

冶金科技资料

断裂韧性测试 及其应用

冶金系统第一届断裂韧性工作经验交流会资料选编

冶金部情报标准研究所

1 9 7 6

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

前 言

一九七五年十月我部在沈阳召开了冶金系统断裂韧性测试及其应用工作经验交流会。

会议认为，经过无产阶级文化大革命，批林批孔和学习无产阶级专政的理论，我国冶金系统有关单位以阶级斗争为纲，坚持“开门办科研”，在研制新材料，不断改进工艺的同时，开展了对断裂韧性和滞后破坏的研究，并取得了较好的成果。

为了更好的推广这一工作，现将会议有关技术资料选编成册，供参考。

（由于印刷所限，有的文章参考文献删去，需要时请找编写单位查阅）。

编 者

一九七六年一月

目 录

1. 在万能拉力机上测定 K_{Ic} 。装置及某些试验因素对 K_{Ic} 的影响……抚顺钢厂 (1)
2. 断裂韧性的测定……上钢五厂第二中心试验室 (8)
3. 表面裂纹法测定高强度钢板断裂韧性的研究……北京钢铁学院断裂韧性组 (15)
4. J_{Ic} 测试法研究……冶金部钢铁研究院物理室断裂韧性组 (42)
5. 试样韧带宽度对开裂点的影响
……中国科学院力学研究所十二研究室断裂力学组 (66)
6. 用电阻法确定裂纹扩展的开裂点……北京钢铁学院断裂韧性组 (75)
北京第二通用机械厂
7. 用示波冲击法测试动态断裂韧性……冶金部金属研究所断裂韧性组 (84)
8. 金属材料滞后破坏……冶金部金属研究所滞后破坏组 (91)
9. 用悬臂弯曲方法测定中强度钢的 J_{Ic} 和 J_{Isc} ……冶金部金属研究所滞后破坏组 (104)
10. 用柔度法测裂纹扩展速率……冶金部钢铁研究院物理室断裂韧性组 (114)
11. 应力强度因子的资料……冶金部钢铁研究院物理室断裂韧性组 (123)
12. 断裂韧性在研制高压容器中的应用……冶金部金属研究所高压容器研制小组 (132)
13. 热处理钢筋和断裂韧性的试验研究……天津钢铁厂 (142)
北京第一轧钢厂
冶金部建筑研究院
14. 一种镍铬钼结构钢中片状夹杂物对裂纹扩展的影响
……冶金部金属研究所断口组、断裂韧性组 (149)
15. 预裂纹冲击试验在评价高强度材料韧性中的应用
……冶金部金属研究所断裂韧性组 (157)
16. 37SiMnCrNiMoV 低合金超高强度钢断裂韧性的测定
……上海钢铁研究所四室 (166)
17. 关于中强度钢断裂韧性 (K_{Ic}) 的测试……北京第二通用机械厂 (178)
北京钢铁学院断裂韧性组
18. 30SiMnCrMo 钢断裂韧度测定……武钢钢铁研究所 (181)
冶金部钢铁研究院物理室断裂韧性组
19. 32SiMnMoV 钢板焊接区的断裂韧性……北京钢铁学院断裂韧性组 (188)
20. 若干钢种的断裂韧性……冶金部钢铁研究院物理室断裂韧性组 (198)
21. 一种新的复合型断裂准则……中国科学院力学研究所第十二室 (220)
22. 用弹性奇点移动模型分析混合型裂纹问题……冶金部金属研究所断裂韧性组 (227)
23. 复合型断裂准则评述……中国科学院力学研究所第十二室断裂力学组 (243)
24. 金属材料平面应变断裂韧性标准试验方法…… (259)

在万能拉力机上测定 K_{Ic} 的装置 及某些试验因素对 K_{Ic} 的影响

抚顺钢厂

测试装置

断裂韧性作为一个新的检验项目，在国内普遍受到重视，有些单位已做出可喜的成果。从断裂韧性的理论和测试技术上都有了新的发展。测试范围由高强度材料扩展到中等强度材料。由测定断裂韧性 K_{Ic} 值发展到测定疲劳裂纹扩展速率，应力腐蚀等等。並有些单位开始应用这个数据解决具体生产问题。随着国民经济的蓬勃发展，断裂力学一定会发展得更加迅速。

