

# HB

## 中华人民共和国航空航天工业部 航空工业标准

HB 5487—91

---

### 铝合金断裂韧度试验方法

1991—06—18 发布

1991—10—01 实施

---

中华人民共和国航空航天工业部

批准

## 铝合金断裂韧度试验方法

HB 5487—91

### 1 主题内容与适用范围

1.1 本标准规定了铝合金断裂韧度试验的定义、术语和符号、试验仪器和设备、试验方法选择、取样、试样形状和尺寸、试验程序及试验数据处理等。并推荐利用材料缺屈比(NYR)与断裂韧度的统计关系评估断裂韧度,作为日常生产交货与验收筛选试验。

1.2 本标准适用于测定下述铝合金制品的断裂韧度:

1.2.1 厚度等于或小于 6.3mm 的薄板;

1.2.2 对有效平面应变断裂韧度试验太薄,而作为薄板处理又太厚,即厚度下限大于 6.3mm,上限为 25~50mm(取决于材料水平)的中厚板、锻件和挤压件;

1.2.3 可按 GB 4161 进行  $K_{Ic}$  试验的厚板和其他制品。

### 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

HB 5261 金属板材  $K_R$  曲线试验方法

HB 5214 金属材料室温缺口拉伸试验方法

HB 5143 金属室温拉伸试验方法

### 3 定义、术语和符号

3.1 本标准采用上述引用标准中规定的有关定义、术语和符号。

3.2 有效平面应变断裂韧度: 试验结果  $K_q$  全面满足 GB 4161 正文及附录 A 至 D 中规定的有效性条件,  $K_q = K_{Ic}$ , 为有效平面应变断裂韧度。

3.3 无效平面应变断裂韧度: 试验结果  $K_q$  有一条或几条不满足 GB 4161 正文及附录 A 至 D 中规定的有效性条件时,  $K_q$  为无效平面应变断裂韧度。

3.4 有意义的平面应变断裂韧度: 试验结果  $K_q$  虽有一条或几条不满足 GB 4161 正文及附录 A 至 D 中规定的有效性条件,但  $K_q$  值与有效  $K_{Ic}$  值的偏差不超过 5%~10%时,该  $K_q$  值可作为有意义的平面应变断裂韧度(见 9.3.5)。

3.5 缺屈比 NYR: 尖缺口抗拉强度与材料屈服强度的比值。

3.6 条件载荷  $P_{25}$ : 载荷—裂纹张开位移曲线与该曲线直线段斜率降低 25%割线交点处的载荷。

3.7 条件有效裂纹长度  $a_{25}$ : 载荷—裂纹张开位移曲线与该曲线直线段斜率降低 25%割线

交点处的有效裂纹长度。

3.8 条件断裂韧度  $K_{R25}$ : 载荷—裂纹张开位移曲线与该曲线直线段斜率降低 25% 割线交点处的应力强度因子值。该点有效裂纹长度应满足 HB 5261 对剩余韧带尺寸的要求。

#### 4 试验仪器和设备

试验仪器和设备应满足 GB 4161、HB 5261、HB 5143 中规定的要求。

#### 5 试验方法选择

5.1 对厚度小于或等于 6.3mm 的铝合金薄板按 HB 5261 方法进行试验,测定临界应力强度因子  $K_c$ 。

5.2 对于中等厚度高韧性铝合金板材及其他制品,按下述方法进行断裂韧度试验:

5.2.1 厚度接近 6.3mm 的板材和铝合金制品,按 HB 5261 方法,采用 7.6 规定的紧凑拉伸试样,测定条件断裂韧度  $K_{R25}$ ,推荐作为材料制定技术标准和验收的断裂韧度值。

5.2.2 对厚度接近平面应变断裂韧度要求的板材和其他制品,用 7.3 规定的紧凑拉伸试样,按 GB 4161 测定条件断裂韧度  $K_q$ ,并按本标准 9.1.3、9.1.4 和 9.1.5 规定进行有效性检验,以期得到有意义的断裂韧度。

5.3 对相当厚的高强度高韧铝合金板材及其他制品,用 7.1 规定的紧凑拉伸试样,按 GB 4161 测定材料平面应变断裂韧度  $K_{Ic}$ 。

#### 6 取样

6.1 取样部位应满足材料技术条件规定的要求。

6.2 如材料技术条件对取样部位无具体要求时,则当板材截面厚度为试样厚度两倍时,应在截面厚度中间取样。当板材截面厚度大于试样厚度两倍时,在板材截面厚度 1/4 处取样。

