

爆炸焊接用薄钛板拼焊工艺

樊科社^{1,2}, 赵 惠^{1,2}, 何小松^{1,2}, 夏学荣¹, 李进军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:利用等离子弧焊(PAW)和钨极氩弧焊(TIG)对爆炸复合用轧制薄钛板进行拼焊处理。焊接后,从宏观上看,2种焊接工艺下的焊件焊缝表面平整光滑,无裂纹、分层和焊瘤等焊接缺陷,但是TIG焊缝(FZ)的宽度较宽,约为PAW焊缝(FZ)的2倍。渗透探伤(PT)结果表明,2种焊接的焊缝表面无微裂纹、微小气孔等缺陷,但射线探伤(RT)结果表明TIG的FZ局部区域内有微小气孔。观察和比较2种焊件的微观组织和力学性能,发现PAW的焊缝热影响区(HAZ)较窄,而TIG焊缝热影响区(HAZ)宽,且其FZ区的晶粒略微粗大。从焊接界面附近区域的显微硬度来看,PAW焊件各区域的硬度梯度要低于TIG焊件。2种焊件的力学性能检验结果表明PAW焊件的性能优于TIG焊件。以上实验结果表明,PAW焊接方法更适于爆炸复合用薄钛板的拼焊处理。

关键词:等离子弧焊(PAW);钨极氩弧焊(TIG);薄钛板

中图分类号: TG456.6

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2011)01-0087-04

钛在地壳中的含量为0.61%,在所有元素中名列第9,但在金属元素中仅次于Al、Fe和Mg,居第4位。钛及钛合金的密度小,抗拉强度高,在-235~600℃范围内,它的比强度在金属材料中几乎最高^[1-4],而且钛本身具有有一定耐蚀性能,在氧化性环境中可形成一种薄而坚固的氧化物膜。此外它还具有非磁性、线膨胀系数小等特点,这就使钛及其合金广泛应用在宇航结构材料、舰船制造、化学工业等领域。但是由于钛分离提取困难,因而被称为稀有轻金属。在工程上,如果一些设备完全采用钛材制备,则加工成本将十分昂贵。因此为了达到节约原料、降低成本的目的,往往利用特殊的处理工艺制备复合材料来代替钛材使用,其中爆炸复合工艺就是一种应用广泛的方法。另外,随着工业的快速发展,对设备的尺寸要求越来越大,而目前的轧制技术很难提供相应尺寸的钛板,因此在使用之前,钛板往往需要拼焊处理以达到所需尺寸。钨极氩弧焊(TIG)和等离子弧焊(PAW)是目前最常用的焊接手段^[5-7]。TIG热量比较集中,电弧燃烧稳定,焊缝金属致密,接头强度和塑性高,可以焊接板厚为1~20mm的材料。而PAW的等离子弧温度高,能量密度大,对焊件加热集中,熔透力强,对焊件的热输入较小^[7-10]。但是,由于爆炸复合工艺的特殊性,往往对焊后钛板的形状和焊缝力学性能要求十分苛刻,因此开展研究PAW和TIG工艺对薄板的性能的影响是十分重要的。本文利用PAW和TIG分别对3mm厚的薄钛板进行焊接,分析和讨论了2种焊件的微观组织特征和力学性能。

1 实验材料及方法

1.1 实验材料

实验所用钛板批号为ASTM SB265 Gr1,尺寸为3mm×200mm×600mm,经复检,钛板化学成分复合标准要求(如表1所示)。

1.2 实验方法及设备

本实验的PAW和TIG工艺过程都在同一台焊接平台进行。为达到比较的目的,PAW和TIG焊接过程中不添加焊丝,而且执行单面焊双面成型工艺。薄板边部需预处理,切边并用钢丝打磨,以保证无毛刺和飞边。保护气体为高纯Ar气。根据实践经验,为实现单面焊双面成型,TIG焊接速度为3.2m/s,而PAW焊接速度为6m/s,且钨极直径均选取Φ4.0。相关工艺参数如表2所示。

拼焊后,利用渗透探伤和射线探伤技术检验焊件有无缺陷,检验标准为ASTM E433。渗透探伤采用HP-ST试剂在室温下进行。

采用401MVD型硬度计测量焊件从焊区(FZ)、热影响区(HAZ)到基体(BM)的显微硬度,每2个点间隔0.5mm,加载力为200g。利用OLYmpus GX51型金相显微镜观察焊件特征区域的微观组织。TY8000型实验机被用来检测复合板的拉伸强度,拉伸实验执行ASTM E8标准,试验温度为常温。弯曲试验在MC009-GW40A型实验机进行,执行ASTM E190,弯曲角为180°,弯曲方式为面弯和背弯。

