

爆炸焊接钢/钢复合板接合界面微观结构分析

胡兰青¹, 卫英慧¹, 许并社¹, 黄源¹, 李欣田²

(1. 太原理工大学 材料科学与工程学院, 太原 030024; 2. 太原钢铁集团有限公司, 太原 030003)

摘要: 用 HRTEM、TEM 和 SEM 研究了 00Cr18Ni5Mo3Si2/16Mn 爆炸接合复合板性能及接合界面微区组织结构。结果表明, 00Cr18Ni5Mo3Si2/16Mn 复合板强度不低于 16Mn 基板的强度, 180°扭转无裂纹出现; 接合区形貌近似呈正弦波形, 接合界面附近形成微细晶区; 接合界面处的白亮带可能是严重塑性变形和绝热熔化条件下急冷形成的纳米晶结构层和非晶态组织; 爆炸方法可望用来制备纳米晶和非晶态薄膜材料。

关键词: 爆炸接合; 界面; 纳米晶结构; 非晶态

中图分类号: TG142.1; TG456 **文献标识码:** A

文章编号: 1009-6264(2004)01-0046-03



爆炸焊接是利用炸药爆炸瞬间所产生的能量, 将密度、熔点、性能差异很大的金属材料接合在一起, 生产出具有优异综合性能的多种复合材料的方法, 利用这种方法生产的复合板的性能除与基板和覆板的性能有关外, 其接合界面的组织结构也十分重要。因为接合界面性能的好坏, 直接影响到复合板的抗拉、抗弯、抗扭转及耐蚀性能。因此, 深入研究爆炸接合材料的显微组织结构变化与整体性能之间的关系非常重要。作者用 HRTEM、TEM 和 SEM 等手段对 A-F 双相不锈钢/低碳合金钢复合板接合界面的研究结果进行了报道, 以期促进人们对复合界面结构认识的深入。

1 试验材料及方法

试验用基板为厚 20mm 的 16Mn 钢板, 覆板为厚 3mm 的 00Cr18Ni5Mo3Si2 双相不锈钢板。化学成分 (wt%) 示于表 1。接合面经砂轮打磨后, 用倾斜安装方式一次性制备 16Mn/00Cr18Ni5Mo3Si2 复合板。爆炸焊接后, 经表面平整, 然后取样测试复合板的力学性能及耐蚀性, 用 Instron-1186 型电子万能材料试验机测定力学性能, 在 NJ-5000 型扭转试验机测定扭转性能。TEM 试样是以波形结合区为中心线取样,

经离子减薄后, 在带有双倾台的 H-800 透射电子显微镜和 JEM-2010 高分辨透射电子显微镜上进行观察。用 KYKY-1000B 扫描电子显微镜和 TN-5400 能谱仪分析接合界面元素的分布。

表 1 复合板用钢板的化学成分 (wt%)

Table 1 Chemical composition of the studied steel plates (wt%)

Steel plate	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
00Cr18Ni5Mo3Si2	0.027	1.62	1.25	0.028	0.004	19.48	5.76	2.70
16Mn	0.15	0.3	1.3	0.05	0.05	-	-	-

2 试验结果及分析

2.1 复合板力学性能及接合强度

从基板和复合板分别取力学性能试样, 复合板取样垂直于轧制方向, 拉伸试样厚为复合板厚度, 尺寸根据 GB-T-6396-95 确定, 扭转试样以复合板厚为横截面, 尺寸为 23mm×23mm×350mm, 测试结果示于表 2。可见复合板强度不低于基板。扭转试验表明, 180°扭转后, 接合部位无开裂现象。

表 2 复合板和基板的力学性能

Table 2 Mechanical properties of the clad and base plate

Steel plate	Standard thickness/mm	σ_t /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /(%)	Intergranular corrosion
00Cr18Ni5Mo3Si2/16Mn	3+20	>325	490~640	>21	No
16Mn	20	310	480	19	-

2.2 接合区域形貌及组织

图 1 为 00Cr18Ni5Mo3Si2 和 16Mn 钢板经爆炸接合后接合区形貌, 近似呈正弦波形, 这种波形与爆炸

收稿日期: 2003-07-15; 修订日期: 2003-11-05

基金项目: 山西省青年科技研究基金 (20011019)

