

钛的氩弧焊、激光焊和等离子弧焊的实验研究

黎红 肖茂春 张斌 赵云凤 李满园 宋之敏 郑斯奎

摘要 采用氩弧焊、激光焊和等离子弧焊焊接钛支架杆,与母材对照,测试其力学性能、显微硬度,并做金相分析、电子断口分析,测试数据经统计学处理。结果显示:钛的氩弧焊、激光焊基本满足修复体焊接要求,为进一步临床应用提供实验基础。

关键词 钛 氩弧焊 激光焊 等离子弧焊 焊接

钛具有良好的生物相容性,耐腐蚀性,优良的机械性能,比重低而强度高,硬度适中及热导率,热膨胀率低等其它合金材料不可比拟的优点;但是,钛在高温下性质活泼,极易与空气中的C、H、O、N等元素发生化学反应而变脆,影响钛的力学性能。因此,如何避免焊接过程中钛被污染,提高焊接质量,是其能否广泛应用的关键。本文采用氩弧焊、激光焊和等离子弧焊焊接国产纯钛材,通过测试焊接后钛试件的抗拉强度、延伸率和显微硬度,并进行断面的扫描电镜观察和金相分析,考察焊接对钛性能的影响,探讨其相关影响因素,从而寻求较佳的焊钛方法,为临床应用提供理论依据。

1 材料和方法

选用TA₂型工业纯钛(西北有色金属加工厂),机床加工成直径3mm,长40mm的棒(杆),要求平直,断面整齐并垂直于轴心,超声清洗待焊。把试件固定于特制紫铜夹具上,要求对合良好,同轴。采用国产氩弧焊机(W S-350型,成都),保护氩气在15L/m in流量下焊接,完成一面的焊接后,再焊接另一面,同法共焊接8对试件。采用国产Nd:YAG激光焊机(JH-V IA型,武汉),以50W,8L/m in氩气和国产微束等离子弧焊机(W HL-10A型,成都),以10A氩气保护下各焊8对钛试件。

将试件置于万能测试机(A G-10 A,岛津,日本)以0.5mm/m in拉伸断裂,计算出抗拉强度、延伸率;分别用各型试件作断口扫描电镜分析(AM RAY-1845型,美国),金相显微镜(M EF-3A型,德国)分析,焊区显微硬度(HM IS-全自动硬度仪,上海)测定,载荷50g,保压时间15s。实验结果经沙氏软件包作统计学分析。

2 结果

2.1 焊接试件的外观

氩弧焊试件:表面光滑平直,连续性好,熔区银白光亮,未见明显裂纹、气孔、凹陷、变形和着色。熔区宽度约3.15~3.80mm,热影响区宽度2.45~4.25mm。拉伸断裂多发生在母材区。激光焊试件:表面平直,光滑,无气孔、裂纹、着色,溶区有轻度凹陷,熔区宽度约1.50~1.70mm。几乎没有热影响区,拉伸断裂多发生在熔区。等离子弧焊试件:对合多不平直,焊区表面灰暗,呈现明显污染。熔区宽度约2.30~3.60mm,热影响区宽约3.50~7.48mm。拉伸断裂多发生在热影响区。

2.2 抗拉强度、延伸率及显微硬度

4组Ti焊接试件抗拉强度及延伸率见表1。

表1 4组Ti焊接试件抗拉强度及延伸率($\bar{x} \pm s$)

组号	钛试件	抗拉强度(M Pa)	延伸率(%)
1	母材	393.00 ± 5.90	29.00 ± 1.20
2	氩弧焊试件	405.80 ± 10.46	26.20 ± 1.90
3	激光焊试件	384.80 ± 21.89	13.09 ± 5.09
4	等离子弧焊试件	192.00 ± 48.00	1.39 ± 0.43

单因素方差分析:母材、氩弧焊试件、激光焊试件抗拉强度间无显著性差异($P > 0.05$);等离子弧焊与氩弧焊、激光焊试件及母材相比较,其抗拉强度、延伸率明显减小,有显著性差异($P < 0.05$)。两两比较的 q 检验:母材与氩弧焊试件,母材与激光焊试件,激光焊试件与氩弧焊试件之间抗拉强度无显著性差异($P > 0.05$);而等离子焊与母材、氩弧焊试件、激光焊试件之间均有显著性差异($P < 0.05$),等离子弧焊抗拉强度最小。延伸率:氩弧焊

作者单位:610041 华西医科大学口腔医学院(黎红,肖茂春,张斌,赵云凤,李满园),四川联合大学分析测试中心(宋之敏),中国核动力研究院(郑斯奎)

