

超声冲击对 TA15 钛合金焊接接头的影响

尤逢海¹ 杨夏炜² 朱景川² 孔艳荣³ 来忠红²

(1 北京航星机器制造公司,北京 100013)

(2 哈尔滨工业大学材料科学与工程学院,哈尔滨 150001)

(3 秦皇岛首秦钢材加工配送有限公司,秦皇岛 066200)

文 摘 研究了 TA15 钛合金氩弧焊焊接接头超声冲击前后的组织及力学性能,并对接头拉伸断口进行了观察。结果表明,焊接后焊缝区和热影响区的组织与母材的组织差别很大,表现为魏氏组织特征;超声冲击前后母材和接头的组织均变化不大。冲击处理使焊缝区和母材区的强度和伸长率均有所增加。冲击前后的焊缝及母材的室温拉伸断口均属于韧窝型断口。冲击后接头的表面和断面显微硬度均得到了提高。

关键词 TA15 钛合金,组织,力学性能,断口形貌,显微硬度

Effects of Ultrasonic Impact on Welding Joint of TA15 Titanium Alloy

You Fenghai¹ Yang Xiawei² Zhu Jingchuan² Kong Yanrong³ Lai Zhonghong²

(1 Beijing Hangxing Machinery Manufacturing Corporation, Beijing 100013)

(2 School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

(3 Qinhuangdao Shouqin Machining & Delivery Co., Ltd., Qinhuangdao 066200)

Abstract The microstructure, mechanical properties and hardness of TIG welded joints made by TA15 titanium alloy with and without ultrasonic impact were analyzed and tensile fracture surfaces of the joint were observed. Mean-time, the fracture of welding joint was investigated. The results show that, after welding, microstructure of the weld zone and the heat-affected zone are different from the parent metal, showing characteristics of weave structure. Microstructure of the parent metal and the joint changed a little after ultrasonic impact. The tensile strength and the elongation percentage of the parent metal and the weld zone increased slightly. Before and after ultrasonic impact, the property of the tensile fracture surfaces of the parent metal and the weld zone are dimple-type fracture. After ultrasonic impact, the surface microhardness and the section microhardness are obviously increased.

Key words TA15 titanium alloy, Microstructure, Mechanical properties, Fracture surfaces, Microhardness

0 引言

钛及钛合金具有密度小、比强度高和耐腐蚀等优点,一直是航空航天工业的“脊柱”之一^[1]。TA15 钛合金是一种近 α 型钛合金,既具有良好的热强性和可焊性,又具有接近于 $\alpha+\beta$ 型钛合金的工艺塑性^[2],钛合金及其焊接结构件在各类飞机、发动机及导弹的结构件上得到了广泛应用^[3-5]。目前,钛合金的焊接一般采用惰性气体保护或者在真空环境中的方法,其中钨极氩弧焊是钛合金熔焊的主要方法之一^[6]。除了提高材料的焊接性和改进焊接工艺外,也需要对焊接接头进行后续处理,对提高焊接接头综合性能具有重

要作用^[7]。

在各种改善焊接接头性能的处理工艺中,超声冲击法具有效果显著、结构轻巧、噪音小、效率高、成本低和节能等诸多优势,是国外较流行的方法。通过焊后超声冲击可以大大提高焊接接头的疲劳强度,能提高接头疲劳寿命几倍甚至几十倍以上^[8-9],但有关该方法改善钛合金焊接接头性能的报道较少。本文对超声冲击处理前后的 TA15 钛合金钨极氩弧焊焊接接头的显微组织、力学性能、硬度分布以及断裂行为进行了研究。

1 实验

收稿日期:2010-03-17;修回日期:2010-07-13

作者简介:尤逢海,1966 年出生,高级工程师,主要从事金属热处理方面的研究。E-mail:hgdrali@sina.com

1.1 材料

TA15 (Ti-6Al-2Zr-1Mo-1V) 钛合金板材的化学成分见表 1。

表 1 TA15 钛合金的化学成分

Tab.1 Chemical composition of TA15 titanium alloy

											wt%
Al	Mo	Zr	V	Si	Fe	C	N	H	O	Ti	
6.4	1.3	1.9	1.8	<0.15	<0.05	<0.01	<0.01	<0.002	<0.008	余	

