0 名义条件应力, MPa;
- s. $\sigma_{0.2}$ 规定残余伸长率为 0.2% 时的应力, MPa;
- t. σ_r 剩余强度 MPa;
- u. K_1 I 型应力强度因子, $\text{MPa} \sqrt{\text{m}}$;
- v. K_{I0} 表面裂纹条件断裂韧度, $\text{MPa} \sqrt{\text{m}}$;
- w. K_{Ic} 表面裂纹断裂韧度, $\text{MPa} \sqrt{\text{m}}$ 。

4 一般要求

本章无条文。

5 详细要求

5.1 试验设备

5.1.1 疲劳预制裂纹设备

5.1.1.1 可以采用能进行三点弯曲疲劳加载的各种型式的试验机, 并配有显示疲劳最大、最小载荷及记录循环次数的系统。

5.1.1.2 疲劳预制裂纹的夹具应保证裂纹扩展对称,并保持裂纹平面与试样中心线垂直。

5.1.2 拉伸试验机

5.1.2.1 可以采用能进行拉伸试验的各种型式的试验机,但必须满足 GB 228 对试验机及测量工具的各项要求。试验机必须配备电测载荷、位移的自动记录装置,记录精度应优于试验满量程的 $\pm 1\%$ 。

5.1.2.2 拉伸试验夹具可以根据试样形状和尺寸自行设计,但应使试样的中心线与拉伸加载中心线重合。

5.1.3 引伸计

5.1.3.1 引伸计应能准确测量表面裂纹嘴张开位移量。

引伸计必须用最小刻度不大于 0.001mm 的引伸计标定器进行线性标定。标定程序为:将引伸计安装在引伸计标定器上,对引伸计工作量程内的 10 个等分点进行标定,重复 3 次,每次标定均应满足每个位移读数与最小二乘法拟合直线间的最大偏差不大于 0.003mm。

注:经确认能保证线性要求的引伸计,可以在应用时仅在使用量程范围内进行线性校核。

5.1.3.2 满足 5.1.3.1 条规定的各种类型的引伸计均可采用。本方法推荐针尖式微型引伸计(见 GB 7732 第 4.4.2 条)和双悬臂梁夹式引伸计(见 GB 4161 第 4.2 条)。

5.2 试样及制备

5.2.1 试样形状和尺寸

5.2.1.1 试样形状可采用直条形或带肩销孔形,见图 1。

5.2.1.2 试样尺寸分为标准尺寸和比例尺寸:标准尺寸试样根据板材厚度的名义尺寸确定,见表 1;比例尺寸试样根据 W/B 为 6~10、 $l/W \geq 2$ 确定。

表 1

mm

| 试样厚度, B | 试样宽度, W | 试样有效长度, l |
|-----------|-----------|-------------|
| 2.5~3.5 | 25 | 60 |
| 3.6~5.0 | 35 | 80 |
| 5.1~7.0 | 50 | 120 |
| 7.1~10.0 | 65 | 150 |

5.2.2 试样数量

一次测试试样数量不少于 7 片。

5.2.3 试样制备

5.2.3.1 表面裂纹断裂韧度与裂纹面取向和裂纹扩展方向有关,试样应以两个字母标记试样取向,第一个字母表示裂纹面的法线方向,第二个字母表示裂纹深度的预期扩展方向。标记见图 2。

5.2.3.2 对于轧制板材试样,应保留原轧制表面,试样有效部分长度的表面不得有划伤、锈蚀等缺陷。如有特殊要求需要加工试样时,应保留一侧原轧制表面,并在该面预制裂纹,加工面的表面粗糙度参数 R_a 的最大允许值为 $3.2\mu\text{m}$ 。