6.3 一般情况下,锻件、挤压件和棒材应在横截面中心部位取样。

6.4 用缺屈比进行筛选试验时,拉伸试样应与被代替的断裂韧度试样的取样方向、位置相一致。

#### 7 试样形状和尺寸

7.1 对高强度高韧铝合金,为了得到稳定的平面应变断裂韧度  $K_{Ic}$  值,试样厚度  $B$  与裂纹长度  $a$  应大于或等于  $5(K_{Ic}/\sigma_{0.2})^2$ 。

7.2 在对材质进行检验时,如技术条件无具体规定,应尽量采用较大尺寸的试样。

7.3 因被试材料尺寸有限,不能切取  $B \geq 5(K_{Ic}/\sigma_{0.2})^2$  的试样,则应根据实际情况,尽量采用较大的厚度  $B$  和增大宽度  $W$  的试样,但该试样应满足裂纹长度  $a \geq 5(K_{Ic}/\sigma_{0.2})^2$  的要求。

7.4 对于铝合金薄板,断裂韧度试验应采用中心裂纹拉伸试样,其宽度为 405mm(也可采用 380mm),初始裂纹长度为宽度的  $\frac{1}{4}$ ,即  $a/W = 0.25$ 。中心裂纹可用疲劳预制或机械加工,但裂纹尖端必须尖锐。