1.2 焊接及超声冲击工艺

焊接采用钨级氩弧焊(TIG 焊接)的方法,对接拼焊。工艺参数:焊接电流为 220 A,电压为 14 V,焊接速率为 20 cm/min,送丝速率为 45 cm/min,焊丝直径为 1.6 mm。

采用全覆盖超声冲击处理方法,工艺参数:冲击电流为 1.5 A,频率为 20 kHz,冲击速率为 12 cm/min,振幅为 30 μm ,冲击头为 $\Phi 3.0$ mm。

1.3 组织分析及性能测试

在超声冲击处理前后的焊接接头处沿垂直于焊接方向利用线切割制取金相试样,焊缝位于试样中心部位。腐蚀液为 2% HF +3% HNO₃ +95% 蒸馏水的混合液。在 OLYMPUS BHM 立式金相显微镜下对超声冲击前后的 TA15 钛合金焊板的母材、焊缝区以及热影响区进行低倍及高倍组织观察。利用 JSM-5800、S-570 及 S-4700 型扫描电子显微镜观察形貌特征。并对拉伸后的试样断口进行扫描电镜观察。

参照 GB/T2651—2008 和 GB/T228—2002 选取拉伸件尺寸。实验设备为 Instron Series IX 自动材料试验机,数据率:5 点/s,横梁速率:1 mm/s。

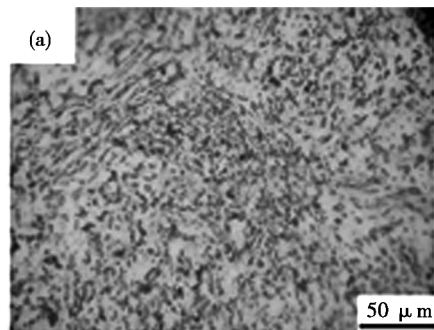
在显微硬度计上测试焊接接头表面和断面的显微硬度,载荷为 100 g,加载时间为 10 s。按 GB/T2654—1989 进行,接头表面显微硬度的测试点是以焊缝中心为起点沿垂直于焊缝方向往两边测量,相邻两点的间距为 500 μm ;焊缝断面显微硬度的测试点是以焊缝突起顶部为起点沿垂直于焊缝方向一致测到焊缝底部,相邻两点的间距为 100 μm ;其中显微硬度值均为 5 次测量的平均值。

2 结果与分析

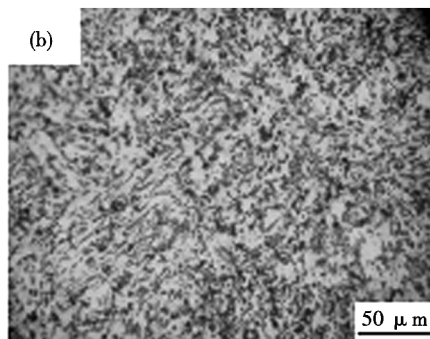
2.1 超声冲击处理对焊接接头组织的影响

从图 1 可以看出,焊缝区以及热影响区的组织相比于母材的组织都发生了明显的变化,由等轴的 β + α 组织转变成了魏氏组织,原因是氩弧焊焊接热输入量大,温度高,高温停留时间长,使得针状 α 组织充分长大,焊缝组织为较多不规则的粗大针状 α 的魏氏组织,在焊接热影响区靠近焊缝区域,由于氩弧焊

