

16Mn钢板焊接缺陷的声发射检测

劳动人事部锅炉压力容器检测研究中心

刘时风 周金华 秦平彦

本实验目的是评价声发射技术检测16Mn钢焊接缺陷的能力。通过带各种缺陷试样拉伸试验声发射监测的试验结果表明: 声发射技术能在材料屈服前检测出16Mn钢中大尺寸和尖锐形状的焊接缺陷。声发射技术对于检测严重焊接缺陷是有效的。

DEFECT DETECTION IN WELD OF 16Mn STEEL BY ACOUSTIC EMISSION

Liu Shifeng Zhou Jinhua Qin Pingyan

(Center of Boiler and Pressure Vessel Supervision and Research
Ministry of Labour and Personnel, P. R. China)

Acoustic Emission (AE) technique has been used as a nondestructive testing method for metal and composite structures recently. AE activity is related to the characters of materials such as strength, micro-structure, etc. To inspect the integrity of a metal structure it is important to know the AE characters of the material concerned. The aim of this study is to evaluate the applicability of AE technique to defect detection of weld in 16Mn steel. The specimens which have various weld defects were monitored by AE during tensile testing. It is shown that in 16Mn steel large and sharp weld defects could be detected by AE testing before yielding. AE testing is a viable technique for inspection of severe weld defects in 16Mn steel.

前 言

大量金属压力容器的事故是由于焊接缺陷造成的。无损检测的重要目的就是要检测危险的焊接缺陷。本实验的目的希望用声发射技术对焊接缺陷检测的能力进行评价。并获得一些有关声发射参数和焊接缺陷对应关系的数据资料。

试样与仪器

试样取自3块16Mn手工电弧焊钢板, 2块10毫米厚, 1块12毫米厚。化学成份和机械性能见表1和表2。试验前对焊接试样进行了X射线拍片。由拍片结果(按GB3323-82标准评级)将试样的缺陷(图1)分类为:

- a) 无缺陷(3个试样);
- b) 小气孔或小夹渣(Ⅰ级或Ⅱ级, 5个试样);
- c) 中等尺寸气孔或夹渣(Ⅰ级或Ⅱ级, 6个试

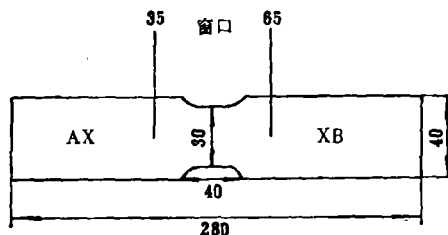


图1 试样尺寸和声发射探头(X)配置位置

样);

d) 大夹渣(Ⅲ级, 5个试样);

e) 焊缝缺口(锯条开口, 焊缝全长, 约2mm深, 1个试样)。

试验在日本岛津25吨万能试验机上进行。厚度为10毫米板试样带b), c)类缺陷, 加载模式为循环拉伸(图2)。厚度为12毫米板试样有大夹渣d)类缺陷, 加载模式为单向拉伸。

试验用Dunegan/Endevco 3000型双声道声发射仪接收和处理声发射信号。探头为S140型, 总增益75dB, 门限电平1伏。声发射记录参数为事件一定

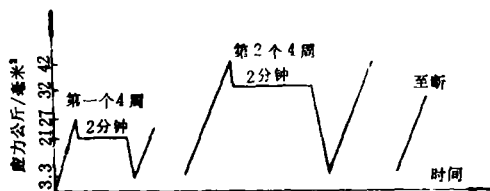


图2 循环加载程序

位，‘窗口’幅度统计分布，‘窗口’计数率，能量/事件和事件数。本实验是对试样标距区（对应仪器定位区域35~65mm）进行声发射监测。这种方法可以有效排除定位区域以外的信号，例如试验机夹头处产生的噪声信号。