7.5 筛选试验时采用图 1 和图 2 所示的尖缺口拉伸试样和相应的光滑试样确定材料的缺屈比。

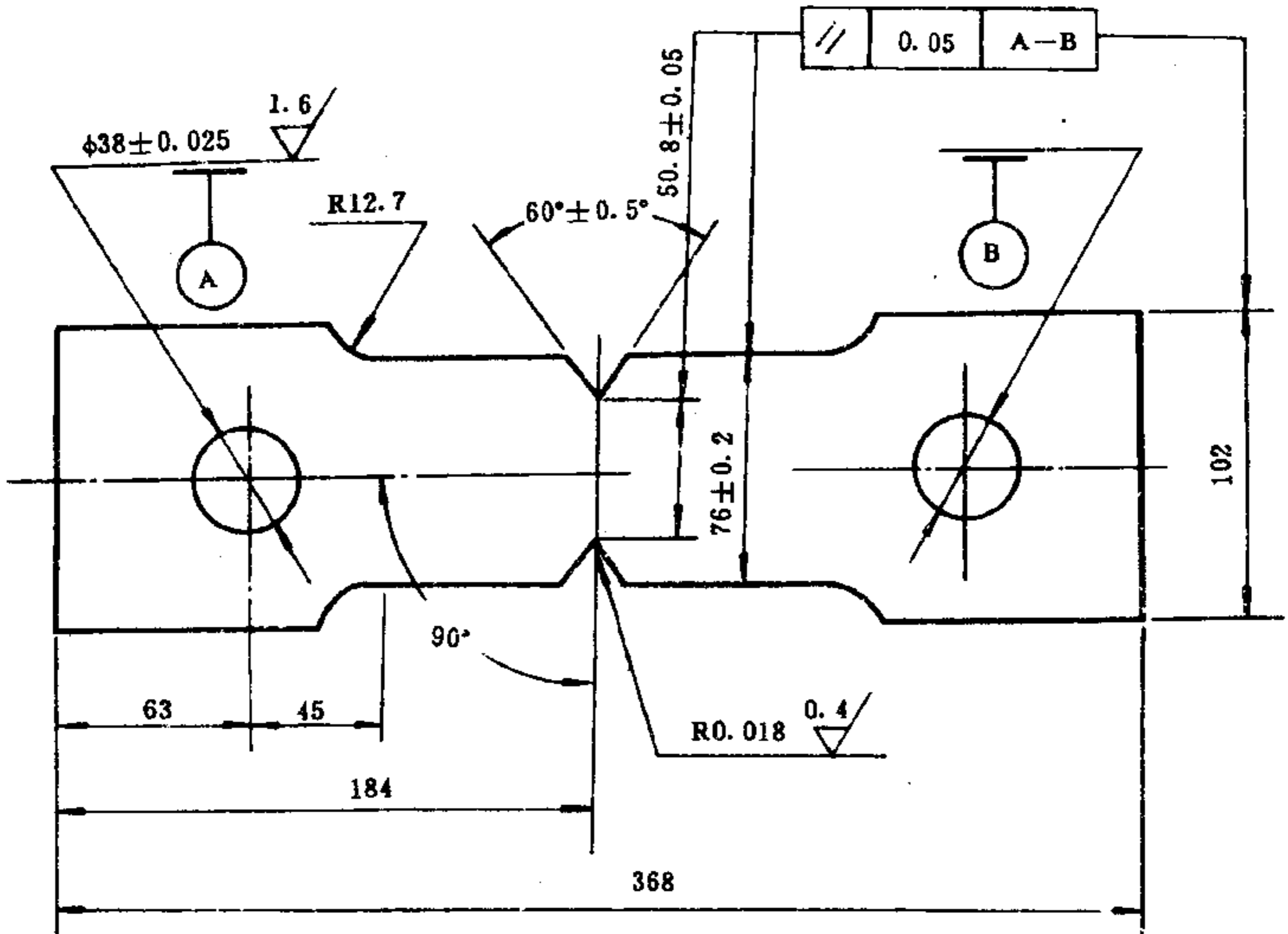


图 1 尖缺口板材拉伸试样



7.6 测定条件断裂韧度  $K_{R25}$  使用图3所示的紧凑拉伸试样。 $W > 16r_y$ , 初始裂纹长度  $a = (0.35 \sim 0.45)W$ 。最佳的几何尺寸(即既能得到有效结果,又能使用尺寸小的试样)需要通过试验确定,它取决于材料强度、韧度和厚度。试样尺寸一旦确定后,对于该种规格材料的断裂韧度试验均应使用相同尺寸试样。

## 8 试验程序

- 8.1 厚度小于或等于 6.3mm 薄板断裂韧度试验按 HB 5261 规定的程序进行。
- 8.2 对厚度接近 6.3mm 中等厚板按 HB 5261 规定的程序用柔度法测定 P—2V 曲线。
- 8.3 对接近平面应变断裂韧度要求和相当厚的铝合金板材及其它制品的断裂韧度试验按 GB 4161 规定的程序进行。

## 9 试验数据处理

### 9.1 薄板断裂韧度试验数据处理

- 9.1.1 按 HB 5261 中 5.2 和 5.3 的有关规定,用载荷—裂纹张开位移曲线开始进入水平段起点处所对应的有效裂纹长度和最大载荷计算试样的断裂韧度。
- 9.1.2 用中心裂纹拉伸试样,测得薄板断裂韧度  $K_c$  有效性应满足:

$$\sigma_N = \frac{(P/WB)}{(1 - \frac{2a}{W})} < \sigma_{0.2}$$

### 9.2 接近 6.3mm 中厚板断裂韧度试验数据处理。

- 9.2.1 由载荷—裂纹张开位移曲线确定条件载荷  $P_{25}$  和  $2V_{25}$ (如图 4 所示);