断裂力学是与生产实际密切联系的，因为金属材料在生产冶炼、轧制过程中，总是有缺陷和裂纹的，而这种裂纹在服役或疲劳过程中，由微小裂纹逐步扩展成宏观裂纹，而形成低应力脆性断裂。传统的冲击韧性和其他塑性指标，都是一些经验公式，並且是试件在予先完整的不存在裂纹情况下的数据，这种技术数据往往不能如实反映韧性水平，特别是对于大型构件或者高强材料就更不能反映材料抵抗低应力脆性破坏的能力，而断裂韧性却能较科学的给予决答。所以开展断裂韧性试验，是对材料性能全面认识的一个不可缺少的手段。

在工厂中建立这种试验项目，还是完全可行的。我厂根据生产需要，发扬“独立自主，自力更生”的精神，充分利用国产设备。其中有些部件是结合本厂具体条件，因地制宜，自制配件，经二年来实践，效果一直良好，目前正在应用于生产及科研检验。

对于平面应变状态下，裂纹扩展失稳点的确定。

材料在平面应变状态下，应力强度因子 K_I 随外力增加而增加，但是在达到一个临界值 K_{Ic} 时，裂纹便迅速扩展。这一失稳点的确定，便是测试的主要任务，在通过测试装置测得失稳点所对应的负荷时，便可求出材料的 K_{Ic} 值，即定出材料抵抗I型破坏阻力。对于高强材料在平面应变状态下，在裂纹尖端存在小范围屈服，一般定为小范围塑性区尺寸的一半处（ $\frac{1}{2}R$ ）为失稳点，也即是裂纹向内增长 $\Delta a = \frac{1}{2}R$ ，根据平面应变条件下应力松弛区尺寸为

$$R = \frac{K_{Ic}^2}{2\sqrt{2}\pi \cdot \sigma_{0.2}^2}$$

而塑性区尺寸一半为

$$\lambda \sigma = \frac{1}{2} R = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \cdot \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_{0.2}} \right)^2 \approx \frac{1}{17.8} \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_{0.2}} \right)^2$$

而在满足平面应变条件尺寸要求必须有 $a_0 \geq 2.5 \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_{0.2}} \right)^2$

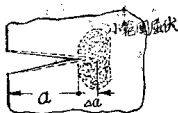


图 1

1. 三点弯曲测试装置的示意图

$$\text{而 } \frac{\lambda \sigma}{a_0} = \frac{1}{44.5} \approx \frac{1}{50}$$

也即是裂纹扩展 α_0 之 2% 所对应的负荷，即为裂纹失稳点。但是直接测试 2% α_0 是有困难的，而是通过试样切口边缘的张开位移与 P 载荷的曲线间接测定。

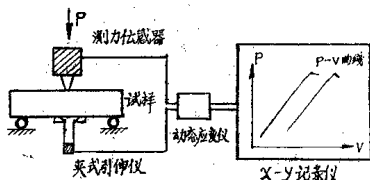


图 2 测试装置图

对于试样裂纹失稳点的确定，一般需用一定的电讯号转换元件，测力传感器和位移张开引伸计，由于讯号微弱需经动态应变仪（放大1000倍）放大，输送给函数记录仪，绘出 P-v 曲线，在曲线上定出裂纹失稳点所对应的负荷。

二、测力传感器及夹式引伸仪的制做。

我们是用 30 吨油压式万能拉力试验机上，配有力传感器和夹式引伸仪，自己制作了这两种讯号元件，经二年来使用，效果良好。力传感器是选用 30Si₂Mn₂W Mo V 高强度钢制成。

其化学成分 %

C0.26/0.32 Mn1.5/2.0 Si2.0/2.5 W0.8/0.6 Mo0.55/0.75 V0.05/0.15

热处理工艺及性能

650°C ± 10° 油淬	σ _P	ψ	α _K
200°C ± 20° 空	125 kg/mm ²	30%	4.5 kg-m/cm ²

为保护传感器的线路与应变片，可以在传感器外部加工一个防护罩，其尺寸可根据具体情况选定。

应变片是选用国产 120Ω 阻值。按惠斯顿电桥，全桥或半桥式连接。

测力传感器的元件，如无高强度改用40Cr等代替亦可，但是加工需要严格，关键是圆筒的同心度及负荷线性校正。同心度如果偏差较大，变形不均匀，应变片 ΔR 值变化也不成线性，造成错误讯号转换，所以在使用中，必须事先对测力传感器进行线性校正。