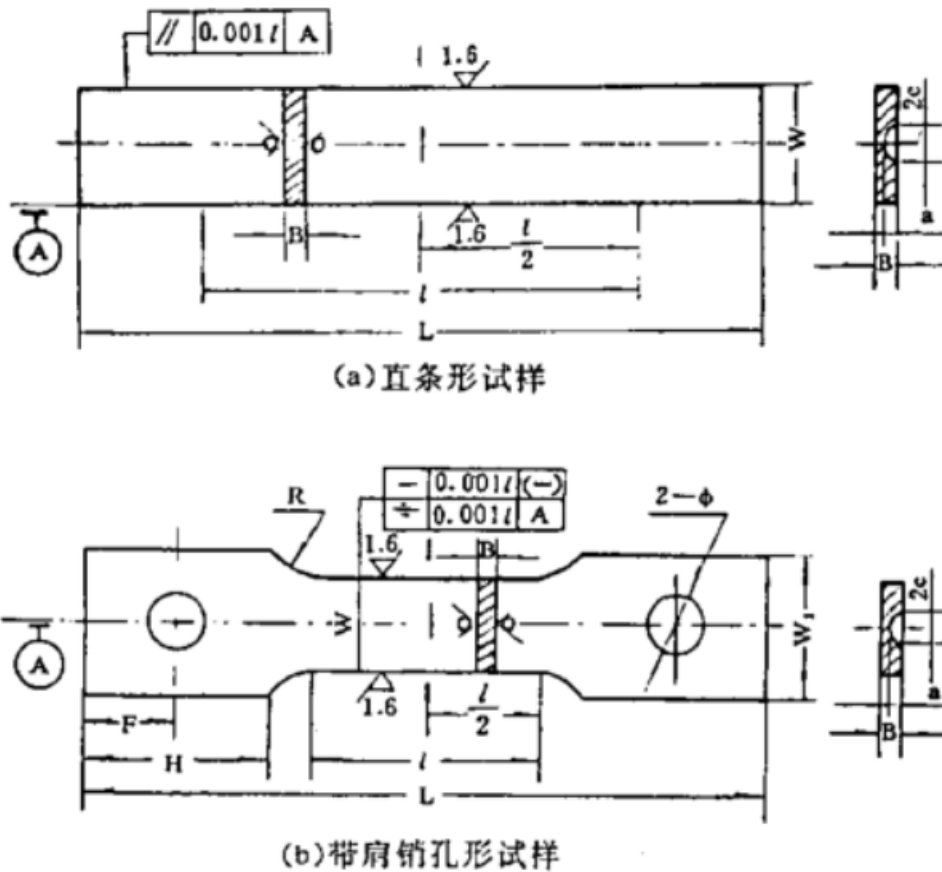


图 1 试样

5.2.3.3 为了便于用疲劳方法预制裂纹,一般应在试样进行最终热处理之前,于试样表面中间位置加工裂纹源。

裂纹源的加工方法不限,推荐 $a_0/B \leq 1/8$, $2C_0/B \leq 1/2$, 并应使裂纹源根部半径不大于 0.25mm。裂纹源平面应与试样中心线垂直、对称。

5.2.3.4 经最终热处理的试样不得矫直,试样全长内最大翘曲度不大于 1%。

5.2.3.5 经加工裂纹源和最终热处理的试样,采用三点弯曲疲劳加载方式预制裂纹。

疲劳预制裂纹时循环载荷最大值由公式 1 进行估算,循环载荷最小值由公式 2 确定:

$$P_{fmax} \leq \alpha \frac{\sigma_{r0.2} B^2 W}{3S} \quad (1)$$

$$P_{fmin} \leq 0.2 P_{fmax} \quad (2)$$

公式 1 中 α 取值推荐如下:

疲劳预制裂纹,可分为裂纹扩展前期和后期。为便于引发裂纹,在裂纹扩展前期,取 $\alpha = 1.5$; 裂纹一旦引发,立即降载,取 $\alpha \leq 1.0$, 转入裂纹扩展后期。