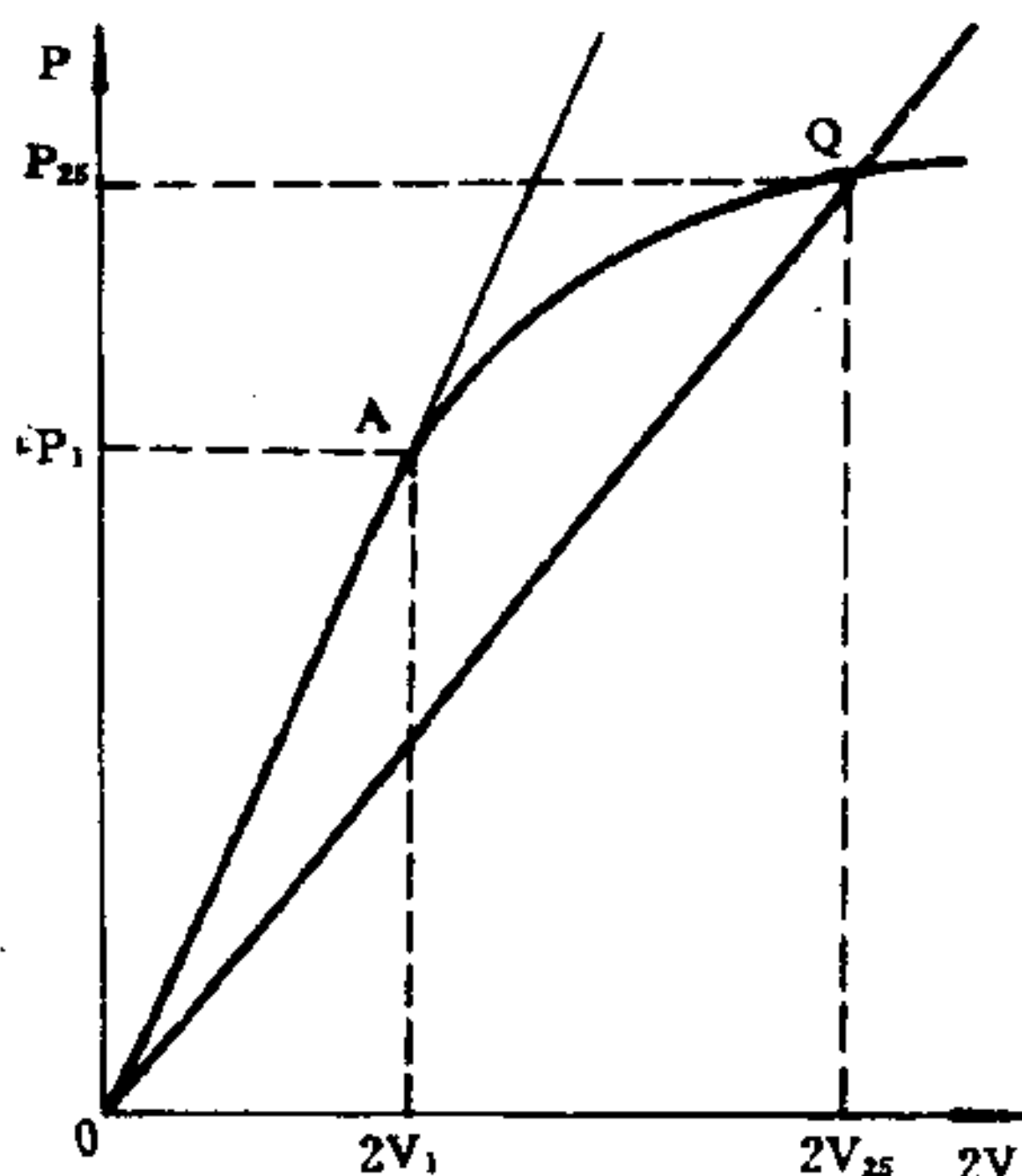


图 4 载荷—裂纹张开位移曲线



将载荷—裂纹张开位移曲线直线段延长,延长线与曲线开始分离点为A。过零点作一条斜率为  $0.75(\frac{P_1}{2V_1})$  的割线( $P_1/2V_1$  为直线 OA 的斜率)与载荷—张开位移曲线相交于 Q 点,该点所对应的载荷和张开位移分别为  $P_{25}$  和  $2V_{25}$ 。

9.2.2 计算无量纲柔度  $BE(\frac{2V_1}{P_1})$  和  $BE(\frac{2V_{25}}{P_{25}})$ ,并由 HB 5261 表 3 查得相应的  $\frac{a_1}{W}$  值。再由  $\frac{a_1}{W}$  值计算试样初始裂纹长度,称为柔度法得到的初始裂纹长度。如果试样实测得到的初始裂纹长度与用柔度法获得的初始裂纹长度之差超过  $0.003W$  时,应对无量纲柔度  $BE(\frac{2V_{25}}{P_{25}})$  进行修正,其修正步骤如下:

用试样实测初始裂纹长度  $a$  计算  $\frac{a}{W}$  值,查 HB 5261 表 3 得到相应的无量纲柔度  $BE(\frac{2V}{P})$ ,它与由 P—2V 曲线直线段算得的无量纲柔度  $BE(\frac{2V_1}{P_1})$  之差(代数值)为柔度修正量。修正后的无量纲柔度用下式计算:

$$BE(\frac{2V_{25}}{P_{25}}) + [BE(\frac{2V}{P}) - BE(\frac{2V_1}{P_1})]$$

用修正后的无量纲柔度值重新查 HB 5261 表 3 得到  $f(\frac{a_{25}}{W})$  值。

9.2.3 用下式计算  $K_{R25}$ :

$$K_{R25} = (P_{25}/B \sqrt{W}) f(\frac{a_{25}}{W})$$

9.2.4  $K_{R25}$  有效性应满足:

$$(W - a_{25}) \geq \frac{4}{\pi} (K_{R25}/\sigma_{0.2})^2$$

9.3 厚板和厚度接近平面应变断裂韧度要求的中厚板及其他制品的断裂韧度试验数据处理。

9.3.1 按 GB 4161 中 7.1 规定确定条件载荷  $P_q$ ,根据  $P_q$  和裂纹长度  $a$  按附录 C 和 D 计算试样  $K_q$  值,