夹式引伸仪的制做，一般为双悬臂式的，制作较为严格，因试样裂纹张开量很小，一般高强度钢张开量为0.20~0.35mm，（指10×20×90mm试样刀口处位移），在这一范围要求要有较高的灵敏度和较大的线性范围。而应变片的电势 ΔE 变化是依应变片本身电阻变化 ΔR 而变， ΔR 又与悬臂梁的变形 ϵ 及 f 有关。悬臂梁自由端挠度为

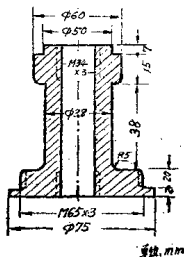


图3 测力传感器尺寸图

$$f = \frac{P \cdot l^3}{3EI} \dots\dots (a)$$

在弹性范围内

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

在悬臂梁上支撑点应力

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{F \cdot l \cdot h/2}{I} \dots\dots (b)$$

$$\text{则 } \epsilon = \frac{Pl \cdot \sigma}{E I} = \frac{3h}{2l^2} \dots\dots (c)$$

公式中： ϵ ——为悬臂梁贴应变片处应变

h ——为悬臂梁厚度

l ——为悬臂梁的长度

从公式(c)中看出，如果若提高引伸仪在相同挠度 f 下的灵敏度，只能使引伸仪厚度 h 加大或使引伸仪长度缩短。但从另一方面，即要保证有足够灵敏度，又要有较大的线性范围，即 f 较大变形，从公式(c)中，可推出

$$f = \frac{2\sigma_0 \cdot \epsilon \cdot l^2}{3E} \cdot \frac{1}{h}$$

所以只有引伸仪长度 l 增大，厚度 h 缩小，才能使 f 增加，这与提高灵敏度恰恰相反，所以一般不改变 l 及 h 尺寸，只有在选材上适当考虑，使 $\sigma_{0.2}/E$ 之比值越大的材料越好，钛合金弹性很好，很适合做这种元件，我们选用TB₂，经800℃（保温30分钟）固溶后， σ_b 可达110kg/mm²，其引伸仪尺寸如图所示。

端点槽口加工，按E399—72方法内尺寸。

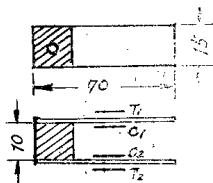


图 4 引伸仪图

段是否相等，至于对传感器所施之负荷按试验之需求而定。

引伸仪的线性校正是将引伸仪卡在带尖口的螺纹千分尺上，在螺纹千分尺上放松0.10mm或更小一些时，在函数记录仪上，得出的讯号转换成在线段是否相等，並定出线性范围。

如果测力传感器及夹式引伸仪都合乎要求，再配有动态应变仪及函数记录仪，本试验便可进行。

二、平面应变三点弯曲试验中的一些影响因素

由于我们还没有国内试验方法，都是根据美国的ASTME 399—72标准方法进行。其中一些要求需要探讨，我们同东北工学院结合工厂实际情况做了几个影响因素试验。

试验材料选用我们厂生产的热轧60Si₂Mn10×90带材，经正常热处理工艺860℃油淬，460℃水回火，试片规格0.5×20×90mm疲劳和机械加工切口方向为L—T方向。

1. 试样试验跨距S对K_{1c}的影响

ASTME399—72规定S=4W±0.1W，但是跨距总是有偏差的，特别是由于试样原料的限制，试样长度达不到4W，而是小于4W，如改变其跨距，对试验结果有什么影响，是否也能得到真实的K_{1c}，我们做了此项试验，从标定公式中

$$K_{1c}^2 = \frac{P_Q \cdot S}{B \cdot W^{3/2}} \cdot f(a/w)$$

S改变，P_Q也应改变，P_Q·S乘积应是一常数，S小，P_Q应该增大；S大，P_Q应减小。我们分别做了：

S=3W, 3.6W, 3.8W, 3.9W, 4W, 4.1W, 4.2W, 4.4W，等跨距的影响，试验结果见图五

从图中可以看到，在跨距3W~4.4W之间，S之大小变化所对应求得K_{1c}值没有明显变化，均在方法规定的10%误差范围内，如目前采用的S=4W是适宜，因方便操作，但根据情况也可改变一下跨距。

