

金属基复合材料压坑损伤的无损评价

劳动部锅炉压力容器检测研究中心 刘时风 沈功田 段庆儒 李邦宪
清华大学 张家骏

摘要 评价了无损检测技术检测碳化硅粒子强化铝铜金属基复合材料压坑损伤能力。试验的无损检测方法有声发射、超声-声发射、C扫描超声和X射线。

关键词 超声波 X射线 声发射 复合材料 评价

NONDESTRUCTIVE EVALUATION OF INDENTATION DAMAGE FOR MMC COMPOSITES

Liu Shifeng Shen Gongtian Duan Qingru Li Bangxian
(Centre of Boiler and Pressure Vessel Inspection and Research)

Zhang Jiajun
(Qinghua University)

Abstract The ability of nondestructive testing (NDT) techniques to detect indentation damages of a particulate silicon carbide reinforced aluminium copper alloy has been assessed. The NDT techniques evaluated are acoustic emission (AE), acousto ultrasonic (AU), C scan ultrasonic (CSUT) and radiography (RT).

金属基复合材料的工程应用和科学研究正在迅速增长,文献[1~3]给出了更多这方面的情况。随着加工技术的发展和制造成本的降低,金属基复合材料的应用将越来越广泛[2]。

不同的基体材料、增强成分和制造工艺可生产出各种金属基复合材料。大多数金属基复合材料都有优良的综合机械性能,钢性与强度增强、耐磨、良好的热学性能、低密度和轻量化等。目前大多数研究发展应用的是轻合金金属基,主要是铝和钛系列的金属基复合材料。本文采用的试验材料是粉末冶金法生产的碳化硅粒子增强的铝铜金属基复合材料。

任何结构,包括金属基复合材料结构,在生产、安装和使用中都不可避免地会产生缺陷。无损检测的目的就是定量地检测缺陷以便确定该结构是否能有效地使用。本文对几种无损检测技术检测金属基复合材料压坑损伤的能力进行了评价。试验考察的无损检测技术是声发射、超声-声发射、C扫描超声和射线。

1 试验和结果

1.1 材料和试样

试验材料为碳化硅粒子增强的铝铜合金金属基复合材料 SiCp/ALMMC。碳化硅粒子的体积比是18%,直径为3 μ m。铝铜合金基体的化学成分为铜3.8%~4.9%、镁1.2%~1.8%、锰0.3%~0.9%、锌0.25%、

硅0.2%、铬0.1%、铁0.3%、其他0.2%和铝^[4]。试验材料试样尺寸为70mm×20mm×10mm。

1.2 压坑试验

图1为压坑试验装置示意图。最大压载为43kN,压头为直径6mm钢球。压坑为塑性形变,有些已产生裂纹,个别压坑产生大裂纹。表1为压坑试验结果。

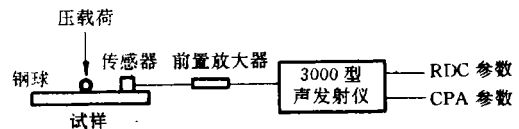


图1 声发射监测压坑试验装置

1.3 声发射试验

声发射检测技术已成功应用于复合材料的工程应用和研究^[5]。

本试验用压坑试验过程中进行声发射监测来确定压坑的损伤程度和过程(图1)。声发射仪器为Dunegan/Endevco 3000型,传感器为PAC Micro 80,频率范围为200kHz~1MHz。采集分析参数为累加计数,灵敏度设置较高的40dB增益和较低的门限电压设置,约0.8V。累加计数设置为增益75dB,门限电压1V。图2为典型压坑试验中声发射监测数据。由于CPA参数灵敏度设置高于RDC参数,大多数声发射数据CPA参数起始载荷低于RDC参数起始载荷。这表明CPA参

表 1 压坑试验与 C 扫描试验结果

S. I	ID (mm)	IV (mm ³)	AIV (mm ³)	A	crack (mm ²)
1.1	6	56.55	156.3	44	100
1.3	5	14.4		44	大裂纹
1.4	6	56.55		44	
1.5	5	14.4		36	
2.1	4.5	8.67	38.91	44	50 大裂纹
2.2	3	1.44		44	
2.4	5	14.4		44	
3.1	5	14.4	40.2	44	3
3.2	3	1.44		28	
3.4	4	4.98		36	
4	0	0	0	20	0
5.1	4.5	8.67	38.26	28	3
5.2	2	0.26		28	
5.4	2	0.26		28	
5.6	5	14.4		44	