9.3.2 满足 GB 4161 全部有效性条件的  $K_q$  为有效平面应变断裂韧度  $K_{Ic}$ 。

9.3.3 对  $2.5(K_{Ic}/\sigma_{0.2})^2 \leq B \leq 5(K_{Ic}/\sigma_{0.2})^2$ ,  $a \geq 5(K_{Ic}/\sigma_{0.2})^2$ ,  $a/w = 0.45 \sim 0.55$ ,  $1 \leq w/B \leq 4$  的弯曲试样或  $2 \leq w/B \leq 4$  的紧凑拉伸试样,当  $P_{max}/P_q \leq 1.10$  时,若其它条件亦满足有效性要求, $K_q$  为有效平面应变断裂韧度  $K_{Ic}$ 。

9.3.4 当试样符合 9.3.3 条件, $P_{max}/P_q$  虽不满足小于或等于 1.10 的要求,但不大于 9.3.5 的规定值,且满足 9.3.6 和 9.3.7 要求, $K_q$  为有意义的断裂韧度。

9.3.5 关于载荷比  $P_{max}/P_q$

对于厚度  $B < 2.5(K_{Ic}/\sigma_{0.2})$ ,  $a > B \geq 0.5a$ ,  $2 < w/B < 4$  的非标准试样,当  $P_{max}/P_q$  不大于下列表中规定值,且满足 9.3.6 和 9.3.7 规定, $K_q$  为有意义的断裂韧度。

| B/w                       | $P_{max}/P_q$ 规定值 |
|---------------------------|-------------------|
| $0.40 \leq B/w \leq 0.50$ | 1.10              |
| $0.30 \leq B/w \leq 0.39$ | 1.15              |
| $0.25 \leq B/w \leq 0.29$ | 1.20              |
| $0.20 \leq B/w \leq 0.24$ | 1.25              |

### 9.3.6 关于预制疲劳裂纹最后阶段应力强度因子。

如果预制疲劳裂纹最后阶段应力强度因子  $K_{Imax}$  大于  $0.6K_{Ic}$  (或大于  $0.00032m^{\frac{1}{2}} \cdot E$ ), 但小于  $0.8K_{Ic}$  (或小于  $0.00038m^{\frac{1}{2}} \cdot E$ ), 则  $K_q$  为有意义的断裂韧度。

### 9.3.7 关于裂纹长度

如果裂纹长度超出  $(0.45 \sim 0.55)w$ , 但在  $(0.40 \sim 0.60)w$  范围之内, 则  $K_q$  为有意义的断裂韧度。

