

测试方法对 Al/Q235A 爆炸复合板 界面结合强度试验结果的影响

张先锋

(中国船舶重工集团公司第七二五研究所, 河南 洛阳 471023)

摘 要:对纯铝-碳钢爆炸复合板进行拉脱试验和粘结试验, 研究两种测试手段对复合板界面结合强度试验结果的影响。结果表明, 随着界面至纯铝侧过渡弧之间距离(X 段)的减小, 拉脱试验测试结果呈现急剧增大的趋势, 断裂的位置也由纯铝复层变为结合界面; 而粘结试验测试结果与 $X=0.5$ mm 的拉脱试样无显著差异, 但测试结果的离散性要明显小于拉脱试验的。

关键词: 纯铝-碳钢爆炸复合板; 界面结合强度; 拉脱试验; 粘结试验

中图分类号: TG142.1 文献标识码: A

DOI:10.19515/j.cnki.1003-1545.2018.06.008

Influence of Test Methods on Interface Combining Strength Test Results of Al/Q235A Explosive Clad Plate

ZHANG Xianfeng

(Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471023, China)

Abstract: Pull test and combine test on the pure aluminum-carbon steel explosive clad plate were conducted, and the influence of two test methods on the bonding strength of explosive clad plate was studied. The results showed that the test values of the pull test gradually increased with the decrease of the distance (X section) between the interface and the transitional arc of the pure aluminum side, and that the fracture location also transferred from the pure aluminum cladding to the combining interface; that there was no significant difference between the test values of the combine test and the pull test with $X=0.5$ mm, but the discreteness of the combine test results was significantly lower than that of the pull test results.

Keywords: pure aluminum-carbon steel explosive clad plate; interface combining strength; pull test; combine test

金属复合板通常可以通过爆炸复合、爆炸轧制复合、轧制复合等手段进行生产, 主要应用在防腐、压力容器制造、电建、石化、医药、轻工、汽车等行业^[1-6]。在复合板的生产与研发过程中, 不可避免的要对两种材料之间的界面结合强度进行检测。目前, 常用的用以测量界面结合强度的试验方法有拉脱与粘结两种, 前者依据 CB 1343、GB/T 228.1^[8]进行试验, 后者依据 GB/T 6396^[9]进行试验。笔者在测试纯铝-碳钢复合板的界

面结合强度时发现, 这两种测试手段所获得的试验结果之间存在较大的差异, 本研究将通过大量的比对试验, 对两者之间的差异及产生原因进行分析讨论。

1 试验

本研究所用材料为纯铝-碳钢爆炸复合板, 其中, 复合层为纯铝, 牌号为 1070, 纯度大于 99.6%, 厚度为 12 mm, 其拉伸强度均值为 84.3 MPa, 见表 1; 基层材料为 Q235A, 厚度为

收稿日期: 2018-05-03

作者简介: 张先锋, 1988 年生, 男, 硕士, 工程师, 主要从事材料力学性能测试技术研究; E-mail: zhangxianfeng0811@163.com。

30 mm。试验前对复合板进行 100% 超声探伤, 探伤结果显示复合板界面结合完好, 不存在未复合区域。拉脱试样按照 CB 1343 的要求加工, 试样尺寸如图 1 所示, 由于标准中未对复合界面至纯铝侧过渡弧之间距离 (见图 1 中 X 段) 进行明确的规定, 加工了 $X = 7.0$ mm、1.5 mm、0.5 mm 三种尺寸的试样; 粘结试样按照 GB/T 6396 加工, 试样尺寸如图 2 所示。试验在 INSTRON 5587 试验机上进行, 试验过程中试验机横梁的移动速度为 2 mm/min。