S. I——试样号、压坑号 ID——压坑直径 IV——压坑体积 AIV——累计压坑体积 A——C 扫描衰减指数 crack——累加裂纹面积

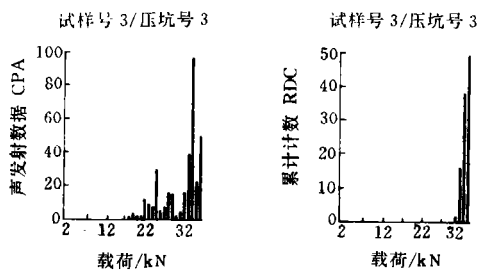


图 2 压坑试验中典型声发射数据

数能记录到一定程度塑性变形的起始载荷,而 RDC 参数的起始载荷则有可能代表一定程度的开裂现象的开始。

1.4 超声-声发射

超声-声发射(AU),也称作应力波因子(SWF)技术,可测试固体材料中多种性能和缺陷^[7,8]。图 3 为超声-声发射试验装置,传感器型号为 PAC Micro 80。

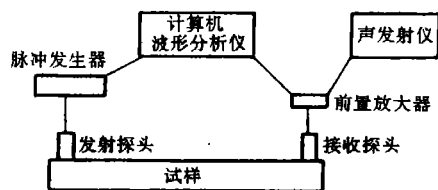


图 3 超声-声发射装置

用波形和频谱分析参数进行信号分析。大多数分析结果重合性不好,只有从频谱分析参数 A 显示出较好的重现性(图 4、5)。图 5 表明,参数 A 反比于压坑体积,并对裂纹敏感,即压坑损伤大,参数 A 值小。一些分析方法重合性差的原因可能是传感器耦合的不确定性^[10]。

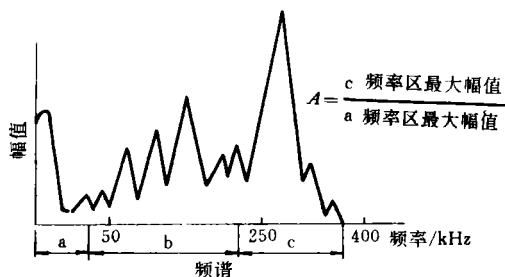


图 4 频率分析参数 A 定义

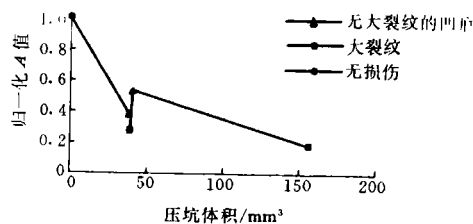


图 5 超声-声发射频谱参数

1.5 C 扫描超声检测

C 扫描广泛用于复合材料无损检测。C 扫描中各种颜色的衰减指数代表超声波的衰减程度。C 扫描装置为英国 USL 公司的 SAM 型号仪器,探头频率为 2.5 MHz。表 1 给出每个压坑的衰减指数。衰减指数 20 为无压坑试样,衰减指数 44 为严重压坑损伤。分析表 1 数据,衰减指数基本上随压坑体积增大而增大。分析 C 扫描彩色显示图能检测出两个大裂纹压坑、某些压坑中的小裂纹损伤以及压坑的粗略形状。

1.6 射线

分析射线底片,能清楚分出大裂纹和每个压坑的形状,但不能看到小裂纹和其它压坑损伤。射线结果证明,不适合检测取向不好的面状缺陷,如某些裂纹。

2 结论

对四种无损检测方法进行了检测能力试验。试样为金属基复合材料的压坑损伤,方法为声发射、超声-声发射、C 扫描超声和射线。考察结果表明,任何一种被考察的无损检测方法都能对至少一种压坑损伤进行

(下转第 199 页)