9.3.8 如果有意义的断裂韧度值不低于材料技术标准规定的指标, 可认为满足材料技术标准要求。

## 10 筛选试验

10.1 由于直接进行断裂韧度试验比较复杂, 建议利用缺屈比与材料断裂韧度的统计关系进行材质控制或验收性检验。

10.2 在生产中积累各批材料的缺屈比值和断裂韧度值并建立如图 5 所示的统计图。

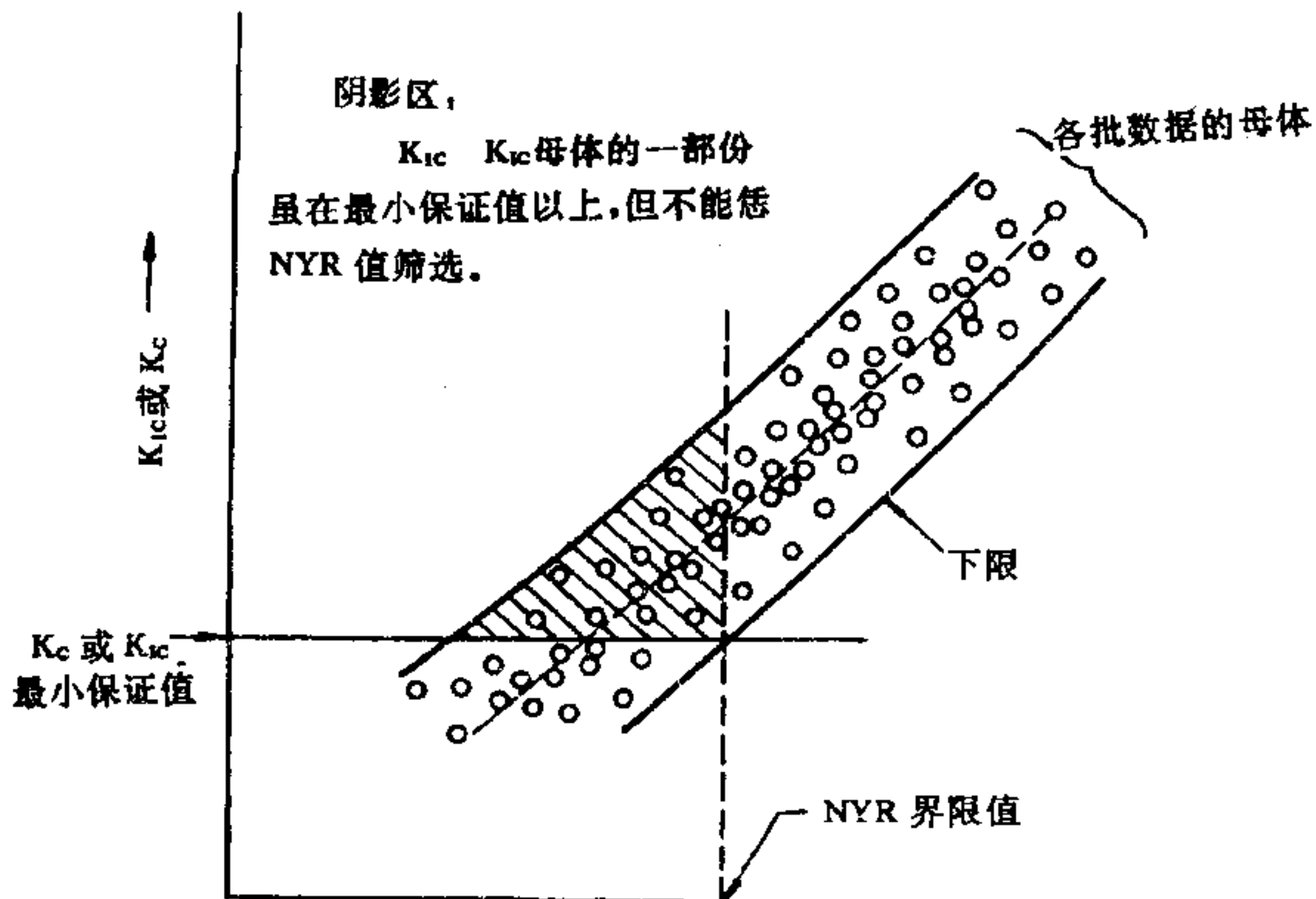


图 5  $K_c$  或  $K_{Ic}$  与 NYR 值的关系示意图



10.3 筛选试验时,每批材料至少取 3 根缺口试样和光滑试样,测定缺口拉伸强度和屈服强度,确定缺屈比。

10.4 生产检验时,当材料 NYR 值大于最低界限值,材料断裂韧度满足最低保证值,可作为交货或验收依据。如果 NYR 小于最低界限值则进行断裂韧度试验。

## 11 试验报告

试验记录和报告应包括:

- a. 材料名称、产地、冶炼方法、炉批及化学成份;
- b. 制品形式、规格、加工方法、热处理工艺及取样方向;
- c. 材料机械性能:  $E$ 、 $\sigma_b$ 、 $\sigma_{0.2}$ 、 $\sigma\%$ ;
- d. 试样尺寸:  $B$ 、 $w$ 、 $a_0$ (或  $2a_0$ )、 $L_0$ 、 $L$ ;
- e. 试验条件: 温度、相对湿度、疲劳制度;
- f. 载荷—裂纹张开位移曲线;
- g.  $K_c$ 、 $K_{Ic}$ 、 $K_{R25}$ 、 $K_q$ 、 $\sigma_{bH}$ 、 $\sigma_{0.2}$ 、NYR。

最好用表格形式列出上述内容,推荐以下试验记录表格。





**附加说明：**

本标准由航空航天工业部航空材料、热工艺标准技术归口单位提出并归口。

本标准由航空航天工业部六二一所负责起草。北京航空航天大学、六四〇所、六一一所参加。

本标准主要起草人：六二一所张 志、黄志豪。北京航空航天大学刘文**爽**。