

钛钢复合板界面硬度、剪切强度 与退火热处理制度关系

朱磊^{1,2}, 李平仓^{1,2}, 魏永¹, 庞国庆¹

(1. 西安天力金属复合材料有限公司, 西安 710201;
2. 陕西省层状金属复合材料工程研究中心, 西安 710201)

摘要:爆炸焊接生产的金属复合板界面硬度偏高往往给后续加工、使用带来不利影响, 针对此问题, 通过在复合板等长的圆周位置分别进行取样试验, 对不同退火热处理制度下钛钢复合板的界面显微硬度、剪切强度及其变化规律做了分析, 发现随热处理温度的升高, 钛钢界面硬度和剪切强度均呈现降低趋势, 根据相关标准和试验数据, 钛钢复合板退火热处理温度宜选择在 540 ~ 580℃ 之间, 既可有效降低硬度, 又能保证复合板强度满足使用要求。

关键词:爆炸焊接; 钛钢复合板; 退火热处理; 硬度; 剪切强度

本文引用格式:朱磊, 李平仓, 魏永, 等. 钛钢复合板界面硬度、剪切强度与退火热处理制度关系[J]. 兵器装备工程学报, 2017(7): 152 - 155.

Citation format: ZHU Lei, LI Pingcang, WEI Yong, et al. Relationship Between Interface Hardness, Shear Strength and Temper Heat Treatment Temperature of Titanium Steel Composite[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2017(7): 152 - 155.

中图分类号: TG156

文献标识码: A

文章编号: 2096 - 2304(2017)07 - 0152 - 04

Relationship Between Interface Hardness, Shear Strength and Temper Heat Treatment Temperature of Titanium Steel Composite

ZHU Lei^{1,2}, LI Pingcang^{1,2}, WEI Yong¹, PANG Guoqing¹

(1. Xi'an Tianli Clad Metal Materials Co., Ltd., Xi'an 710201, China;
2. National Joint Engineering Research Center, Xi'an 710201, China)

Abstract: If the interfacial microhardness of the metal produced by explosive welding is too high, it will cause adverse effects on subsequent processing and using. For this problem, by performing sampling tests on the clad plate, the interfacial micro-hardness and shear strength of Ti-steel clad plate under different temper heat treatment systems were analyzed, and it was found that the interfacial hardness and shear strength of titanium steel showed a decreasing trend with the increase of heat treatment temperature. According to the relevant standards and the experimental data of this paper, Ti-steel clad plate temper heat treatment temperature should be selected between 540 ~ 580 °C, which can effectively reduce the hardness and ensure the strength of the clad plate to meet the requirements.

Key words: explosive welding; Ti-steel clad plate; temper heat treatment; hardness; shear strength

收稿日期: 2017 - 03 - 25; 修回日期: 2017 - 04 - 20

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(863 计划)(2015AA03A501)

作者简介: 朱磊(1984—), 男, 工程师, 主要从事层状金属复合材料研究。

由于加工方法的特殊性,爆炸焊接法生产的金属复合材料结合界面处及附近会发生较为剧烈的塑性变形,这种塑性变形除了形成周期性的波纹外,还会造成该区域硬化。这对材料后续的加工、使用带来诸多不便,尤其是对作为管板使用的复合板,后续钻孔的过程中钻孔困难、效率降低,增加了钻头消耗量,提高了生产成本,降低了产品竞争力。在生产中,一般通过退火热处理降低复合板硬度。不同的退火热处理制度对于降低硬度所起到的效果也不一样。在一定温度范围内,一般退火热处理温度越高,硬度下降效果越明显。但同时,退火热处理温度越高,复合板的结合强度下降幅度也越大。因此,在制定退火热处理制度时,不仅要有效降低硬度,便于后续加工,还需考虑复合板的剪切强度,保证结合强度满足标准要求($\geq 140\text{MPa}$, GB/T8547-2006)。本文研究了不同退火热处理制度下钛钢复合板硬度以及结合强度的变化情况,并通过分析找到了最佳退火热处理制度工艺范围,取得了较好的效果。

1 试验材料与方法

1.1 材料选取

试验用钛板牌号为 ASME SB265 Gr. 1, 钢板牌号为 ASME SA-516 Gr. 70, 试板尺寸见表 1, 显微硬度见表 2, 符合标准要求。

表 1 试验板投料尺寸

材料名称	投料规格/mm	复合板尺寸/mm
Gr. 1	5 × 550 × 1 250	5/36 × 500 × 1 200
Gr. 70	36 × 500 × 1 200	

