

铝合金焊缝表面裂纹高温断裂韧性测试*

宋先村 唐国金 周建平 袁杰红

(国防科技大学航天技术系 长沙 410073)

摘要 介绍一种表面裂纹高温断裂韧性 K_{Ic} 的测试方法, 该技术对试样自动加温控温, 自动绘制力 p 与裂纹咀张开位移 $V(p-V)$ 曲线。测试精度高。

关键词 表面裂纹, 高温, 断裂韧性, 裂纹咀张开位移, 加热包, 位移传感器

分类号 V 250. 2

Analysis of the Test of Hot Fracture Toughness of Surface Cracks in the Welding Area of Aluminum Alloy

Song Xiancun Tang Guojin Zhou Jianpin Yuan Jiehong

(Department of Aerospace Technology, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract In this paper, a technique of testing the hot fracture toughness K_{Ic} of surface cracks is recommended. With the help of the technique, the test sample is heated, the temperature is controlled and the $(p-V)$ curve of the force p versus the open displacement V of a crack mouth is drawn automatically. The test accuracy is very high.

Key words surface crack, hot fracture toughness, open displacement of a crack mouth, heating wrap, displacement sensor.

传统的高温构件设计原则, 是建立在强度基础上, 即当高温构件的工作应力小于许用应力时, 则认为安全的。高温构件的许用应力是根据材料的持久强度和蠕变极限来确定的, 将影响高温构件断裂的各种因素反映在安全系数中。这种设计方法只能根据材料的高温性能近似地来估计构件的工作寿命, 它不能对具有缺陷的高温构件定量的计算。实际工程构件中的缺陷或裂纹是难免的。这种缺陷可能在原材料中存有的, 如裂纹, 夹杂物及微观结构缺陷等可能是在制造过程中产生的, 如焊接裂纹、夹渣和气孔等; 也可能是运行过程中形成的, 如高温疲劳, 热疲劳和腐蚀作用引起的裂纹。当缺陷扩展到临界裂纹尺寸的高温构件即将脆断。铝合金是航空航天应用很多的材料, 研究它的焊缝表面裂纹高温断裂韧性, 是很有必要的。

高温断裂韧性试验中裂纹咀张开位移测试, 是一大技术难题, 我们根据测试特点, 研制了一种新型的加热器和巧妙的栽钉法支承位移传感器, 使难题得到很好解决。

1 高温加热器

高温加热器采用直接传导加热方式, 这种加热包升温快, 加热均匀, 配上智能精密控温仪, 能得到很好的温度场, 其温度稳定, 温度场精度不大于1%。

自行设计的玻璃纤维加热包, 装夹简单, 便于位移测试, 控温精度高, 是铝合金材料高温力学特性测试理想的加热器。通常材料高温拉伸试验采用封闭式电炉加热, 主要通过辐射和炉膛空气把热传给试样或是用低电压大电流直接加热试样或是高频感应加热。对于韧性测试来说, 上述方法都有不足之处。若

* 1998年2月5日收稿

第一作者: 宋先村, 男, 1954年生, 高级工程师

采用电炉加热,使张开位移难于测试,使测试复杂化。另外,炉膛升温慢,工作效率低,电耗大。若采用大电流直接加热试样,要特殊的拉伸夹具,配套装置昂贵,还需保温措施。对于标距内截面非均匀的焊接试样,无法使加热均匀,不适合韧性测试加热。若采用高频感应加热,虽升温不慢,需专用装置,对于板状试样,宽厚比较大时,很难使试样温度均匀,也不便张开位移测试,上述国内外广泛采用的三种加热方法,均不适合断裂韧性测试(绘制力 p 与张开位移 $V(p-V)$ 曲线)。我们根据测试的需要,研制出一种直接传导式加热包。这种加热包,使用极为方便,造价低。