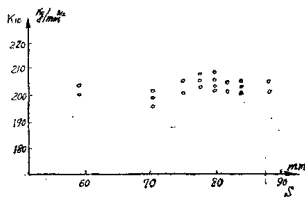


图 5 不同跨距S所测得的 K_{Ic} 值

2. a/W 的比值对 K_{Ic} 的影响

E399—72中规定, a/W 在0.45—0.55之间, E₀由P—V曲线初始斜率降低5%的割线确定, 以求对应于 $\frac{\Delta\alpha}{\alpha_0} = 2\%$ 之规定。但是不同的 a/w 值, 对于相同要求 $\frac{\Delta\alpha}{\alpha_0} = 2\%$ 的斜率是不同的, 经公式推导:

a/w	割线与初始斜率下降值
0.40	2.5%
0.45	3.5%
0.47	4.0%
0.50	4.5%
0.52	5.0%
0.55	5.5%

我们选取16个试片 $a/w = 0.45 \sim 0.60$ 范围, 割线斜率按名义规定偏离5%及按不同 a/w 不同值之相应的割线斜率。二组 K_{Ic} 进行比较, 从图中可以看出, 在 a/w 较小或超过0.6时, 显示出有差异, 在图五中, 只有几个数值较大, 其余均落在10%范围内。

在我们所选择的 a/w 范围内, K_{Ic} 在正常波动范围, 为保证有足够的韧带尺寸, 还是 a/w 为0.5为宜。

3. 加载速度对 K_{Ic} 的影响:

E399—72中规定了加载速率用 K 表示, 其应力强度因子速率 $K = 1.78 \sim 8.87 \text{ kg/mm}^3/2/\text{秒}$, 也就是说裂纹顶端强度因子是与施加荷载速度是有直接关系的, 从结果中看E399—72规定还是合适的。

$$\text{所以 } \dot{K}_I = \frac{dK_I}{dt} = \frac{P \cdot S}{B \cdot W^3} \cdot f(a/w)$$

我们选取14片试样做不同速度试验, 试验结果见图七及下表:

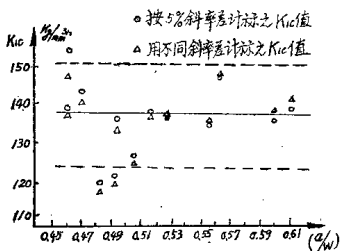


图 6 斜率偏差5%及不同偏差值之 K_{Ic}

序 号	P Kg/秒	K kgmm ^{3/2} /秒
1	8.7	2.07
2	11.0	2.76
3	12.2	2.90
4	12.8	3.05
5	16.5	4.00
6	18.0	4.29
7	19.1	4.36
8	19.1	4.36
9	43.5	14.16
10	35.8	8.04
11	68.1	16.1
12	71.7	17.1
13	136	32.8
14	142	33.8

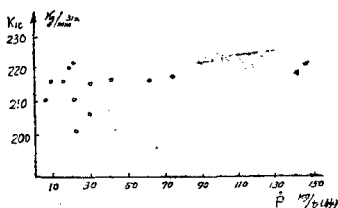


图 7 加载速度对 K_{1c} 之影响

4. 疲劳裂纹长度对 K_{1c} 的影响:

这里所指的疲劳裂纹是指的由疲劳机予制的疲劳纹。

GB99—72中规定, 疲劳裂纹长度应不小于裂纹长度 a 的5%, 并且不小于1.3mm。

为了摸清疲劳裂纹长短对 K_{1c} 之影响, 我们选取了疲劳裂纹大于1.3mm和小于1.3mm的五组试样, 疲劳纹分别为: 4.0、2.0、1.5、1.0、0.5毫米, 其试验结果见图八:

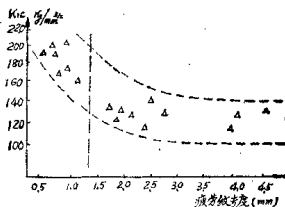


图 8 疲劳裂纹长度对 K_{1c} 之影响

从图中可以见到疲劳裂纹若大于1.3mm所得之 K_{1c} 值趋于恒定, 而疲劳裂纹小于1.3mm所得 K_{1c} 值偏高, 从试验角度来看, 在条件允许情况下疲劳裂纹应当长一些为宜。

影响因素试验, 仅仅是工厂中做为探讨, 试片数目很少, 钢种也不全面, 还有待进一步深入。

工厂中开展断裂韧性试验是完全可行的, 只要结合本单位具体情况, 配制一些元件, 完全可以开展。对于试验方法也还应该结合我国工厂当中的一些特点, 做些探讨, 制定出切合我国实际的标准试验方法。为更好的利用断裂力学的新的检验技术, 为冶金工业生产和科研服务而努力。

断裂韧性的测定

上海第五钢铁厂第二中心试验室

提 要

本实验根据金属材料平面应变断裂韧性标准方法的规定和要求,结合现有设备条件,对一般万能材料试验机加上一个由旧的 EWX-101 型自动电子电位差计改装的裂纹张开位移记录设备,绘制载荷-位移曲线,并对 4340 钢,马氏体时效钢和钛合金等材料断裂韧性的测试,结果表明,数据波动范围较小,效果良好。

一、前言:

目前断裂韧性及其理论基础—断裂力学,研究进展较快。用断裂韧性这个指标来衡量金属材料的性能和进行结构件的安全设计防止低应力脆性断裂是不可缺少的数据。关于断裂韧性的测试国内外已进行了大量的工作,并建立了各种试验方法和分析方法。如金属材料平面应变断裂韧性标准试验方法,裂纹张开位移(COD)试验方法和J积分方法等。但这些方法所需的设备都比较复杂,多数要求精度比较高的电测设备,如电子拉伸机等。

从金属材料平面断裂韧性标准试验方法的规定和要求来看,主要是如何测定裂纹长度 a 和临界载荷 P_Q ,测定了这两个参数就可以按有关公式来计算条件值 K_{Ic} 。而我们现有设备条件只有一般万能材料试验机,而无电子拉伸试验设备,但如何测定 P_Q 呢?经过大家认真讨论和分析,要求出 P_Q ,首先要给出载荷-位移曲线,因此我们就一般万能材料试验机上,附加一个由旧的 EWX-101 型自动电子电位差计改装的裂纹张开位移记录设备来绘制载荷-位移曲线,并对 4340 钢,马氏体时效钢,钛合金材料断裂韧性的测试,效果良好。

二、试验材料:

采用材料有三种,如表1所示:

材 料 规 格	热处理制度	$\sigma_{0.2}$ (Kg/mm ²)	σ_b (Kg/mm ²)	$\delta\%$	$\psi\%$
4340钢	$\phi 20$ 900°C×1小时油冷	160.8	190.0	11.1	49.1
	+220°C×3小时空冷	161.0	188.4	13.2	51.8
马氏体时效钢 (电流)	$\phi 60$ 820°C×1小时空冷	175.6	181.9	11.2	57.0
	+480°C×1小时空冷	176.7	181.9	7.4	57.2
TC ₄	圆盘 800°C×1小时空冷	102.5	106.2	15.2	32.3
		102.0	105.3	13.4	36.6

三、试样的制备:

1. 试样尺寸:

根据ASTM309—72金属材料平面应变断裂韧性标准试验方法的规定和要求, 采用三点弯曲试样, 各种材料的具体尺寸如图1和表2所示:



图1 三点弯曲试样

材 料	试 样 尺 寸 (mm)				
	B	W	S	a	L
4340钢	8	16	64	6	50
马氏体时效钢	12	24	96	12	120
TC ₄	15	30	120	15	130

取三点弯曲试验高度为 W , 厚度为 $B = \frac{1}{2}W$, 跨距 $S = 4W$, 裂纹长度 $a = \frac{1}{2}W$, 试样总长度为 L 。