表 2 原材料显微硬度

材料名称	显微硬度(HV, 0.2)
Gr. 1	139, 156, 144
Gr. 70	178, 152, 170

1.2 试验方法

爆炸焊接生产中常用的基、复板安装方式有角度法和平行法, 本试验采用平行式, 以长边中心作为炸药引爆点, 爆炸复合装置见图 1。试验用炸药采用某型号爆炸焊接专用炸药, 爆速为 1 800 ~ 2 500 m/s。爆炸复合完成后, UT 显示除雷管区外 100% 结合。

采用火焰切割方式, 将试板平均切为 5 条试块, 每块试块规格为 5/36 mm × 100 mm × 1 200 mm。为保证一致性, 本试验中所有试样均在距起爆点等长的圆周位置进行取样; 试样编号和对应热处理状态见表 3, 每个编号对应位置分别取一个金相试样和一个剪切试样, 取样位置 and 对应编号如图 2 所示。

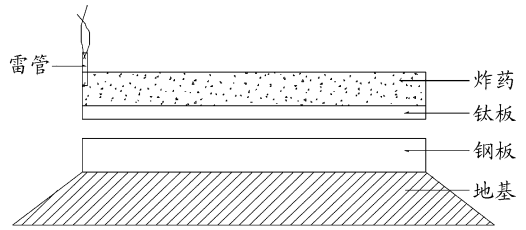


图 1 爆炸复合装置示意图

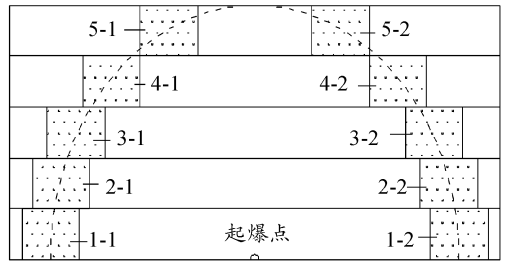


图 2 复合板取样示意图及取样编号

表 3 试样编号和对应退火热处理状态

试样状态	爆炸态	500 °C/ 3 h	540 °C/ 3 h	580 °C/ 3 h	620 °C/ 3 h
试样编号	1-1, 1-2	2-1, 2-2	3-1, 3-2	4-1, 4-2	5-1, 5-2#

注 1: 加热方式为厢式电炉加热, 随炉升温, 冷却至 200°C 以下出炉空冷。

为保证温度准确, 退火热处理时在试样上安装热电偶监控温度(图 3)。试块退火热处理完成后, 采用锯切方式进行取样, 将热影响区完全去除后再机加工试样。

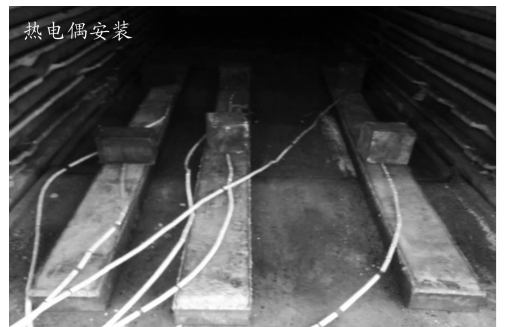


图 3 温度监控装置示意图

2 试验结果与分析

表4为复合板在不同状态下的显微硬度值。为便于分析,将同种状态下的两组试样在界面、基体、以及距离界面分别为50、120、200、300 μm 等位置处测得的显微硬度值进行平均,并绘制硬度变化趋势图,如图4(a~e)所示。硬度数据和分布图显示,爆炸态时复合板的钢、钛侧界面硬度都处于极高值,比各自基体硬度分别高出43%和21%,距界面50、120、200、300 μm 处硬度值随距离增加呈递减趋势,但仍远高于基体。500 $^{\circ}\text{C}$ 退火热处理状态下,钢侧硬度较爆炸态变化不明显,钛侧界面硬度较爆炸态下降24%,在距界面20、120、200、300 μm 处硬度值已下将至已接近母材基体。当温度升高至540 $^{\circ}\text{C}$ 时,钢侧硬度开始明显下降,且界面处与距离50、120、200、300 μm 处硬度值较为接近,说明在该温度下