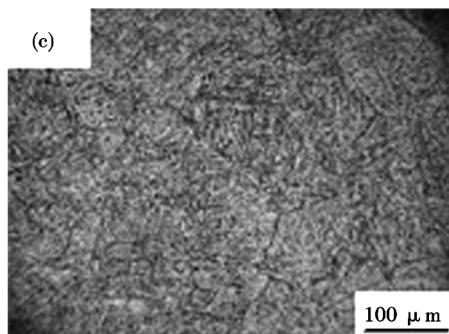
高温(超过其相变点)停留时间长,造成明显的魏氏组织特征。从图 1(c)和图 1(e)可以看出,热影响区的组织要较焊缝区的组织细小,且两种组织有明显的魏氏组织特征,主要为晶内针状 α + β 组织,从图 1(d)和图 1(f)也可以得到同样的结论。



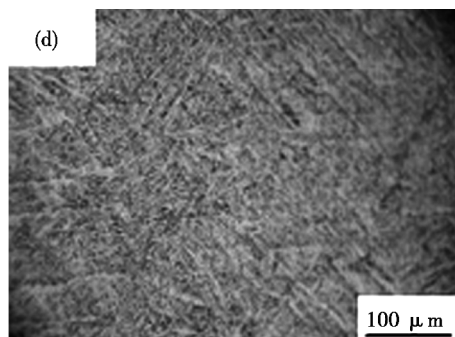
(a) 冲击前母材



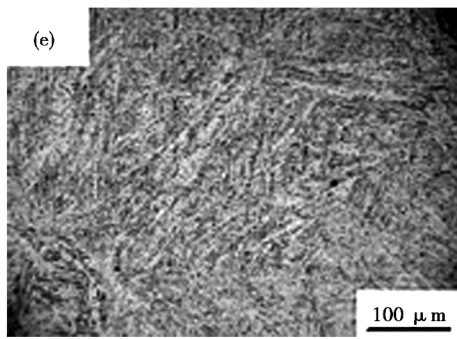
(b) 冲击后母材



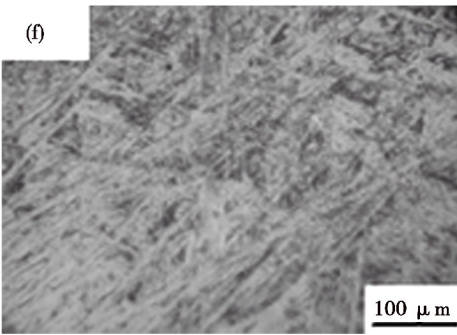
(c) 冲击前热影响区



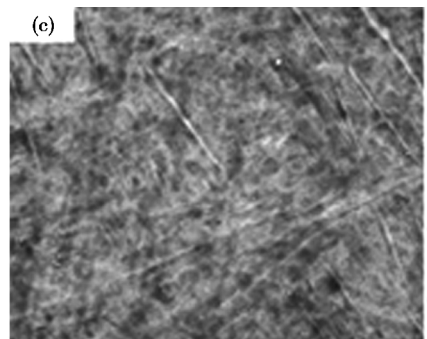
(d) 冲击后热影响区



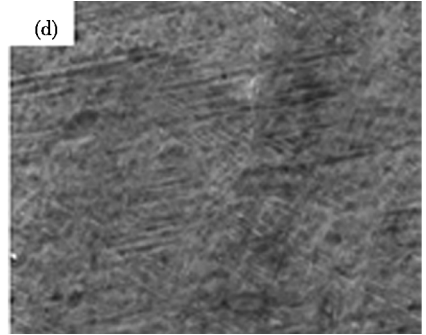
(e) 冲击前焊缝区



(f) 冲击后焊缝区



(c) 冲击前焊缝区

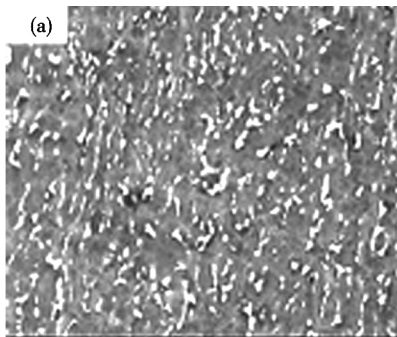


(d) 冲击后焊缝区

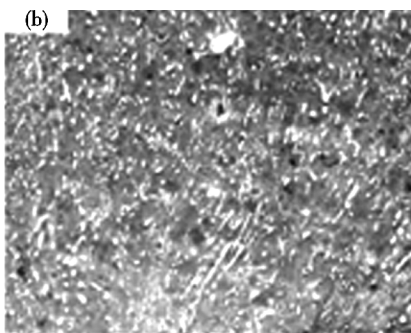
图1 超声冲击处理前后焊接接头的金相照片

Fig.1 Metallographic photos of welding joint after welding and ultrasonic impact

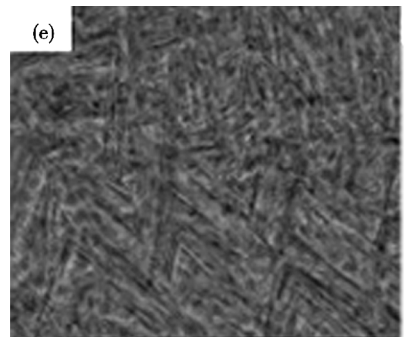