试样表面磨光后, 用线切割机切一条 $0.10 \sim 0.16 \text{ mm}$ 宽和 $\frac{1}{4}W$ 深的切口。

2. 预制疲劳裂纹

在2吨AMSLER高频振动疲劳试验机上用三点弯曲疲劳的方法预制试样的疲劳裂纹。

为了缩短预制疲劳裂纹的时间, 分两级进行, 即用较大的疲劳载荷 P_1 (一般取 $15 \sim 20\% \sigma_{0.2}$) 在较短的时间内引发疲劳裂纹。在最后 $1 \sim 2 \text{ mm}$ 时降低 P_1 , 使裂纹继续扩张, 一般在 $15 \sim 30$ 分钟内可以得到 $1/4W$ 左右的疲劳裂纹。

四、断裂试验与装置:

断裂试验是在BS—10型10吨万能材料试验机进行

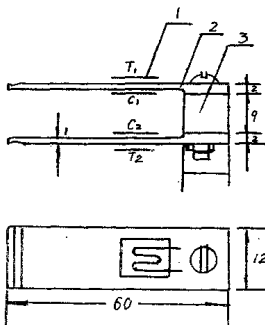
1. 测量裂纹张开位移引伸计:

引伸计采用自制的双悬臂夹型引伸计, 悬臂梁是用固溶状态TB₂钛合金制成 ($800 \text{ C} \times 30(W, Q)$) 隔离块用有机玻璃做, 其示意图如图2所示。

双悬臂的两面贴的是国产胶膜应变电阻丝片, 阻值为 $119 \pm 0.5\%$ 灵敏度系数 $k = 2$ 。

四个应变电阻丝片按图3的方式连接成惠斯顿电桥, 应注意 T_1 、 T_2 、 C_1 、 C_2 的位置不能错贴, 同时为了保证得到较大的输出, 应贴在靠悬梁的根部处。

当引伸计夹持在试样上以后其原始不平衡用33K多圈电位器调整电桥的输出讯号接到自己改装的裂纹张开位移记录仪。



注：
1.电阻应变片
2.悬臂梁
3.隔离块

图 2 双悬臂引伸计示意图

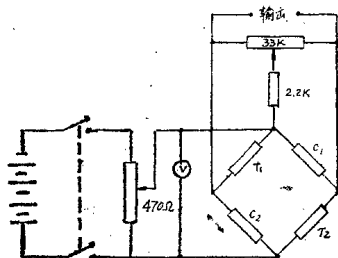


图 3 引伸计接线图

2. 裂纹张开位移记录仪

此记录仪是由旧的EWX-101型电子电位差计改装的。

在一般万能材料试验机上都有记录载荷—伸长曲线的滚筒，因此只要通过适当的齿轮装置来带动滚筒转动，就可以记录载荷—位移曲线。

改装工作很简单，把EWX-101型自动电子电位差计中同步马达传动部分全部拆掉，同时在可逆马达的轴上装上适应的齿轮来带动装有齿轮的滚筒即可。

把引伸计的输出讯号接到EWX-101型自动电子电位差计原来的热电偶接线柱上，

如图4所示。图中 R_3 为调平衡另点电位器， R_4 为限流电阻， R_5 为调节直流电源电位器。

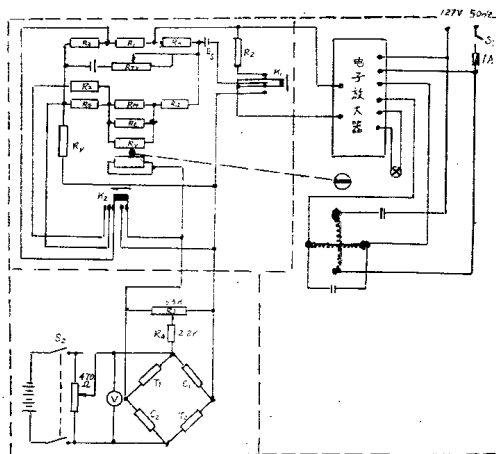
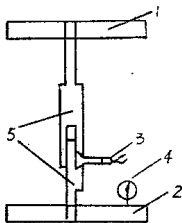