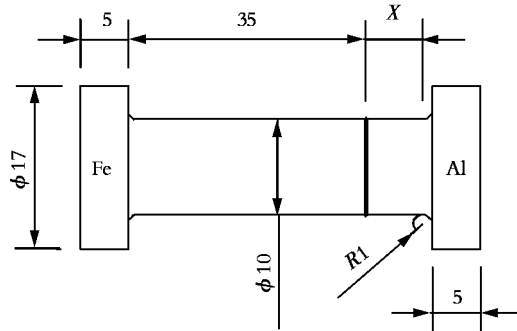


图 1 拉脱试样尺寸图

Fig. 1 Dimension of pull specimen

表 1 纯铝复合层拉伸强度

Table 1 The tensile strength of pure aluminum

试样编号	抗拉强度 R_m /MPa
1	83
2	84
3	86

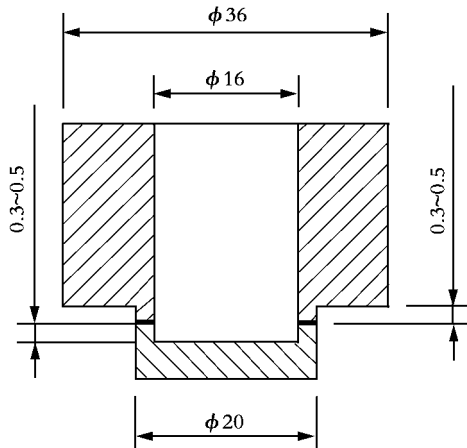


图 2 粘结试样尺寸图

Fig. 2 Dimensions of specimen for bonding strength test

2 试验结果

2.1 性能测试结果

拉脱与粘结试验结果见表 2, 从表中可以看出, 对于拉脱试样, 随着复合界面至纯铝侧过渡弧之间距离的减小, 所获得的强度值显著增加, 当此距离为 7.0 mm 时, 试样多数断在复合层 (铝基体) 上, 而当距离缩减至 1.5 mm、0.5 mm 时, 试样均在复合界面上断裂。对于粘结试验, 所选试样全部在复合界面上断裂, 获得的强度值与 $X = 0.5$ mm 的拉脱试样无显著差异, 而试验结果的离散性明显小于拉脱试验的。

表 2 复合板界面结合强度

Table 2 Interfacial bonding strength of the clad plate

试验项目	1	2	3	4	5	平均值
$X = 7.0$ mm	113 ^a	97 ^b	112 ^b	106 ^b	99 ^b	105.4
拉脱试验 $X = 1.5$ mm	124 ^a	132 ^a	128 ^a	122 ^a	118 ^a	124.8
$X = 0.5$ mm	135 ^a	143 ^a	120 ^a	127 ^a	130 ^a	131.0
粘结试验	138 ^a	130 ^a	131 ^a	130 ^a	128 ^a	131.4

注: a 代表断在复合界面处, b 代表断在纯铝基体上。

2.2 金相组织

对爆炸复合板进行打磨、抛光、腐蚀,通过金相显微镜对界面处的结合情况进行观察,结果见图3,由图可知,爆炸复合界面较平直,部分区域有旋涡,界面结合良好。

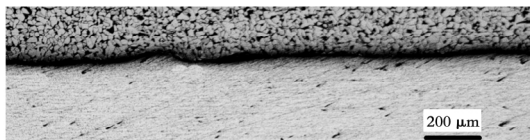


图3 界面金相组织

Fig. 3 The metallographic structure of interface

2.3 复合板硬度测试

从复合板 Q235A 基体一侧垂直界面朝纯铝复合层一侧逐点进行硬度测试,测试结果见图4,从图4可以看出,基体 Q235A 的硬度值远高于纯铝复合层。在复合层一侧,随着至复合界面距离的增加,纯铝的硬度值呈现明显下降的趋势,说明在远离界面处,纯铝复合层的硬化作用在逐渐减弱。

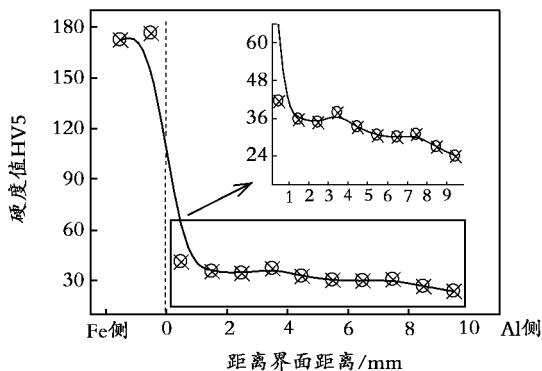


图4 界面附近硬度值测试结果

Fig. 4 The test result of hardness near the interface

3 分析与讨论

针对测试结果中不同拉脱试样之间的差异,分析认为,主要是由以下几方面的原因造成的。首先,Q235A 钢板的强度远高于纯铝,在拉伸过程中,纯铝一侧是薄弱区域,而纯铝在爆炸焊接过程中受爆炸冲击力的作用会发生形变强