拉伸试验后对断裂在热影响区的试样进行了X射线拍片对比，以观察焊接缺陷是否有变化；对断裂在焊缝区试样用低倍显微镜观察断口。

声发射事件，d类试样有多于30个窗口事件。这些结果说明在本实验条件下声发射技术在屈服前不能检测到小缺陷，较难检测到c类缺陷，有可能检测到d类和特殊试样中的缺陷。

X射线拍片和显微镜观察表明尖锐形状缺陷试样产生较多声发射窗口事件。由此推测有可能声发射活

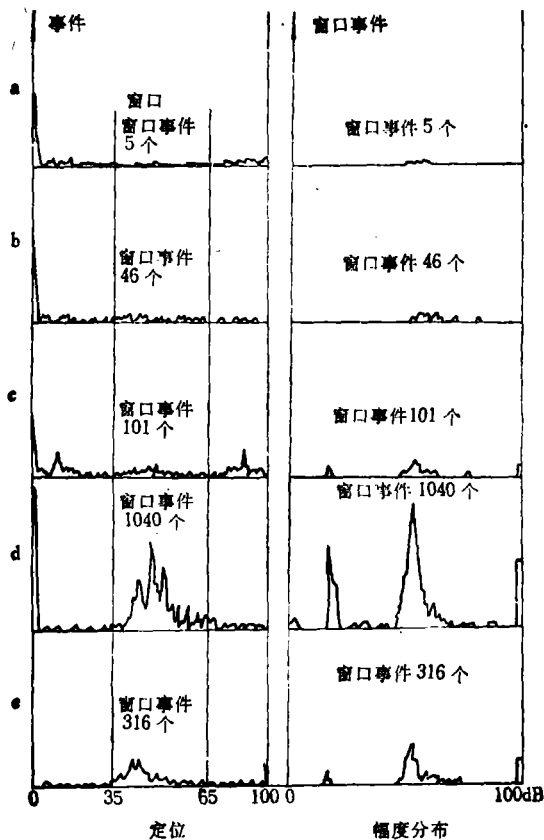


图3 典型试样AE记录

表1 标称化学成份(%)

C	Mn	Si	S	P
0.12~0.20	1.20~1.60	0.20~0.60	0.050	0.050

表2 标称机械性能

A5 (%)	Y. S. (kgf/mm ²)	T. S. (kgf/mm ²)
21	35	52

表3 声发射记录结果统计

缺陷类别	前4周加载窗口事件	两个4周加载窗口事件	总窗口事件
a	0	0~2	5~7
b	0	0~2	10~54
c	0~3	2~7	28~103
d			316~1040
特殊试样	6	17	316

动性与缺陷应力集中程度有关。本试验中，特殊试样的缺陷形状尖锐，有比其他c类试样多得多的声发射事件。因此，声发射技术很有可能适用于检测那些引起严重应力集中往往也是最危险的焊接缺陷，例如裂纹。

在热影响区断裂的试样X射线再拍片观察未发现缺陷有变化。这一结果说明虽然声发射检测结果证明拉伸试验全过程中缺陷或多或少有了活动发展，但X射线拍片难以发现这些有微小发展的缺陷。

7个焊缝区断裂的缺陷都有较严重的缺陷（5个d类试样，1个特殊试样，1个c类试样）并有较多窗口事件。显微镜观察表明这些试样断裂都起源于缺陷。这些现象说明较多。

结果与讨论

除了1个c类缺陷试样外，所有试样都在正常应力下断裂。这个c类试样在34kg/mm²时，低应力断裂下记为特殊试样。有7个试样断裂在焊缝区，其余试样都在热影响区断裂。图3为典型的定位和窗口事件幅度统计分布记录图。表3是声发射数据整理结果。

拉伸试验中无缺陷试样(a类)和小缺陷试样(b类)未接近断裂前没有检测到声发射。这是由于16Mn钢强度低，屈服形变时的声发射幅值也低，而本试验的

(下转第63页)

2. 声发射试验结果

图3是FeCrSiB合金涂层激光熔复(a)和火焰喷涂(b)试样的声发射试验曲线。图4是NiCrSiB合金激光熔复(a)和火焰喷涂(b)的试样声发射曲线。图中同时给出了三点弯曲试验时载荷 P 与形变 Δl 的应力—应变曲线。为便于比较,图中又同时给出了基体 A_3 钢板三点弯曲试验曲线,以点虚线示之。

由图3、图4可见,经火焰处理的试样,在很低的应变条件下即已产生突发型的声发射信号,表明涂层产生微裂纹较早,并在应力作用下缓慢扩展,载荷—位移曲线线性上升,属于弹性形变阶段。到达屈服点附近,出现大幅度高频率的连续型信号。之后随着位移增大,载荷突然下降,这是由于在屈服区间微裂纹急剧增多增大,形成部分脆断而造成应力松弛。

