



图 1 线状爆炸焊接试验实物图
Fig.1 Seam explosion welding test

2 试验结果及分析

爆炸焊接后实物图,如图 2 所示,可以看到覆板牢固地结合在基板上,覆板多于基板的部分在炸药的作用下沿基板边缘切割下来,有利于复合板材边缘的结合^[3]。覆板表面的起爆点处由于雷管引爆影响^[1],没有看到明显的表面波形出现,在沿爆轰波传播方向的其它区域,可以清楚看到有规律的表面波。另外由于没有对覆板表面进行保护,局部区域也出现了表面烧损的现象。

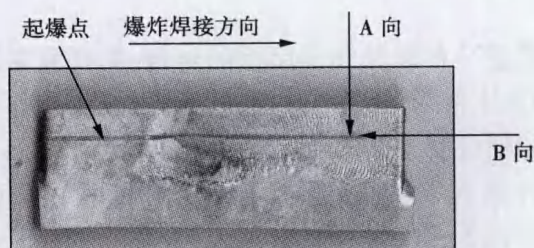


图 2 爆炸焊接后的实物图
Fig.2 Effect of explosive welding

从爆炸焊接实物切割下两块试样(其中的一块是沿沟槽中间切割的),见图 3 和图 4。将试样做一

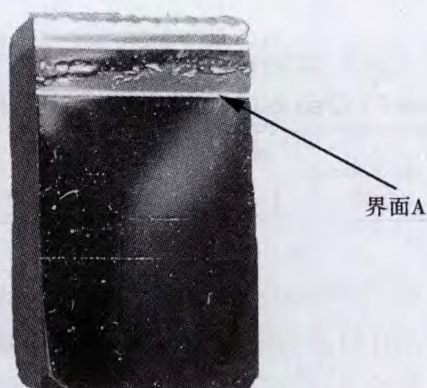


图 3 A 向试样爆炸焊接截面图
Fig.3 Section of explosive welding of A direction



图 4 B 向试样爆炸焊接截面图
Fig.4 Section of explosive welding of B direction

定的处理后,分别进行金相观察和电镜扫描分析。

图 5 至图 8 分别是界面 A 和界面 B 的金相形貌,其中界面 A 和界面 B-3 是同一个平面。由图 5 和图 8 可以看到,此界面结合良好,界面波纹起伏不大,在扫描电镜下可以看到有明显的过渡层(图 9 和图 10)。对过渡层中 C 处进行点扫描可知(图 11),该过渡层中主要成分是铁和铝,其中铝的含量较高。由 Fe-Al 二元相图可知,此处应以铁和铝形成的金属间化合物为主,包括 Fe_2Al_5 , $FeAl_3$, Fe_3Al , $FeAl_2$, Fe_2Al_7 等^[4],这些结构是它们在高温下彼此扩散形成的。