从图2可以看出,扫描组织与金相低倍组织观察到相同的结论,焊板冲击前后母材、焊缝区以及热影响区的组织差别不大。因为经过冲击后,在母材表面形成一层厚几十到几百个微米的作用层,使表面层发生了一定的塑性变形,并随着深度的增加逐渐变小,主要表现为位错形态和晶格畸变的变化,对显微组织影响不大。



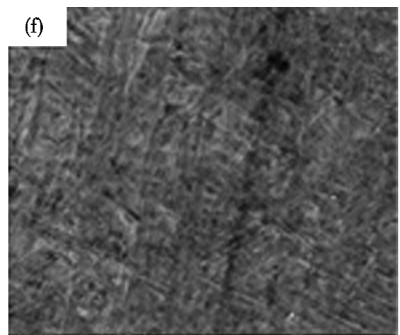
(a) 冲击前母材



(b) 冲击后母材



(e) 冲击前热影响区



(f) 冲击后热影响区

图2 超声冲击前后焊接接头的扫描电镜照片

Fig.2 SEM of welding joint before and after ultrasonic impact

2.2 超声冲击对拉伸性能的影响

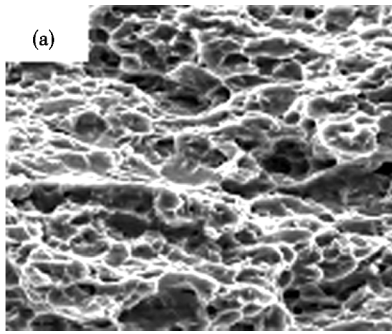
从表2可以看出,超声冲击前,TA15钛合金接头的抗拉强度和屈服强度均有所降低,伸长率下降的幅度更大。根据焊接接头微观组织的分析可以认为,塑性降低主要是由于热影响区及焊缝的组织变化所致。超声冲击后,TA15钛合金母材及焊接接头的强度和塑性均有所改善,但提高幅度不大。

表 2 焊接件和冲击件力学性能

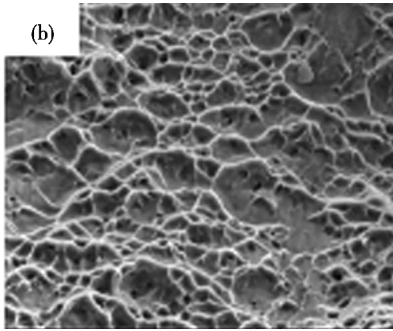
Tab. 2 Mechanical properties of weldments and impact specimens at room temperature

状态	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%
焊后母材	1062	882.1	16.6
焊后接头	947.8	771.8	2.70
冲击后母材	1073	893.7	18.7
冲击后接头	957.0	754.8	3.80