激光熔复试样,在低应变下没有声发射信号,当载荷 P 增大到一定值时,出现了较强的突发型声发射信号,熔层开始出现微裂纹。声发射幅度有所降低,表明在弹性形变范围内微裂纹不是急剧扩展的。当达到屈服点时,声发射信号幅度急剧增高,出现了高频率连续型信号,然后进入弹塑性变形阶段, $P-\Delta l$ 曲线仍呈线性上升,但斜率有所下降,声发射幅度亦有所下降;在宏观断裂前夕,声发射计数率又急剧增大。

以 P_E 表示弹性极限载荷,以 P_{AE} 表示首次声发射信号载荷, P_F 为断裂载荷, b 为试样宽度, h 为试样高度,则脆断强度 $\sigma_K = 1.5 P_{AE} \cdot L / bh^2$,吸收能量 $A_K = \frac{1}{2} P_{AE} \cdot \Delta l_{AE} / bh$,用弯曲挠度(位移 Δl)评价试件的塑性。将各项指标的测试结果列于表1;为便于比较,表1中同时列出了 A_3 钢渗硼共晶两种工艺的声发射结果,其数据取自文献[2]。

结 论

1. 激光熔复处理的 P_{AE} 、 Δl_{AE} 、 σ_K 及 A_K 等指标

(上接第65页)

仪器总增益取值较低,因此连续低幅值屈服形变的声发射信号不能接收到。整个断裂过程中无缺陷试样有5—7个窗口事件,小缺陷试样有10—15个窗口事件。在试样屈服前,c类试样约7个声发射事件,特殊试样有17个窗口声发射事件确实是由于缺陷活动发展时产生的。

结 论

拉伸试验过程中各种16Mn钢焊接缺陷或多或少地会产生可检测的声发射。声发射活动性与缺陷的尺寸、形状有关,大尺寸和尖锐形状的缺陷能产生较多

表1 声发射试验结果

试样	P_{AE} (kg)	Δl_{AE} (mm)	P_E (kg)	Δl_E (mm)	P_F (kg)	Δl_F (mm)	$\sigma_K, \text{kg/mm}^2$	$A_K, \text{kg} \cdot \text{mm}^2/\text{mm}^2$
FeCrSiB 激光熔复	320	0.37	525	0.56	625	1.16	28.5	0.74
FeCrSiB 火焰喷涂	50	0.05	375	0.42	345	0.68	4.5	0.02
NiCrSiB 激光熔复	350	0.36	560	0.55	600	1.07	31.17	0.79
NiCrSiB 火焰喷涂	40	0.04	322	0.39	325	0.914	3.56	0.01
A_3 渗硼 共晶后 正火	220	0.194					20.7	0.223
A_3 渗硼 共晶淬 火200℃ 回火	150	0.134					14.06	0.101

比火焰处理的相应指标均有成倍增长,表明激光熔复处理显著改善了火焰涂层的韧性,降低了脆性。

2. 激光熔复处理使基体 A_3 钢的强度指标 P_E 、 P_F 提高一倍,而火焰处理只有很小的增加,表明激光熔复处理不仅能提高材料韧性,而且能提高材料的强度。

3. A_3 钢激光熔复与 A_3 钢两种渗硼共晶工艺比较,其 P_{AE} 、 Δl_{AE} 值均优于后者, σ_K 、 A_K 值也成倍增加,表明激光熔复工艺是提高材料强韧性的有效技术。

4. 上述结果表明,用声发射结合三点弯曲试验是评价激光熔复层的强度、脆性的有效方法。

参 考 文 献

- [1] D. S. Gnanamuthu: Applications of lasers in materials Processing, American Society for Metals, Ohio, 1979, 177-212.
- [2] 马鹤庆、孙希泰,理化检验(物理分册),1984,20,1,1~8.

的声发射。声发射技术很有可能适用于检测16Mn焊件中尺寸和应力集中严重的焊接缺陷。

致谢:本实验得到本单位于子威、沈学萌、常树芝和石岩同志大力协助。

参 考 文 献

- [1] Dal Re Vrncezo, Birolo Bruno and Cipri Franco, «DEFECT DETECTION IN STAINLESS STEEL 'URANUS45' TIG WELDED JOINTS BY ACOUSTIC EMISSION», Proceedings of The 11th World Conference on Nondestructive Testing, PP. 85-90.