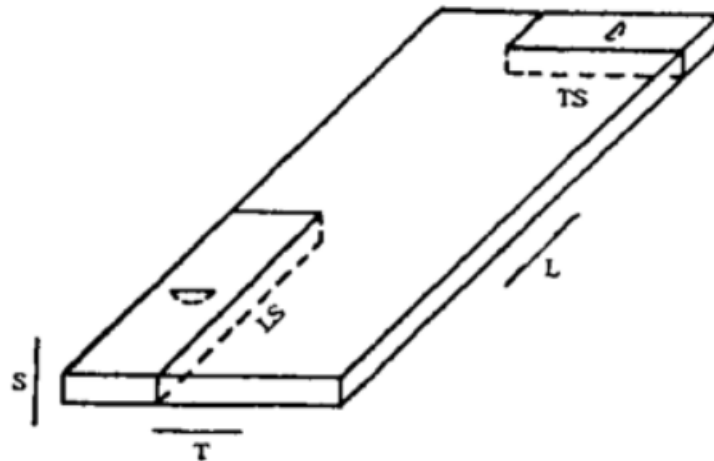


图2 试样取向标记

L——长度方向(纵向); T——宽度方向(横向); S——板厚方向

5.2.3.6 裂纹深度 a 可通过观测裂纹长度 $2C$, 再由公式 3 进行估算:

$$\frac{a}{B} + \frac{a}{C} = 1 \dots\dots\dots (3)$$

在疲劳预制裂纹前缘各点的法平面上, 疲劳预制裂纹及其加工裂纹源应位于裂纹前缘为顶点的 30° 角楔形内, 见图 3。

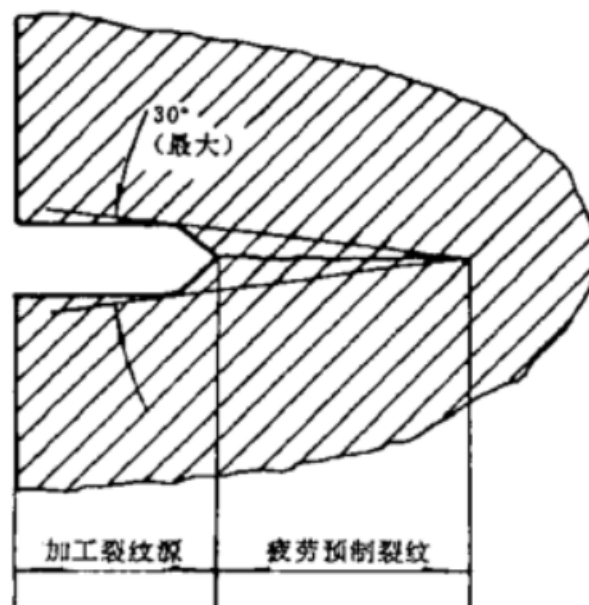


图3 加工裂纹源及疲劳预制裂纹的包迹形状

5.2.3.7 疲劳预制裂纹扩展量应大于 0.25B 或 1.0mm(取其小者)。

5.2.3.8 疲劳预制裂纹后, a/B 和 a/C 应在 0.45~0.55 范围内, 并且 $W/2C \geq 3$ 。

5.3 试验程序

5.3.1 试样尺寸测量

5.3.1.1 在靠近试样裂纹部位的宽度方向的两边各测量一次厚度, 测量精度为 0.02mm, 取其算术平均值为试样厚度。

5.3.1.2 在靠近试样裂纹部位测量宽度, 测量精度为 0.05mm。

5.3.2 断裂试验

5.3.2.1 试验机拉伸速度为 0.5~2.0mm/min。

5.3.2.2 在试样上装卡引伸计, 见附录 B(参考件)。

5.3.2.3 试样上装卡引伸计后, 应在约 $0.3\sigma_{0.2}$ 应力下加载、卸载 1~2 次, 自动记录载荷与裂纹嘴张开位移曲线(P-V 曲线)。调整记录装置的放大倍数, 使曲线线性部分的斜率在 1~3 范围内, 并使 P-V 曲线至少占据记录纸幅面的 1/3。

5.3.2.4 对试样连续加载至断裂, 同时记录 P-V 曲线和试样所承受的最大载荷。

5.3.3 裂纹尺寸测量

试样断裂后, 在工具显微镜下测量裂纹深度 a 和裂纹长度 $2C$, 测量精度为 0.01mm。

5.4 试验结果的处理

5.4.1 合格试样的判定

5.4.1.1 试样断裂后, 有下列情况之一为不合格试样; 其余为合格试样。

- a. 裂纹表面明显不对称、不具备半椭圆形特征或裂纹前缘明显不光滑;
- b. 不满足 5.2.3.7 条的要求;
- c. 不满足 5.2.3.8 条的要求;
- d. 半椭圆裂纹短轴与试样截面对称轴间的偏差大于 0.02W;
- e. 裂纹面与试样横截面的偏斜大于 10° ;
- f. P-V 曲线上约 0.2~0.6 P_{max} 点间的近似线性段出现大于 2% 的非线性偏差。