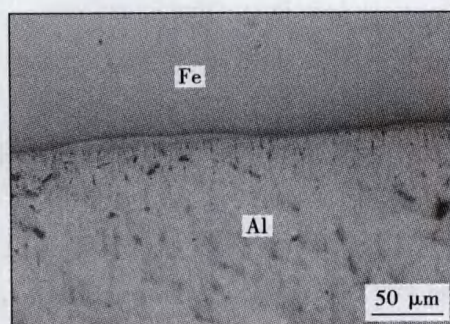


图 5 界面 A 的金相形貌
Fig.5 Micrograph of interface A

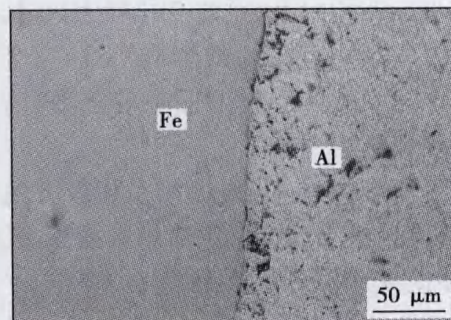


图 6 界面 B-1 的金相形貌
Fig.6 Micrograph of interface B-1

而对于界面 B-1,界面结合也基本良好,界面

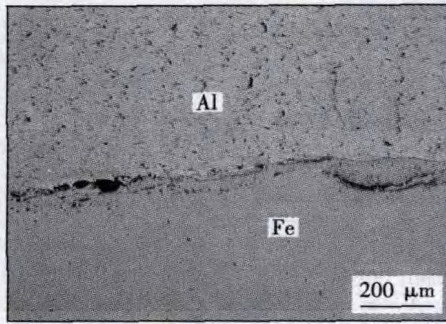


图 7 界面 B-2 的金相形貌
Fig.7 Micrograph of interface B-2

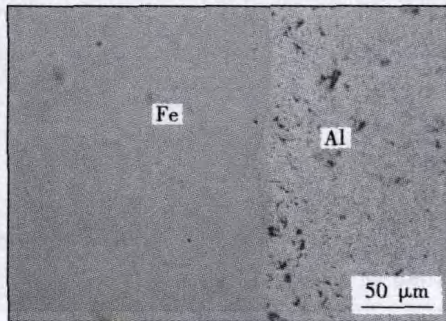


图 8 界面 B-3 的金相形貌
Fig.8 Micrograph of interface B-3

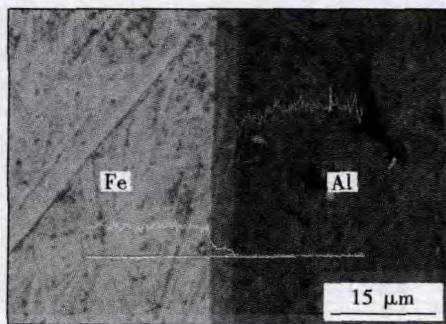


图 9 界面 A 处的电镜形貌及线扫描
Fig.9 SEM photograph and line scanning of interface A

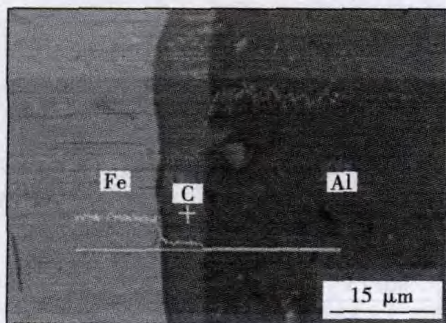


图 10 界面 B-3 处的电镜形貌及线扫描图
Fig.10 SEM photograph and line scanning of interface B-3

面 B-1 处由于是覆板直接放置到基板上,间隙狭小,在爆炸焊接时没有足够的距离加速,导致覆板在很高的压力下直接压接到基板上,强度相对而言不会太高。而界面 B-3 处由于沟槽的作用,满足爆炸焊接的基本条件。爆炸焊接后在界面处有过渡层,连接情况比较满意,连接强度相对较高。界面 B-2 处(图 7),界面同样呈直线状,没有明显的过渡层(图 13),但发现了部分熔化块。说明了在爆炸焊接

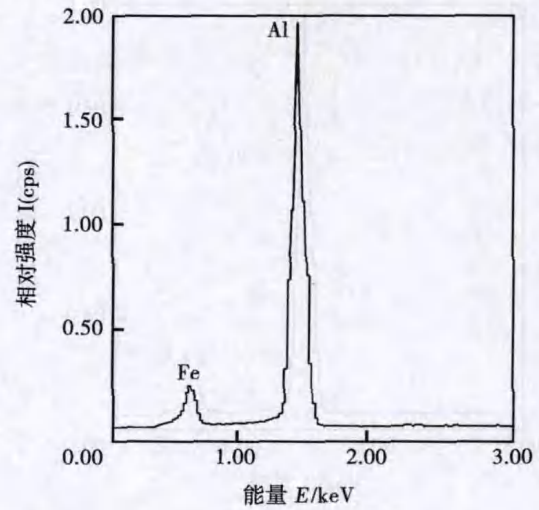


图 11 X 射线衍射分析(界面 B-3 过渡层点 C 处)
Fig.11 X-ray diffraction pattern (point C of interface B-3)

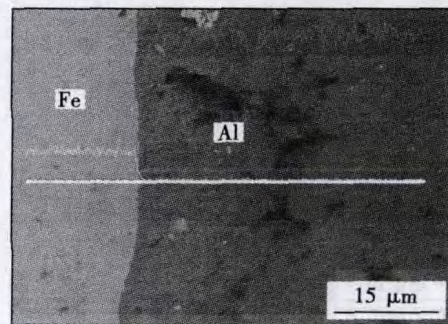


图 12 界面 B-1 处的电镜形貌及线扫描
Fig.12 SEM photograph and line scanning of interface B-1

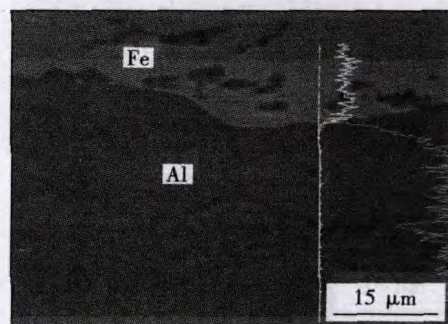


图 13 界面 B-2 处的电镜形貌及线扫描
Fig.13 SEM photograph and line scanning of interface B-2

呈直线状,但无过渡层出现(图 12)。分析认为,界

的瞬间,界面处的温度已经相当高,而且存在一定程度的塑性变形,此塑性变形、熔化和扩散就是金属材料爆炸焊接的原因和机理^[1]。

3 结 论

(1) 通过金相显微镜和扫描电镜对线状爆炸焊金属结合界面进行观察分析,发现界面处有过渡层(塑性变形层)及熔化层出现,界面间金属元素相互扩散明显,焊接质量较好。

(2) 线状爆炸焊可作为特殊的焊接维修方法在某些领域加以应用,如水下、太空以及带有核辐射的场合中,具有广泛的发展前景。

参考文献:

- [1] 郑远谋. 爆炸焊接和爆炸复合材料的原理及应用[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2007.
- [2] 李标峰. 船用铝合金焊接及其建造工艺[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [3] 王 飞, 刘广初, 王运来. 爆炸焊接边界效应作用机理研究[J]. 工程爆破, 2005, 11(2): 6-9.
- [4] 王建民, 朱 锡, 刘润泉. 铝/钢爆炸复合界面的显微分析[J]. 材料工程, 2006(11): 36-40.

作者简介: 陈晓强,男,1976 出生,硕士,讲师。主要从事水下焊接与切割及爆炸焊的教学研究工作。已发表论文 10 余篇。

Email: cxq18@tom.com