直接传导式加热包其结构是(见图1):在1dm见方的玻璃纤维布上均匀排绕两组铁铬铝丝,一组1、

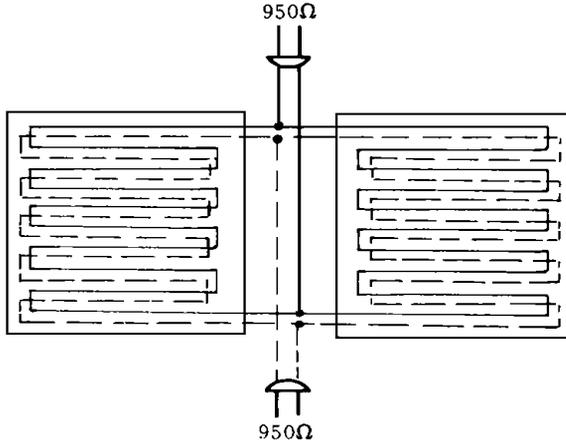


图1 直接传导式加热包结构示意图

2排中间放置另一组的1排,以此类推。可根据试样的大小选择加热包的覆盖面积,一般情况下,覆盖面不小于试样两倍标距长度和宽度,制作加热包时,靠试样面的玻璃纤维布层数少一点,靠外的那面布层要多一点,多的作用是保温,减少热散失。绕制两组电阻丝的目的是保证加热均匀,即采用两台温度控制器,每台控制一组加热包电阻丝温度。这种方式,可达到很好的控温效果。它适合于铝合金材料及低熔点合金材料的力学特性测试。加热包的装夹及其测试见图2。

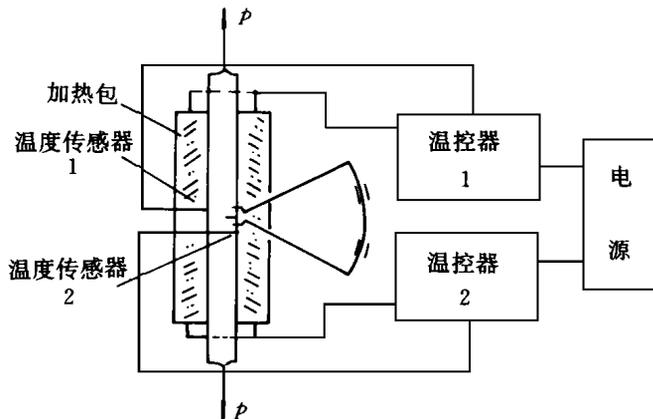


图2 加热包的装夹及其测试示意图

2 温度控制器

性能测试时,采用TCW智能精密控温仪,该仪器是集计算机技术与工业自动化控制技术于一体的新一代产品,本仪器参数设置和显示均采用数字方式,清晰直观。同时,彻底地消除了设置误差。因此具有控制精度高,功能齐全,体积小,重量轻,可靠性好,抗干扰力强及操作简便等特点。

3 测试结果及处理

高温测试采用直接传导式加热包加热试样,并用两台温度控制器和两只温度传感器,两只温度传感器分别放置在裂纹处的前后表面。一般升温时间在5—10min.内,待温度稳定在欲测温度后15min.再绘制 $p-V$ 曲线。

高温 K_{Ic} 测试与常温 K_{Ic} 测试一样,首先预制好表面裂纹的疲劳裂纹。然后做拉断试验,把裂纹咀的张开位移用位移传感器转换成电信号,加以放大,送记录仪进行记录,即在高温环境下绘制力 p 与张开位移 $V(p-V)$ 曲线。根据记录的 $p-V$ 曲线,确定“条件载荷” p_Q ,计算出 K_Q ,最后得到韧性质 K_{Ic} 。LD10cs 铝合金焊缝表面裂纹高温断裂韧性的 $p-V$ 曲线属“第Ⅰ类曲线”,即断裂前有明显的亚临界扩展。确定 p_Q 取割线斜率较曲线的初始斜率低15%之交点。由公式

$$K_Q = M_e M_p \frac{\sigma_N \pi a}{\Phi}$$

计算 K_{Ic} 。式中 $M_e = 1.1$, $M_p = \frac{\Phi}{Q}$, $\Phi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - \frac{c^2 - a^2}{c^2} \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}} d\theta$, Q 查有关表可得到, c 为椭圆长半轴, a