5.4.1.2 一次合格试样不少于 5 片。

5.4.2 条件载荷的确定

5.4.2.1 在记录的 P-V 曲线上(示例见图 4 曲线 I), 沿约 0.2~0.6 P_{max} 点间的近似线性段作直线 OA, 与零载荷的坐标横轴相交于 O 点, 通过该点作斜率较 OA 降低 15% 的割线 OD 与曲线相交于 F 点, 其相应载荷记为 P_{15} 。

5.4.2.2 一般情况下, 取 $P_0 = P_{15}$ 。若 P_{15} 以前, 曲线上存在不小于 P_{15} 的 P_1 或 P_{max} , 则取 $P_0 = P_1$ (或 P_{max}), 示例见图 4 曲线 I 或 II。

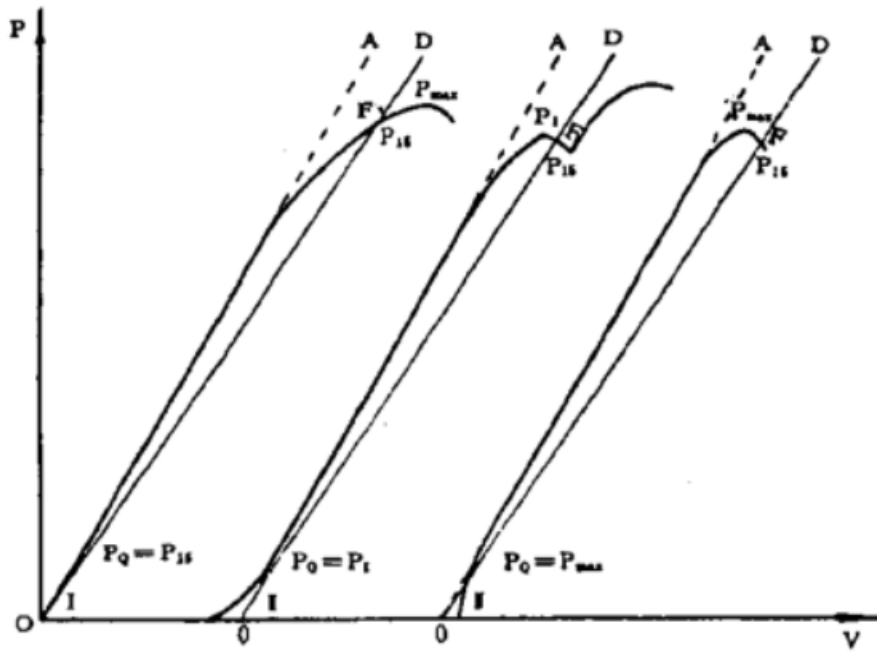
5.4.2.3 对于未确认过斜率下降量的板材, 必须按附录 A(补充件)进行预备性试验。

5.4.3 表面裂纹条件断裂韧度 K_{I0} 的计算

由公式 4、5、6 计算条件断裂韧度 K_{I0} 为:

$$K_{I0} = Y \sigma_Q \sqrt{\pi a} \dots\dots\dots (4)$$

$$\sigma_Q = P_Q / (BW) \dots\dots\dots (5)$$

图4 P-V 曲线及 P_Q 的确定

$$Y = 0.959 - 0.31 \frac{a}{C} + 1.1 \frac{a}{B} - 1.3 \left(\frac{a}{B} \right) \left(\frac{a}{C} \right) \dots\dots\dots (6)$$

$$(0.45 \leq \frac{a}{B} \leq 0.55, 0.45 \leq \frac{a}{C} \leq 0.55)$$

5.4.4 表面裂纹断裂韧度 K_{Ic} 的确定

当 K_{IQ} 满足有效条件公式 7、8、9 时, $K_{IQ} = K_{Ic}$ 。

$$a \geq 0.50 \left(\frac{K_{IQ}}{\sigma_{r0.2}} \right)^2 \dots\dots\dots (7)$$

$$(B - a) \geq 0.50 \left(\frac{K_{IQ}}{\sigma_{r0.2}} \right)^2 \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{P_{max}}{P_Q} \leq 1.20 \dots\dots\dots (9)$$