的底面回波比较来判别。

$$\frac{I}{B_{\text{空气}}} = \frac{45.3\%}{100\%} = 45.3\%$$

以分贝表示 $\Delta dB = 20 \lg \frac{I}{B} = 6.9 \text{ dB}$

以上计算均不计衰减,且忽略原子扩散层的影响。

3 仪器及探伤灵敏度的操作调试

采用 CTS-22 超声波探伤仪,2.5P14-D 纵波直探头,机油为耦合剂。

3.1 1# 复合材

将探头置于结合完好的试块上,找出界面波与底波,并观察其比值和理论值的差异。确定两波高位置后,便可在实物上通过观察两波的高低变化来判定结合质量。

3.2 2# 复合材

探头如图 3 放置,找出 A、B、C 的最大波高。将其调至 80% 波高,再行释放 8dB,以此灵敏度探伤,观察界面波的高低来判别结合质量。

4 探伤波形与分析

4.1 复合材

(上接第 192 页)

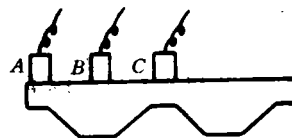
表 2 压坑损伤无损检测方法能力评价

方法	开裂	大裂纹	小裂纹	压坑
声发射	好	中	中	差
超声-声发射	差	中	差	中
C 扫描	差	中	差	中
射线	差	中	差	好

有效检测,但都不能同时检测出所有压坑损伤。表 2 列出了评价结果。根据评价结果,应选用适当的无损检测方法检测某种特定损伤。例如,声发射测开裂,超声-声发射测大裂纹等。

3 参考文献

- 1 Everety RK, Arsenault RJ, ed. Metal Matrix Composites: Mechanism and Properties. Academic Press, 1991
- 2 Minoru Taya, Richard J Arsenault, ed. Metal Matrix Composites: Thermomechanical Behaviour, Pergamon Press, 1989
- 3 Fishmen SG, Dhingra AK, ed. Cast Reinforced Metal Composites. ASM International, 1988
- 4 Katharine Ann Fenoughty. Laser Cutting of Metal Matrix Composites. MSc Dissertation, Center for Composite Ma-



4.1.1 结合良好

界面波与底波的比值较理论值大,在 60%~65% 之间,可能由衰减引起。

4.1.2 部分未结合

波形变化明显,界面波升高,而底波降低。

4.1.3 全部未结合

只有界面波。

4.2 实际探伤分析

在实际探伤中,在标高 80% 处释放 8dB 的基础上再行释放 2dB。界面波仍未超出 80% 标高(结合良好),但有了裂纹或未复合,则变化显著。对于部分未复合的判定,在释放 10dB 的基础上,如超出 80% 波高,将其衰减 4dB 左右;如又降回 80% 波高,便认为局部未复合。经解剖验证与结果吻合(图 4)。(下转第 210 页)

terials, Imperial College, 1991

- 5 Rawlings RD, Kuhn AT, ed. Acoustic emission method. Techniques in Electrochemistry, Corrosion and Metal Finishing, 351—407
- 6 Hunt Jr WH, Richmond O, Young RD, Matthews FL, ed. Fracture initiation in particle hardened materials with high volume fraction. Proceedings of 6th International Conference on Composite Materials (Vol. 2), 2: 209—2: 223
- 7 Vary A, Bowles KJ. Ultrasonic evaluation of the strength of unidirectional graphite/polyimide composites. Proceedings of the 11th Symposium on Nondestructive Evaluation, ASNT and Southwest Research Institute, San Antonio, TX, 1977; 242—258
- 8 Kautz HE, Lerch BA. Preliminary investigation of acousto-ultrasonic evaluation of metal-matrix composite specimens. Materials Evaluation, 1991; 607—612
- 9 Edmund G, Hennek I and Robert A Blake Jr. Summerscales J, ed. Nondestructive Testing of Fibre-Reinforced Plastics Composites (Vol. 2), 55—220
- 10 Russel-Floyd R, Phillips MG. A critical assessment of acousto-ultrasonics as a method of nondestructive examination for carbon-fibre-reinforced thermoplastic laminates. NDT International, 1988; 21(4): 247—257

收稿日期:1994 年 11 月