与母材之间无显著性差异 ($P > 0.05$), 而其它任何两两比较都有显著性差异 ($P < 0.05$)。

从焊接熔融区中线到母材基体显微硬度 HV 变化 (图 1), 可见愈接近焊接点, HV 越高, 以后急剧下降。

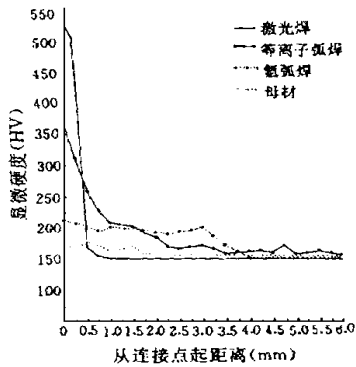


图 1 激光焊、等离子弧焊、氩弧焊试件与母材的显微硬度

2.3 断口扫描电镜观察

氩弧焊件断口的低倍视野可见熔焊的深度约为 1.2 mm, 达断面深度的 80%, 周边一圈为车床车削使熔区形成断口的车刀印, 断面中心部有少许未熔焊区, 熔焊区气泡较少 (图 2); 高倍视野显示典型的塑性断口, 韧窝较深, 表明塑性较好 (图 3); 激光焊接的低倍视野可以看见未能焊透全层, 熔焊区深度多在 0.3~0.5 mm, 达断面全深的 20%~33%, 但上方有一脉冲区域已基本焊透, 熔深达 1.5 mm 左右。熔焊区与未焊区之间约有 70~80 μm 的过渡区, 该区断口比较平坦, 无韧窝特征, 气孔较多 (图 4); 高倍视野熔焊区的断口形貌, 显示塑性特征, 但韧窝不及氩弧焊件规则; 等离子弧焊断口的低倍视野显示等离子弧焊全层基本焊透, 但熔区有少许气泡; 其熔区高倍形貌无典型的韧窝, 有二次裂纹, 是存在大量的撕裂脊的准解理断口, 其塑性远不及氩弧焊、激光焊焊接区的塑性好 (图 5)。

2.4 金相观察

激光焊仅焊透全层的 30%, 中间大部分组织未焊上, 母材与熔区间有较明显分界, 未见明显热影响区, 母材晶粒细小、均匀、规则 (图 6)。氩弧焊件全层基本焊透, 热影响明显存在, 其晶粒有所增大, 未见明显气泡 (图 7)。等离子弧焊件全层基本熔透, 但热影响区显著, 该区晶粒明显粗大, 在熔区外表面有一发亮的薄层, 可能是强钛化物层, 这与显微硬度测试结果一致 (图 8)。

3 讨 论

除钛及其合金自身性能的影响外, 影响焊接质量的因素很多, 主要有焊接区表面清洁度、焊接方法、焊接有关技术参数的调整 (如焊接电流、功率、保护氩气的纯度和流量、加热时间、焊件之间距离、焊料位置、包埋方法等), 另外焊工的技术水平也是影响焊钛质量的重要因素。

3.1 氩弧焊对钛试件性能的影响

本实验表明氩弧焊件具有很好的抗拉强度 (405.80 MPa), 断裂点多发生在母材, 表明其焊接强度大于母材; 同时氩弧焊件有较好的延伸率 (26.20%), 接近其母材; 熔深达断面的 80%, 断口微观形貌呈现良好的韧窝, 表明塑性良好, 这点与机械性能测试值相吻合; 热影响区的金相分析, 发现晶粒有所长大, 气泡较少, 显微硬度有所增高。显微硬度和强度比母材有所增加, 塑性略微减小, 这可能与焊接过程中热影响区微结构发生改变有关。同时表明熔焊加热时, 气体保护充分, 污染较少。

3.2 激光焊对钛试件性能影响

激光焊件有很好的抗拉强度 384.80 MPa, 与母材比较, 无显著性差异, 表明其强度达到要求。有一定延伸率 16.2%, 表明有一定的塑性。激光焊件熔区宽度只有 1.5~1.7 mm, 并且几乎观察不到的热影响区, 这是其它焊接方式不可比拟的优越性。它也呈现塑性形貌, 显示一定的韧窝, 较规则, 反映机械性能良好。但是激光焊件无论是断口电镜分析还是金相分析都显示熔焊深度不够, 本实验仅及全层深度的 30%, 然而从图 4 可以看出, 上方有一脉冲区域几乎达钛试件的中心部位, 这可能与该区能量较高有关。是否可通过提高激光焊的功率同时又不影响其焊接质量, 达到完全焊接, 有待进一步研究。激光焊件 HV 值在焊线部位较高, 这可能是因激光能量大, 受热区域小, 温度高而集中, 又极快冷却, 快速冷却相当于进行了淬火强化处理, 生成高硬度的细晶强化相。激光焊能提供精确、快速、热影响区小的自动焊接, 不受人工焊接技能的影响, 是很有前途的焊接方法。