注: 1) 计算 K_{IQ} 值时, a 、 B 值应化成米单位。

用本方法测定的 K_{Ic} 值, 反映了超高强度钢板材在线弹性平面应变状态下阻止表面裂纹启裂的能力, 在本方法范围内它是与材料厚度基本无关的常数。

5.4.5 剩余强度 σ_r 的计算

剩余强度 σ_r 由公式 10 计算:

$$\sigma_r = \frac{P_{max}}{BW'} \dots\dots\dots (10)$$

剩余强度是裂纹尺寸和试样尺寸的函数, 只有实际使用状态与试验状态一致时, 该值才能

使用。

5.4.6 试验结果

当满足 5.4.4 条要求的试样数量大于等于合格试样数量的一半时,以 K_{II} 值作为试验结果;否则以 σ_r 作为试验结果。

每个 K_{II} 值和其它合格试样的 K_{I0} 值以及 α_r 值应在试验记录表中记录,见附录 C(参考件)。

5.5 试验报告

试验报告至少应包括下列内容:

- a. 材料名称、状态;
- b. 试样取向、试样几何尺寸、试样裂纹尺寸、疲劳预制裂纹规范;
- c. 试验数据处理;
- d. 试验温度、相对湿度、拉伸速度;
- e. 试验人员、校核人员及日期。

附录 A

P₀ 取值预备性试验

(补充件)

为了获得确切反映表面裂纹启裂的 P₀ 取值, 应进行本预备性试验。

A1 一般程序

按 5.2 条要求制备合格试样 12 片, 按 5.3.2 条要求先进行 6 片试样的 P₁₀ 载荷点拉伸加载停机试验, 通过氧化着色或二次疲劳技术, 对试样进行裂纹扩展留痕处理, 拉断试样后, 测量裂纹真实扩展量 Δa , 确定 P₀ 是否取 P₁₀。当 P₀ 不能取值为 P₁₀ 时, 再进行另 6 片试样的 P₁₅ 载荷点拉伸加载停机试验, 通过 Δa 量的测量确定 P₀ 取 P₁₅ 或 P₂₀。

注: P₁₀ 和 P₂₀ 分别为 P-V 曲线上线性段斜率降低 10% 和 20% 的割线与曲线交点相应的载荷。

A2 P₀ 取 P₁₀ 的规定

6 片试样的 P₁₀ 载荷点停机试验中, 若有至少 4 片试样的裂纹真实扩展量 $\Delta a \geq 0.06a$ 或 0.20mm (取其小者), 则取 P₀ = P₁₀; 否则, 应进行另 6 片试样的 P₁₅ 载荷点停机试验。

A3 P₀ 取值 P₁₅ 或 P₂₀ 的规定

6 片试样的 P₁₅ 载荷点停机试验中, 若有至少 4 片试样的裂纹真实扩展量 $\Delta a \geq 0.06a$ 或 0.20mm (取其小者), 则取 P = P₁₅; 否则, 取 P₀ = P₂₀。

A4 P₀ 取 P_{max} (或 P_I) 的规定

在 P₁₀、P₁₅ 或 P₂₀ 之前存在不小于该载荷点的 P_{max} (或 P_I), 则取 P₀ = P_{max} (或 P_I)。

A5 Δa 的测量

A5.1 裂纹真实扩展量 Δa 的测量起始位置为疲劳预制裂纹前缘。

A5.2 半椭圆表面裂纹对称轴线及其两侧各 0.1C 处的 3 个位置上测量的裂纹真实扩展量的平均值, 作为 Δa 值, 测量精度为 0.01mm。

附录 B

引伸计安装

(参考件)

B1 为了装卡针尖式微型引伸计,可以在疲劳预制裂纹中心线上,压制两个与裂纹面对称的三角锥形或圆锥形盲孔,间距小于 B 或 4mm (取其小者),孔深约 0.3mm ,试样表面上的孔径不大于 0.5mm 。引伸计的安装示例见图 B1。