钢侧由于爆炸碰撞产生的硬化得到有效改善,但仍高于母材基体硬度约50HV,钛侧界面硬度继续下降,同50、120、200、300 μm 处硬度值已无明显差异,与母材基体硬度相当。退火热处理温度进一步提高至580 $^{\circ}\text{C}$,钢侧硬度较540 $^{\circ}\text{C}$ 退火热处理状态下下降约11%,界面处与300 μm 范围内硬度值差别不大,而在该退火工艺下钛侧从界面到母材硬度值已无明显梯度,均处于较低的范围。当退火温度达620 $^{\circ}\text{C}$ 时,无论钢侧还是钛侧,从界面到母材硬度值无明显差异,均与各自母材基体相当。

上述分析结果表明:退火热处理温度达到540 $^{\circ}\text{C}$ 时,钢和钛的硬度均得到明显改善,达到620 $^{\circ}\text{C}$ 时,钢和钛二者硬度已与各自母材基体无区别。

不同退火热处理工艺条件下,复合板剪切试验的结果如表5所示。从表5中可以看出,试板在同一退火热处理制度下,剪切强度相近,如2-1和2-2,4-1和4-2。

表4 不同状态显微硬度值

与界面 距离/ μm	爆炸态		500 $^{\circ}\text{C}$ 退火		540 $^{\circ}\text{C}$ 退火		580 $^{\circ}\text{C}$ 退火		620 $^{\circ}\text{C}$ 退火	
	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2
钢基体	179	175	173	189	178	170	153	175	162	152
-300	240	264	234	242	220	237	201	189	183	172
-200	274	253	249	236	212	221	194	210	191	187
-120	291	281	287	275	235	242	223	233	166	165
-50	288	277	281	273	244	252	210	204	154	163
0(钢侧)	309	309	282	323	240	231	212	210	187	175
0(钛侧)	208	195	175	133	141	131	117	133	129	120
50	206	205	145	138	156	134	120	118	119	110
120	209	207	135	121	146	124	125	127	121	114
200	198	200	137	125	131	129	130	121	124	126
300	181	190	126	119	114	121	123	111	113	118
钛基体	155	164	131	132	129	146	122	122	128	132

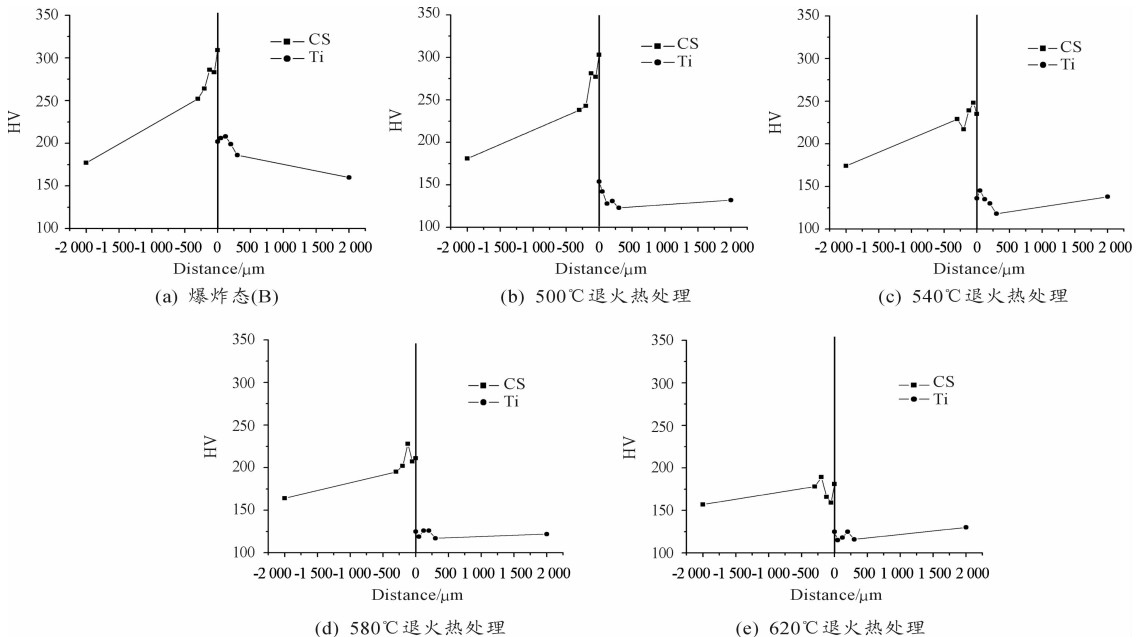


图4 不同状态下显微硬度

表5 不同状态剪切强度值

试样状态/编号	爆炸态		500 °C 退火		540 °C 退火		580 °C 退火		620 °C 退火	
	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2
剪切强度/MPa	290	325	245	235	235	220	215	210	198	205
剪切强度均值/MPa	308		240		228		208		202	