表1 材料化学成分

Chemical composition (wt%) ^a						
Element	C	H	N	O	Fe	Ti
Standard requirement	≤0.08	≤0.015	≤0.03	≤0.18	≤0.20	Bal.
Actual measurement	0.06	0.010	0.025	0.15	0.15	-

表2 焊接工艺参数

Welding manner	Nozzle neck-in <i>t</i> /mm	Welding Current <i>I</i> /A	Welding Voltage <i>U</i> /V	Travel Speed/ (mm · s ⁻¹)	Plasma gas flow <i>L</i> ₁ / (L · min ⁻¹)	Shielding gas flow <i>L</i> ₂ / (L · min ⁻¹)	Backing gas flow <i>L</i> ₂ / (L · min ⁻¹)
PAW	Φ3.0	110 ~ 150	18 ~ 23	6	6.0 - 6.1	22	40
TIG	Φ20.0	180 ~ 220	11 ~ 14	3.2	-	15	20

2 结果与分析

图1显示了PAW和TIG焊后焊件的宏观形貌。从图1中可以看出,采用2种焊接方法下焊件的焊缝表面光滑、均匀,无裂纹、孔洞和焊瘤等焊接缺陷。但是2种焊件焊缝(FZ)的宽度有很大区别。PAW的焊缝宽度仅4 mm,而TIG的FZ区域约为8 mm。这是因为,PAW的等离子弧挺直,能量密度大,对焊件加热集中,熔透力强,而且其对焊件的热输入较小,焊接速度快,因此焊后焊件焊缝较窄。而TIG电弧的热量比较集中,但熔透力低于PAW,为达到单面焊双面成型的目的,在焊接过程中只能降低TIG的焊接速度,从而造成电弧在焊区停留过久,热量集中,导致TIG焊缝过宽,约是PAW的2倍。焊后对2种焊件进行PT探伤(如图2所示),结果显示2个焊件表面无微裂纹和微小孔洞等缺陷。但是,随后的RT探伤结果表明,PAW焊件内部无焊接缺陷,而TIG焊件的FZ局部区域内有气孔。焊件受外作用时,尤其是在拉应力作用下,焊缝处微小气孔作为材料内部的缺陷,成为裂纹源,将导致材料快速失效。此外,从2种焊件的剖面来看(图3),2种焊接工艺下,焊件侧面仅有微小变形,且无波浪变形。比较PAW和TIG2种焊件可以看出,PAW焊件边部的变形比TIG焊件更小。爆炸复合这种特殊的焊接工艺对复合前基板和复板的形状有苛刻的要求,但是复板在拼焊过程中往往不可避免地发生一定的变形,因此为使基板和钛板尽量匹配,以保证后继的爆炸复合工艺顺利进行,一般在拼焊过程中会选择对复板形状影响较小的焊接工艺。对爆炸复合工艺来说,PAW更适用于对钛板进行拼焊。

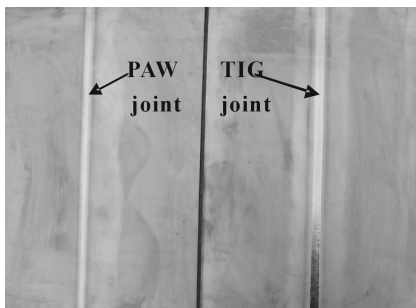


图1 PAW和TIG焊件宏观形貌

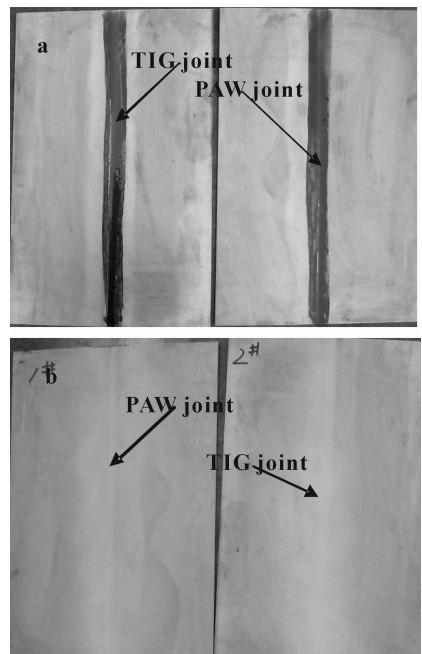


图2 渗透探伤检验



图3 焊接方法对焊件形状的影响

垂直于焊缝方向取样,观察焊件焊缝-热影响区-基体的微观形貌,如图4所示。图4a和b分别为PAW和TIG焊件的FZ与HAZ界面微观形貌。从图4中可以看出,在同样放大倍数下,PAW的FZ、HAZ和BM三特征区可以出现在同一视场中,其中HAZ宽度约为2 mm。而TIG的HAZ宽度大于6 mm,在图4b)中仅能观察到其HAZ和BM两区,这是因为,钨极氩弧焊的电弧相对于等离子弧来说,其穿透性较差,在试验过程中不得不降低焊接速度,以实现焊件的单面焊双面