B2 为了装卡夹式引伸计,应在疲劳预制裂纹中心线上,采用微点焊法将刀口托片焊在裂纹面对称位置上,焊点间距小于 B 或 4mm (取其小者)。引伸计装卡示例见图 B2。

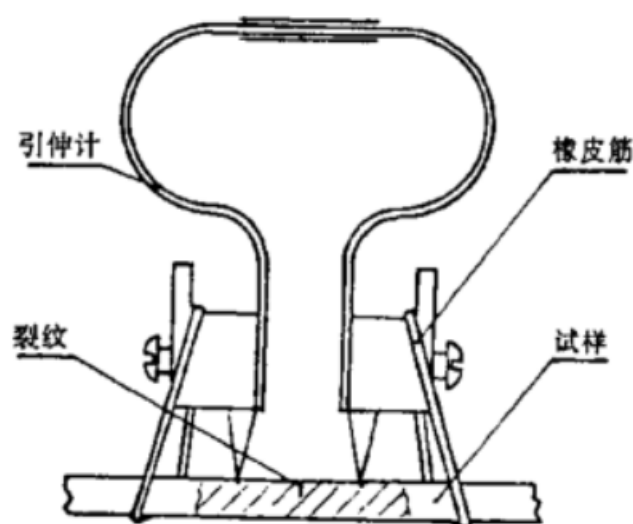


图 B1 针尖式微型引伸计安装示意图

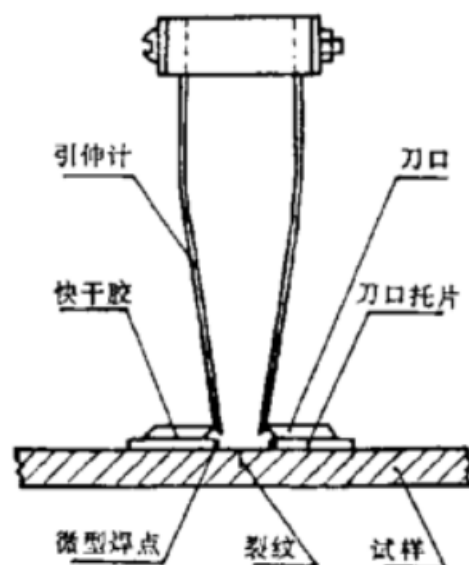


图 B2 夹式引伸计安装示意图

附录 C
表面裂纹断裂韧性试验记录表
(参考件)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|-------------------|----------------|----------------|--------|------|-----|------------------|------------------|----------------|----------------|---|-----------------|----------------------------------|--|--|-----------------|----|--|---|
| 材料 | 名称 | | 炉批号 | | 疲劳预制裂纹 | 试验号 | S | P _{max} | P _{min} | f | N | t | 预制裂纹 | 试验人员 | | | | | | |
| | 化学成分 % | | | | | | | | | | | | | 校 | 对 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 日 | 期 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 机 | 型 | | | | | |
| | 热处理 | | | | | | | | | | | | | 温度 | | 湿度 | | | | |
| | 力学性能 | σ _{y0.2} | σ _b | δ ₅ | | | | | | | | | | | 拉伸 | 试验人员 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 校 | 对 | | | |
| | 试样 | 形状 | 长度 | 取向 | | 表面状态 | | | | | | | | | | 断裂 | 日 | | | 期 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | 机 | | | 型 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | 拉伸速度 | | | |
| 断裂试验 | 试样号 | B | W | a | 2C | a/B | a/C | P _{max} | P _Q | σ _Q | σ _r | Y | K _{1Q} | P _{max} /P _Q | $\frac{a}{(\frac{K_{1Q}}{\sigma_{r0.2}})^2}$ | $\frac{B-a}{(\frac{K_{1Q}}{\sigma_{r0.2}})^2}$ | K _{1c} | 备注 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

附加说明：

本标准由航空航天工业部提出。

本标准由航空航天工业部七〇八所归口。

本标准由航空航天工业部四院四十一所、冶金部北京科技大学、航空航天工业部七〇三所起草。

本标准主要起草人：靳秀兰、朱祖念、张善祁、唐俊武、吴运学。

计划项目代号：89057。