图5为试板不同状态下剪切强度分布图,图5中sample1为1-1,2-1,3-1,4-1,5-1五个试样的剪切强度, sample2为1-2,2-2,3-2,4-2,5-2五个试样的剪切强度。从图中可以看出,随着退火温度的升高,复合板剪切强度呈现下降趋势。爆炸态试样剪切强度平均值为308 MPa,退火加热温度为500 °C时,试板的剪切强度平均值为240 MPa,比爆炸态下降22%;当退火加热温度为540 °C时,试板的剪切强度平均值为228 MPa,比爆炸态降低26%;当退火加热温度为580 °C时,试板的剪切强度平均值为208 MPa,比爆炸态降低32%;当退火加热温度为620 °C时,试板的剪切强度平均值为202 MPa,比爆炸态复合板的剪切强度降低34%。数据表明退火热处理工序对剪切强度有显著的削弱作用。

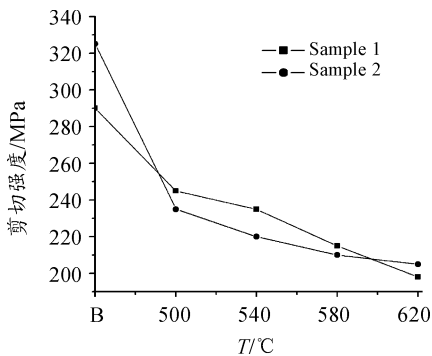


图5 不同状态剪切强度变化趋势

3 结论

综上所述,随着退火热处理温度的升高,界面显微硬度和剪切强度均呈逐渐下降趋势;钛钢复合板退火热处理温度在540 °C以上时,界面硬度才会出现明显改善,但钢侧界面硬度仍高于基体。如果对钢侧界面硬度有更严格的要求,可选择退火热处理温度为580 °C的工艺,但会引起剪切强度较大的损失,较爆炸态下降30%以上。具体操作时应根据复合材料的使用环境和后续加工要求,在540~580 °C之间选择合适的退火热处理温度。

参考文献:

[1] 李平仑,赵惠,刘燕平. 热处理工艺对304L不锈钢/Gr70

碳素钢爆炸复合板界面硬度的影响[J]. 兵器装备工程学报,2017(2):118-121.

- [2] 金贺荣,张春雷,韩雪艳,等. 热处理对316L/Q345R不锈钢复合板显微组织与力学性能的影响[J]. 中国有色金属学报,2015(4):952-958.
- [3] 陈泽军,刘庆,王国军,等. 1100/7075/1100复合板热轧复合和热处理工艺[J]. 材料热处理学报,2015(6):154-158.
- [4] 王斌,徐明,胡静,王良,等. 热处理制度对316L/Q345R爆炸焊复合板组织及性能的影响[J]. 金属热处理,2017(1):109-114.
- [5] JIANG Hai-tao, YAN Xiao-qian. Effect of heat treatment on microstructure and mechanical property of Ti-steel explosive-rolling clad plate[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China,2014(3):697-704.
- [6] 王小华. 不同热处理制度对钛-钢复合板的影响[J]. 材料开发与应用,2010(3):66-70,78.
- [7] 白允强,邓家爱,王章忠,等. 热处理对2205-Q345爆炸复合板界面组织和性能的影响[J]. 金属热处理,2011(11):60-62.
- [8] 刘燕平,李平仑,刘凯,等. 热处理工艺对2205-Q345R爆炸复合板性能的影响[J]. 中国舰船研究,2016(3):128-132.
- [9] 刘会云,何毅,何冰冷. 热处理对热轧不锈钢复合板组织性能的影响[J]. 材料热处理学报,2016(7):106-110.
- [10] 黄永光,闫静亚,李选明,等. GB/T8547—2006,钛-钢复合板,中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社.
- [11] 黄杏利,马岚,王礼营,等. PTA项目用钛/钢复合板模拟焊后热处理性能研究[J]. 热加工工艺,2016(19):242-244.
- [12] 李莹,王礼营,庞国庆,等. 钛-不锈钢爆炸复合接头棒品质特性的相互关系[J]. 四川兵工学报,2015(8):26-28.

(责任编辑 杨继森)