化,从图4可以看出,随着至复合界面距离的增加,纯铝的强化效果在急剧减弱,当 $X = 0.5$ mm 时,拉脱试样的变形区域主要集中在强化效果显著的界面附近,反之,则主要集中在远离界面的位置,因此,对于拉脱试样来说, X 段长度越小,获得的界面结合强度值就越大,对应的断裂位置也会倾向出现于界面附近。其次,从试样的结构上来说,纯铝一侧过渡弧与界面之间的纯铝区域是试样变形的主要部位,即对应试样上的 X 段区域,在试样的变形过程中, X 段的长度越短,两侧不变形区域(钢板与纯铝侧夹持端)对其变形的拘束作用就越强,变形的难度就越大,需要更大的载荷才能够将其拉断,当这种拘束作用大到一定程度时,试样便由纯铝基体处断裂转变为界面处断裂,对应的强度测试结果也就增大。在以上因素的综合作用下,不同拉脱试样测试结果产生了差异。

当拉脱试样中 X 段的长度为 0.5 mm 时,纯铝一侧的可变形区域与粘结试样较为接近(粘结试样中对应的长度为 (0.3 ~ 0.5) mm),获得的界面结合强度值也无明显差异,但拉脱试样测试结果的离散性较粘结试样要大许多,这是由机加工工艺本身的问题造成的,在试样加工过程中,越靠近圆弧,加工工艺越难保证,隐患缺陷或者尺寸偏差几率增大,加工质量的不稳定性最终导致试验结果离散性较大。

需要说明的是,拉脱试样的承载截面为圆形,粘结试样的承载截面为环状,在载荷的作用下,虽然两种试样界面处所承受的都是拉应力,但受到的拘束状态并不完全一致,哪种试验方法所获得的结果更为准确,有待进一步的研究。

4 结论

(1) 拉脱试验测试结果受界面至纯铝侧过渡弧之间距离的影响较为显著,随着此长度的减小,测得的界面结合强度值显著提高,且断

裂位置由纯铝复层处转变为复合界面处。

(2) 粘结试验获得的界面结合强度与 $X = 0.5 \text{ mm}$ 的拉脱试验的极为接近, 但粘结试验测试结果的离散性要明显低于拉脱试验的。

(3) 在纯铝 - 碳钢爆炸复合板界面结合强度的测试评价过程中, 所出现的由于依据标准不同而导致测试结果出现偏差, 以及在同一标准范围内因试样加工尺寸不同而导致测试结果出现显著差异的现象, 是由标准文字描述的特殊性以及部分内容表达不明确造成的。建议在测试、评价复合板界面结合强度时, 选择使用同种类、同尺寸的试样进行试验, 同时, 建议组织相关专家对统一标准的可能性进行讨论。

参考文献:

- [1] 王耀华. 金属板材爆炸焊接研究与实践 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [2] 李晓杰, 闫鸿浩, 王金相, 等. 爆炸焊接技术回顾与展望 [J]. 襄樊职业技术学院学报, 2003, 2 (2): 17—21.
- [3] 黄维学, 赵路遇. 铝 - 钢爆炸焊接过渡接头的制造和应用 [J]. 材料开发与应用, 2000, 15 (4): 35—39.
- [4] 邓伟, 陆明, 徐倩. 炸药爆炸速度对铝/钛爆炸焊接复合管结合界面及性能的影响 [J]. 焊接学报, 2014 (11): 39—42.
- [5] 张保奇, 王德和, 李晓杰, 等. 321 - 15CrMoR 爆炸焊接复合板结合界面区的显微组织分析 [J]. 焊接学报, 2006, 27 (2): 108—112.
- [6] 王建民, 朱锡, 刘润泉, 等. 爆炸焊接的应用与发展 [J]. 材料导报, 2006, 20 (1): 42—45.
- [7] GB 1343—1998, 铝 - 钢过渡接头规范 [S].
- [8] GB/T 228.1—2010, 金属材料拉伸试验第 1 部分: 室温试验方法 [S].
- [9] GB/T 6396—2008, 复合钢板力学及工艺性能试验方法 [S].

(编辑: 许紫娟)