作者简介: 胡兰青 (1963—), 女, 太原理工大学材料科学与工程学院副教授, 在读博士研究生, 主要从事材料的强度与强化方面的研究工作; 获省科技进步奖 1 项, 发表论文 30 余篇; E-mail: youkun3@public.ty.sx.cn

载荷在金属中和界面上的波动传播密切相关^[1]。从图 2 可以看出:(1)在远离接合界面的区域内,原覆板中的 A + F 组织随波形结合面的形成而发生相应的塑变,变形后的流线走向与波形相仿;(2)在覆板一侧紧靠接合界面处存在厚度约 20 多微米的细晶区,这主要是由于覆板和基板在碰撞点发生瞬间绝热剪切

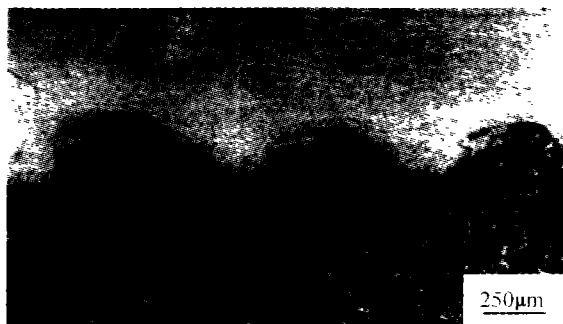


图 1 复合板接合区形貌

Fig.1 Morphology of interface region of the clad steel plate



图 2 00Cr18Ni5Mo3Si2/16Mn 接合界面形貌

Fig.2 Morphology of interface of 00Cr18Ni5Mo3Si2/16Mn clad plate

所形成的射流粒子在喷射过程中被连续地挤压在两板之间,又立即被处于常温的板材迅速冷却,高温熔化状态下形成的细微晶粒来不及再结晶和晶粒长大就被“冻结”保存下来,形成一层薄的细晶区;另外,该层金属在复合过程中承受了巨大的冲击力而发生强烈的塑性变形,使位错密度极大增殖,完整晶格产生畸变,导致该区晶粒细化,最后形成一层薄的细晶区^[2,3]。

2.3 白亮带的组织结构

爆炸复合板的接合界面除出现细微晶粒带,还往往在覆板侧形成一层约 3 μm 厚的连续或不连续的白亮带(图 1)。白亮带处于接合界面,呈条带状,不易腐蚀(用王水都难以腐蚀),说明其组织结构与周围不同。基于爆炸过程中,覆板、基板界面射流的形成过程,可以肯定界面处组织的形成与接合板材的熔化有关,说明白亮带可能与非晶态的形成有关。

对 16Mn/00Cr18Ni5Mo3Si2 接合界面的 TEM 和

HRTEM 观察及电子衍射分析发现,接合界面组织为等轴纳米晶,尺寸小于 100 nm,电子衍射花样呈连续环状(图 3);图 4 为爆炸接合后界面处的高分辨像,其中原子规则排列区域的尺寸在几到十几纳米之间,其它为非晶态组织,说明接合界面区的组织即 2 ~ 3 μm 厚的白亮带为纳米晶和非晶态组织组成。这种组织形成的可能原因是由于在爆炸冲击力所产生的瞬间绝热条件下,撞击点附近在极为苛刻的变形条件下产生极高的温度,造成板材表面金属熔化,形成射流,随即又被基板以极快的速度冷却,形成一些纳米晶和来不及形核的非晶区域。随着撞击点不断向前移动,白亮带伴随着断续形成。



图 3 接合界面 TEM 像及相应选区的电子衍射花样

Fig.3 TEM image of the interface and SAD pattern

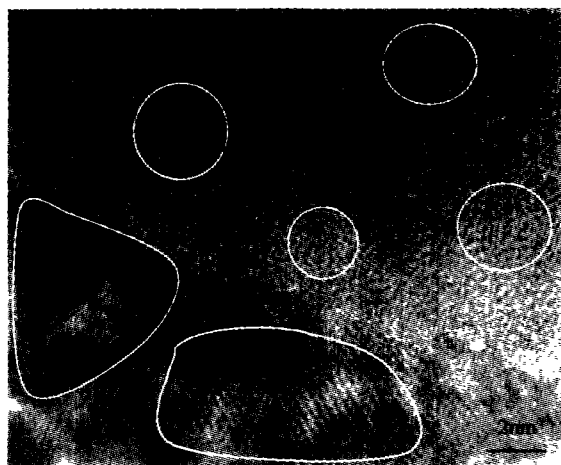


图 4 接合界面的高分辨像

Fig.4 HRTEM image of the interface

2.4 旋涡区界面元素分布

在 00Cr18Ni5Mo3Si2/16Mn 爆炸接合复合板覆板

波谷部位两侧出现了旋涡区,如图 5a)所示。旋涡区可能是由载入射流向外喷射时受阻形成的。覆板、基板在猛烈撞击过程中产生的细微粒子在喷射中相互混合,受阻后聚集形成旋涡,因此其成分介于覆板和