成型。电弧在工件上停留的时间较长,从而导致其热影响区远远大于PAW焊件。在高放大倍数下,可以更清晰的观察2种焊接的BM与HAZ的微观组织及其界面。从图中可以看出,母材(BM)为原始退火态组织,由典型的均匀细小的等轴 α 钛晶粒组成,而HAZ区域为形状不规则的、大片的 α 钛晶

粒组织,除此之外无其它异常组织或相存在,HAZ平缓过渡,界面结合良好,无分离、裂纹等缺陷。图4(e)和(f)分别为2种焊件焊缝处的微观形貌,比较两者可以看出,TIG焊缝处的晶粒尺寸比PAW焊缝略大些。

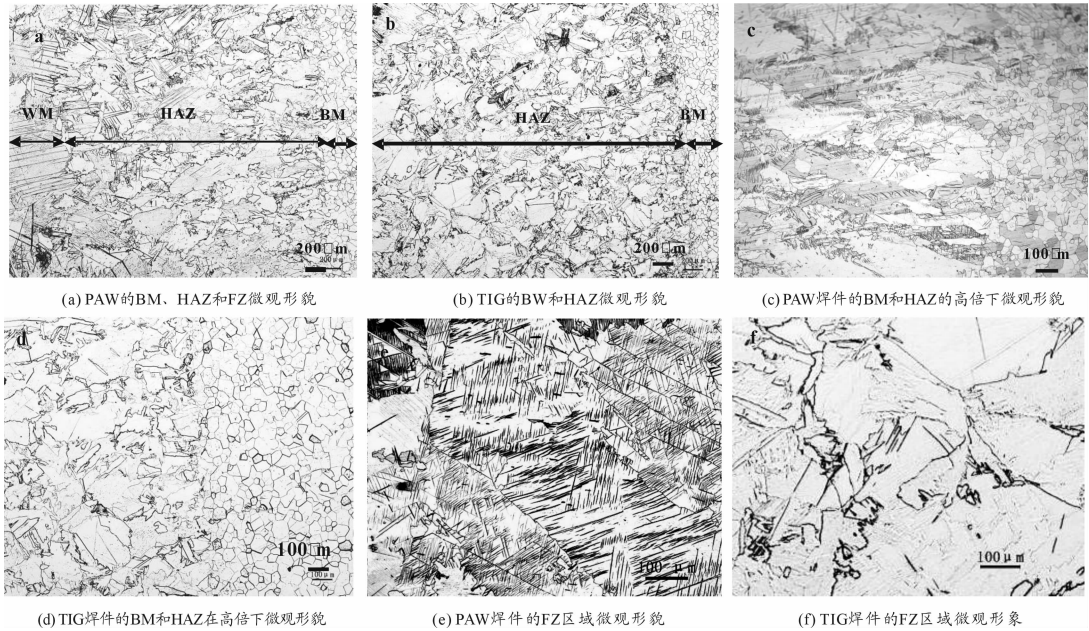


图4 焊件微观组织形态

力学性能试验试样的宏观形貌见图5~7。图5为2个焊件在BM-HAZ-FZ显微硬度变化曲线。从图5中可以明显地看出,PAW焊件的硬度梯度变化较小,且其热影响区较窄。相对来说,PAW的BM、HAZ和FZ硬度梯度较大,在受外力的巨大冲击下,界面处易发生应力集中,导致材料发生断裂。PAW和TIG焊件的拉伸试样在试验后都有明显的颈缩变形,表明材料的塑性较好,但是两者断裂断口的位置却完全不同,如图6所示。从图6(a)中可以看出,PAW焊件的断口在基体处,这说明焊接的焊缝及热影响区没有成为焊件的薄弱区域。而TIG焊件的断口在焊缝处,这可能是由焊缝处的气孔缺陷所导致。试验结果显示PAW焊接和TIG焊接的抗拉强度分别为420和385 MPa。对试样进行弯曲试验后,在试样的外弯和内弯表面未见裂纹(图7),说明焊件弯曲性能合格,符合标准要求。