为椭圆短半轴。 $\sigma_N = \frac{p_Q}{BW - \frac{\pi a c}{2}}$, B 为试样厚度, W 为试样宽度。

当 K_Q 满足有效性校准时, $K_a = K_{Ic}$ 。

测试断裂韧性,环境温度选择70, 110和150。根据计算,不同温度的LD10cs 铝合金焊缝表面裂纹高温断裂韧性 K_{Ic} 如附表。

附表 LD10cs 铝合金焊缝表面裂纹高温断裂韧性

数值 测温 () 编号	项目	宽	厚	裂纹	裂纹	断裂	条件	韧性
		W (mm)	B (mm)	深 a (mm)	长 $2c$ (mm)	载 p_m (N)	载 p_Q (N)	K_{Ic} MPa·m ^{1/2}
70	1	39.80	5.715	2.672	10.455	36223	30790	13.1
	2	39.80	5.735	2.842	12.125	33401	28442	12.9
	3	39.90	5.555	2.765	10.625	35160	29886	13.4
	4	40.00	6.025	2.795	10.855	36073	30662	12.6
	5	39.90	5.540	2.705	11.585	31911	27124	12.0
	6	39.90	5.400	2.665	11.330	36423	30960	14.2
	7	39.90	5.860	2.645	12.605	35261	29972	13.1
	平均							
偏差(%)								+ 9.2 - 7.7
110	1	39.90	5.900	2.768	8.535	38760	32946	12.6
	2	39.80	5.445	2.725	8.995	35910	30542	13.0
	3	40.00	5.485	2.715	8.975	34761	29547	12.4
	4	39.90	5.535	2.755	9.425	35110	29843	12.6
	5	39.90	5.620	2.795	9.385	35223	29940	12.5
	平均							
偏差(%)								+ 4.0 - 0.8

续附表

150	1	39.92	5.220	2.600	10.648	31823	27050	12.5
	2	39.90	6.155	2.740	9.825	39523	33595	12.9
	3	40.00	5.615	2.565	9.525	35361	30057	12.1
	4	39.90	5.615	2.805	12.725	30772	26156	11.4
	5	39.90	6.015	2.880	10.085	35511	30184	11.8
	6	39.92	5.395	2.415	8.890	34611	29419	11.8
	7	40.00	5.740	2.545	9.330	37373	31767	12.5
	平均							
偏差(%)								+ 7.5 - 5.0

4 小结

自行设计制作的直接传导式加热包加热试样,升温快,加热均匀,投资少,电耗省,使高温下难测的裂纹咀张开位移变得象常温一样测试。装夹极为方便,测试精度高。

LD10_{CS} 铝合金焊缝表面裂纹高温70、110和150℃断裂韧性 K_{Ic} 分别是 $13\text{MPa}\cdot\text{m}^{\frac{1}{2}}$ 、 $12.5\text{MPa}\cdot\text{m}^{\frac{1}{2}}$ 和 $12\text{MPa}\cdot\text{m}^{\frac{1}{2}}$ 。在70℃测试温度下,韧性值与室温相同(或大致相同),随着温度的增高,韧性值趋于下降,在测试温度70—150℃范围,焊缝试样的韧性 K_{Ic} 随温度增高而降低,是一种特别的现象,可能是焊接铝合金在高温下组织松软,使韧性变差,有待从机理方面进一步探讨。

参考文献

- 1 杨卫. 宏观断裂力学. 北京: 国防工业出版社, 1995
- 2 邓增杰等. 工程材料的断裂与疲劳. 北京: 机械出版社, 1995
- 3 [美] 小林著. 断裂力学试验技术. 李鸿发等译, 北京: 中国铁道出版社, 1987