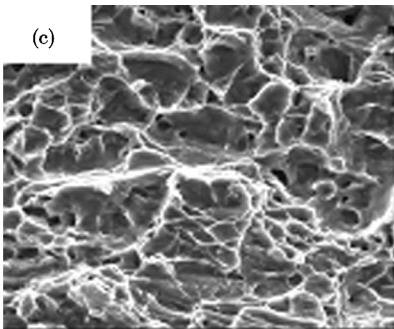
图 3 为 TA15 钛合金焊板超声冲击前后的焊缝及母材拉伸断口形貌图,可以看出,断口都属于韧窝型,母材区域[图 3(a)和(b)]的断口韧窝较焊缝区[图 3(c)和(d)]的断口韧窝要细小。韧窝细小说明材料塑性好,所以焊板母材区域的材料力学性能(强度、伸长率)要高于焊接接头区域。从图 3 中还可看出,超声冲击处理前后母材区的断口形貌变化很小,焊缝区的断口形貌变化也不大,因为超声冲击对焊板表面层的作用的厚度只有几十到几百个微米,而拉伸件的厚度远大于冲击层的作用厚度,所以对板材的拉伸性能的影响不大。



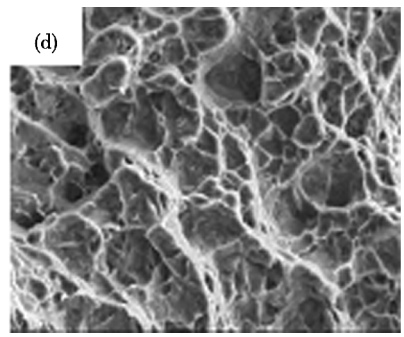
(a) 冲击前母材



(b) 冲击后母材



(c) 冲击前焊缝



(d) 冲击后焊缝

图 3 拉伸断口扫描照片

Fig. 3 Tension fractographs of SEM

2.3 超声冲击处理对显微硬度的影响

2.3.1 表面显微硬度的变化

图 4 为超声冲击处理前后 TA15 钛合金接头表面显微硬度的分布图。可以看出,未处理的焊接接头的焊缝中心区的显微硬度最低,为 360 HV 左右,由焊缝中心往两侧硬度逐渐上升,在熔合线附近硬度出现最大值(410 HV),之后硬度开始降低并逐渐趋于稳定,在 375 HV 上下波动,但母材区的硬度要比焊缝中心高。超声冲击处理在材料内部形成微观塑性变形层,加工硬化作用使超声冲击作用区显微硬度明显提高,并且改善了原焊缝区与母材区硬度分布的不均匀性,焊缝中心的显微硬度值上升的幅度较大,与超声冲击处理后母材的硬度相当。可见与母材相比,焊缝区和热影响区硬度提高更为明显一些。

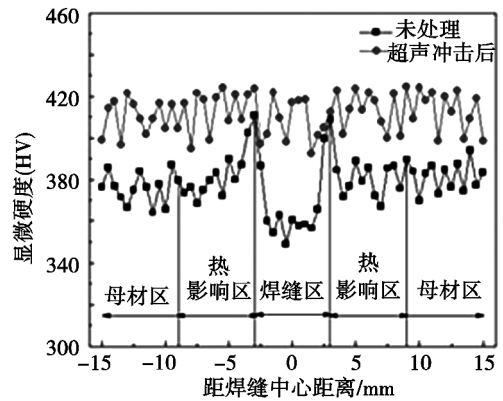


图 4 焊接件超声冲击前后的表面显微硬度

Fig. 4 Surface microhardness on weldment before and after ultrasonic impact

表面硬度显著提高,说明超声冲击导致表层微观塑性变形,可减小和均匀化加工应力,同时提高疲劳寿命。杨彦涛等人^[7]就超声冲击处理钛合金焊接接头的性能进行了研究,超声场的作用使得焊缝区表层强度提高,从而使所形成的表面压应力能够超过材料的屈服强度,焊接残余应力发生重分布并产生部分松