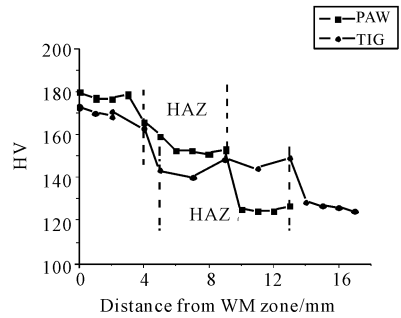
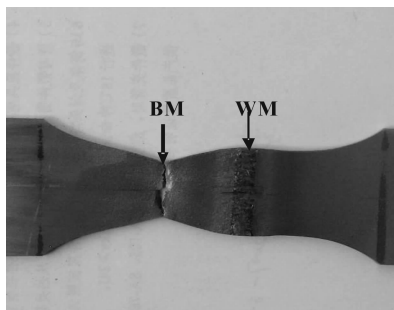
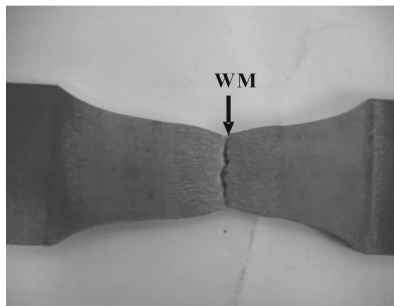


图5 PAW和TIG焊接界面硬度变化曲线

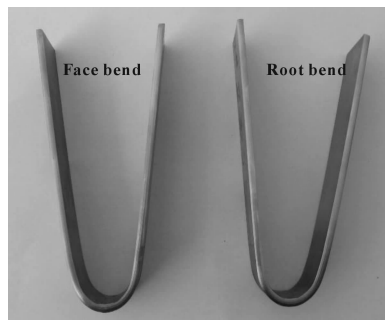


(a) PAW

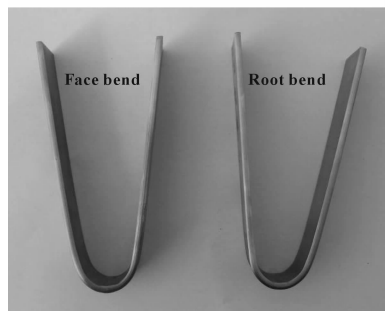


(b) TIG

图6 拉伸试样微观形貌



(a) PAW



(b) TIG

图7 弯曲试样微观形貌

3 结论

本文采用微观组织观察和性能测试方法研究了薄钛板的PAW和TIG拼焊工艺,并得出以下结论:

1) TIG的FZ区域宽度约为8 mm,而PAW的FZ宽度仅4 mm,焊缝越宽,对焊件性能影响越大。同时,焊后,PAW焊件的变形小于TIG焊件,更适合爆炸复合工艺要求。

2) 对焊缝进行PT和UT后,PAW焊件表面和内部均无焊接缺陷,而TIG焊件内部局部区域有气泡,破坏了基体的连续性,降低材料性能。

3) 从微观组织上来看,2焊件的界面处无分离、裂纹等缺陷。但PAW焊缝的热影响区宽度要远小于TIG焊件。

4) TIG焊件3个特征区显微硬度梯度小于PAW焊件,更易因发生应力集中导致材料失效,且前者的拉伸强度小于后者。

参考文献:

- [1] Shalaby H M. Failure investigation of Muntz tubesheet and Ti tubes of surface condenser[J]. Engineering Failure Analysis, 2006, 13(5):780-788.
- [2] Hong-yan Xing, Kim H Y, Miyazaki S. Microstructures of Ti-48% Ni shape memory melt-spun ribbons[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2006, 16(1):92-95.
- [3] Marcelo G K, Alejandro A H, Ariel L. Bistability in Kerr lens mode-locked Ti:sapphire lasers[J]. Optics Communications, 2001, 192(3-6):333-338.
- [4] Achariya Rakngarm, Yoshiharu Mutoh. Characterization and fatigue damage of plasma sprayed HAp top coat with Ti and HAp/Ti bond coat layer on commercially pure titanium substrate[J]. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials, 2009, 2(5):444-453.
- [5] Sundar M, Whitehead D, Mativenga P T. Excimer laser decoating of chromium titanium aluminium nitride to facilitate re-use of cutting tools[J]. Optics & Laser Technology, 2009, 41(8):938-944.
- [6] Liqiang W, Weijie L, Jining Q. Effect of precipitation phase on microstructure and superelasticity of cold-rolled beta titanium alloy during heat treatment[J]. Materials & Design, 2009, 30(9):3873-3878.
- [7] Jingguo Ge, Zhengqiang Zhu, Defu He, Ligong Chen. A vision-based algorithm for seam detection in a PAW process for large-diameter stainless steel pipes[J]. Int. J. Adv. Manuf. Technol, 2005, 26:1006-1011.
- [8] J. Milano S D, Flitter L, Morris R. An Intelligent Approach to welding Robot Selection[J]. JMEPEG, 1993, 2(5):683-686.
- [9] Jukka Martikainen. Conditions for achieving high-quality welds in the plasma-arc keyhole welding of structural steels[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1995, 52:68-75.
- [10] DuPont J N, Marder A R. Dilution in single pass arc welds[J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 1996, 27B:481-489.