图 4 裂纹张开位移记录仪线路图

3. 引伸计的标定

标定装置如图5所示，标定结果如图6所示。



- 1、2 — 试验机上下十字块
- 3 — 引伸计
- 4 — 千分表
- 5 — 夹持引伸计刀叶

图 5

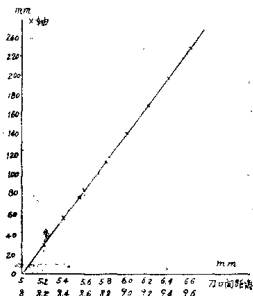


图 6 引伸计标定结果

4. 弯曲试验底座:

利用万能材料试验机原有的附件—弯曲试验底座, 其轴滚直径为30mm压头直径为6mm。

5. 弯曲试验程序

试验前测量试样的高度W和厚度B, W是靠近切口处测量, B是在疲劳裂纹顶端和试样光滑边之间测量。

在试样切口的两边用502胶水贴两个刀口片, 刀口片厚度为2mm刀口角为60°刀口间距为5~8mm。

安放试样时要注意对准中心, 随后稍加一点载荷, 使其安装引伸计时不会改变放好试样的位置。

打开裂纹张开位移记录仪电源开关S₁和引伸桥路直流电源开关S₂调整电位器R₅, 使电源电压保持5V。

调整R₅使电桥平衡, 记录处于另点或适当的位置。

加载荷速度要均匀, 不宜太快, 控制在大约1.5mm/分左右。

试样断裂后, 用工具显微镜测量疲劳裂纹长度a, 在试样厚度的1/4、1/2、3/4及两侧面等五个位置测量, 如图7所示。

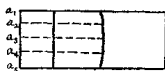


图 7 裂纹长度a的测量位置

取 $a = \frac{1}{3} (a_2 + a_3 + a_4)$ 作为计算K₀的裂纹长度a。

其中a₂、a₃、a₄任意两个差值应不大于平均疲劳裂纹长度的5%。a₁、a₅中任

何一个与平均疲劳裂纹长度之差应不大于平均疲劳裂纹长度的10%，否则为不合格的疲劳裂纹。

6. K_{Ic} 的计算

三点弯曲试样按下式计算断裂韧性的条件值 K_Q

$$K_Q = \frac{P_Q \cdot S}{BW^{3/2}} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right) \text{ 式中函数 } f\left(\frac{a}{W}\right) \text{ 查表3}$$

$\frac{a}{W}$ 值一定时 $f\left(\frac{a}{W}\right)$ 的幂级数值

表 3

$\frac{a}{W}$	$f\left(\frac{a}{W}\right)$	$\frac{a}{W}$	$f\left(\frac{a}{W}\right)$	$\frac{a}{W}$	$f\left(\frac{a}{W}\right)$
.450	2.28	.485	2.54	.520	2.84
.455	2.32	.490	2.58	.525	2.89
.460	2.35	.495	2.62	.530	2.94
.465	2.39	.500	2.66	.535	2.99
.470	2.42	.505	2.70	.540	3.04
.475	2.46	.510	2.75	.545	3.09
.480	2.50	.515	2.79	.550	3.15

P_Q 的确定是在载荷-位移曲线上，通过原点做割线，使其斜率比记录载荷-位移曲线初始部分斜率小5%，该割线与曲线交点定为 P_5 。如果在 P_5 前曲线上的每一点都低于 P_5 ，则取 $P_Q = P_5$ ；如果在 P_5 前曲线上有最大载荷 P_{max} ，则取 $P_Q = P_{max}$ ；如果曲线上有“突进平台”，则与其对应的载荷即为临界载荷 P_Q 。

五、试验结果：

4340钢，马氏体时效钢及TC4钛合金的测试数据和结果列于表4，从表4中可以看出 $P_{max}/P_Q < 1.10$ 。试样厚度 $B > 2.5 (K_Q/\sigma_{2.0})^2$

予制疲劳裂纹的结果也满足对疲劳裂纹前沿平直度的要求及 $P_{I\ max}/P_Q < 0.6$ ，因此表4中给出的都是平面应变断裂韧性值 K_{Ic} 。