弛,超声冲击处理所形成的残余压应力对接头疲劳强度的提高有较大作用。同时超声冲击处理可以降低接头应力集中程度。

2.3.2 断面显微硬度变化

图5为超声冲击处理前后焊缝断面硬度的分布图,可以看出,超声冲击处理后,焊缝表面层的显微硬度约为410 HV,远高于焊缝中心部位的硬度。随着深度的进一步增加,硬度值的变化趋势是先降低,然后变化趋于缓慢。超声冲击处理使材料表面产生了一定的塑性变形,随着塑性变形的进行,位错密度不断增加,位错在运动时的相互交割加剧,从而产生固定割阶、位错缠结等障碍,位错运动阻力增大,引起变形抗力增加,使金属的进一步塑性变形变得困难,要继续变形就必须增大外力,因此提高了金属的强度(加工硬化),其直接表现就是硬度增加。

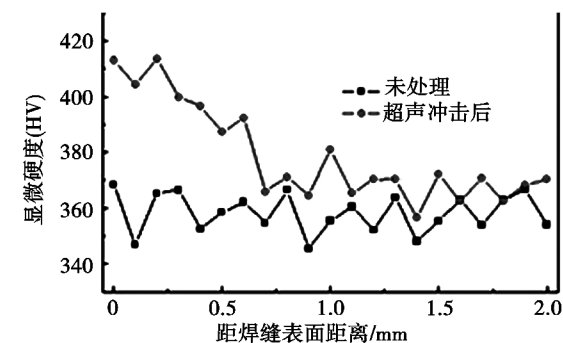


图5 超声冲击处理前后焊缝的横截面显微硬度随层深的分布

Fig. 5 Section microhardness on weldment before and after ultrasonic impact

3 结论

(1)TA15 钛合金钨极氩弧焊焊接接头焊缝区以及热影响区的组织相比于母材的组织都发生了明显的变化,表现为明显的魏氏组织特征;经超声冲击处

理后其母材和焊接接头的组织变化不大。

(2)超声冲击处理对焊缝区和母材区抗拉强度和伸长率均有所改善,但由于超声冲击作用层仅有数百微米深,所以提高幅度不大。

(3)超声冲击使钛合金表层产生了微观塑性变形,其加工硬化作用使焊接接头及相邻区域显微硬度显著提高,并改善了硬度分布均匀性;显微硬度随着层深呈梯度分布,表面硬度值从 HV 410 左右逐渐过渡到芯部硬度值 HV 360 左右。表面硬度显著提高,说明超声冲击导致表层微观塑性变形,可减小和均匀化加工应力,同时提高疲劳寿命。

参考文献

- [1] 李梁,孙健科,孟祥军. 钛合金的应用现状及发展前景[J]. 钛工业进展,2004(5):19-24
- [2] 黄伯云,等. 中国材料工程大典[M]. 北京:化学工业出版社,2006:503-567
- [3] 洪权,张振祺. Ti-6Al-2Zr-1Mo-1V 合金的热变形行为[J]. 航空材料学报,2001,21(1):10-12
- [4] 李兴无,沙爱学. TA15 合金及其在飞机结构中的应用前景[J]. 钛工业进展,2003,20(4):90-94
- [5] 陶春虎,曹春晓,等. 航空用钛合金的失效及其预防[M]. 北京:国防工业出版社,2002:1-33
- [6] 王利发,刘建中,胡本润. TA15 钛合金钨极氩弧焊焊接接头力学性能研究[J]. 机械强度,2008,30(5):820-822
- [7] 杨彦涛,张永洋,余巍. 超声冲击处理钛合金焊接接头的性能研究[J]. 材料开发与应用,2007,22(1):28
- [8] 王东坡,霍立兴,张玉凤. 提高焊接接头疲劳强度超声波冲击法[J]. 焊接学报,1999,20(4):158-164
- [9] 王东坡,霍立兴,张玉凤,等. 超声冲击法提高低碳钢焊接接头疲劳强度的研究[J]. 机械强度,1999,21(4):289-306

(编辑 吴坚)