基板之间,如图 5b)中 Cr 元素的分布曲线所示。合金元素成分分布的变化不是由扩散形成,而是由具有基、覆板成分,在其表面形成的混合射流所致。射流快速冷却结晶,形成纳米晶区和微细晶粒区。

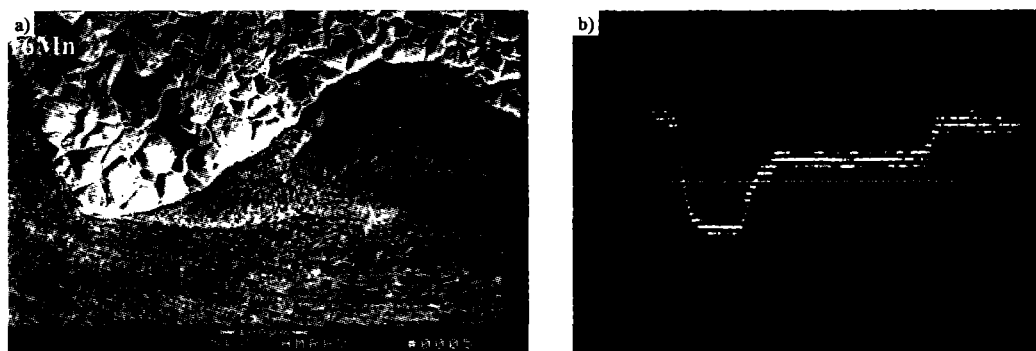


图 5 旋涡区形貌(a)及其与基板和覆板中 Cr 含量的分布(b)

Fig.5 Morphology of the eddy zone(a) and distribution of chromium content of the substrate and cladding plate in the eddy zone(b)

爆炸产生的冲击波使金属材料承受巨大的冲击力,一方面通过射流的形成,产生熔化,使接合界面形成纳米晶和非晶态区域。另一方面,材料表层在极大的冲击力作用下快速强烈塑性变形,从而使位错密度极大增殖,完整晶格产生畸变和使晶粒破碎,形成一层具有纳米晶结构的表面层,这正是金属材料表面纳米化的基础^[4]。如果被结合的金属板足够薄时(如金属箔),可认为在整个箔的厚度断面上结构变化是一致的或近似一致的。这样可望通过爆炸的方法制备纳米晶和非晶态金属薄膜。

3 结 论

(1)爆炸接合 00Cr18Ni5Mo3Si2/16Mn 复合板,强度不低于基板,180°扭转后,接合部位无开裂现象。

(2)00Cr18Ni5Mo3Si2/16Mn 接合区形貌近似呈正弦波形。接合界面附近形成微细晶区,其形成是由于在极大的冲击力作用下,接合界面附近快速强烈塑性变形所致。

(3)界面处的白亮带可能是严重塑性变形和绝热熔化条件下急冷形成的纳米晶和非晶态组织。

参 考 文 献

- 1 郑远谋,黄荣光.镍—不锈钢爆炸复合板结合区的显微研究[J].理化检验—物理分册,1998,(8):9.
- 2 Hammerschmidt M, Kreye H. Microstructure bonding mechanism in explosive welding shock waves and high-strain rate phenomena in metal[J]. Scripta Metall, 1972, 6: 915.
- 3 Liu G, Lu J, Lu K. Surface nanocrystallization of 316L stainless steel induced by ultrasonic shot peening[J]. Mater Sci Eng, 2000, 91A: 286.
- 4 Yang Y, Xinming Z, Zhenghua L, et al. Adiabatic shear band on the titanium in the Ti/mild steel explosive cladding interface[J]. Acta Mater, 1996, 44: 561.
- 5 冯 淦,石连捷,卢 柯.低碳钢超声喷丸表面纳米化的研究[J].金属学报,2000,36(3):300.