3.3 等离子弧焊对钛试件性能影响

理论上, 等离子弧焊是一种电弧放电的气体导电现象, 借助水冷喷嘴的外部拘束条件使电弧的弧柱区横断面受到限制时, 电弧的温度、能量密度、等

离子流速都显著增大。但是,要求保护气流量应与离子流有一个恰当比例。若保护气流量太大,会造成气流的紊乱,影响等离子弧的稳定性和保护效果。从本实验的微观形貌可以看出,等离子弧焊能量大,穿透力强,几乎熔透全层。其抗拉强度仅 192 MPa,塑性 1.7%,断口韧窝较浅,形态不规则,有二次裂纹,反映塑性远不及前二者的好。其表面硬度也明显大于氩弧焊和激光焊件。金相照片显示热影响区十分显著,晶粒明显长大,成柱状,反映该焊接后金属结构发生明显改变,这可能是除了焊接过程中氩气保护不全外,还可能与等离子弧焊接输出能量过大,焊接时间长有关,从而造成焊接区温度过高,在热影响区形成大量的粗大 β 结构,冷却时,冷速较慢,产生对强度和塑性十分不利的粗大 α 相为主的结构。表面硬度显著增高,在熔区外层有一层发亮区,其HV值很高(648.25),这可能是污染所致。同时内部明显的气孔,反映出焊接工艺不当,保护气体不纯或流量不够,焊接输出能量过大造成组织过热。焊接保护不良导致强度和塑性很小。焊接熔区的硬度较大,达375HV,是由于焊接输出能量过大,高温熔化区停留时间较长,加之气体保护不好,在焊接熔化区产生污染,使较多杂质溶于熔化区,造成钛纯度下降,因为杂质(如O,N,H,C)与钛形成间隙固溶体使钛的点阵发生畸变,硬度急剧提高。笔者认为上述情况,可能与焊接工艺和焊接操作不当有关。

3.4.3 种钛焊接技术用于临床时应注意的问题

氩弧焊污染小、焊机价廉,焊接强度高,塑性好;但热影响区较大,如何防止因焊接使修复体变形的问題,有待进一步研究,故适用于修复体体积较大,如桥体、支架等的焊接。激光焊熔区、热影响区小,快速,精确,焊件有较高强度和塑性,但焊接深度不够,建议用于直径较小的修复体焊接,如各单冠之间的连接。与氩弧焊、激光焊相比较,等离子弧焊对钛试件的力学性能影响较大,选择多大的焊接功率,如何做好惰性气体保护,尚有待进一步研究。

(本文图 2~ 8 见中心插页 12)

4 参考文献

- 1 Yamagishi T, Ito M, Fujimura Y. Mechanical properties of laser welds of titanium in dentistry by pulsed Nd: YAG laser apparatus. *J Prosthet Dent*, 1993, 70: 264
- 2 Wang RR, Welsch GE. Joining Ti materials with Tig laser welding and infrared brazing. *J Prosthet Dent*, 1995, 74: 521
- 3 Roggensack M, Walte MH, Boning KW. Studies on laser and plasma welded Ti. *Dent Mater*, 1993, 9: 104
- 4 Jeffrey E, Rubenstein. Stereo laser-welded Ti implant frameworks: Clinical and laboratory procedues with a summary of 1-year clinical trials. *J Prosthet Dent*, 1993, 74: 284
- 5 姜焕中. 电弧焊及电渣焊. 第2版, 北京: 机械工业出版社, 1992: 118

(1997- 11- 13 收稿, 1998- 05- 26 修回)

Study on Titanium Joined with Tungsten Inert Gas Welding, Laser Welding and Plasma Welding

Li Hong, Xiao Maochun, Zhang Bing, et al

College of Stomatology, West China University of Medical Sciences

Song Zhiming

Analysis and Assay Center, Sichuan Union University

Zheng Sikui

China Nuclear Force Research Institute

Abstract

Titanium material, which were joined with tungsten inert gas welding, laser welding and plasma arc welding technique, were tested the tensile strength, percentage elongation, microhardness, SEM examination and metallographic examination of longitudinal cross section, Comparing with the original titanium rod, and made statistical analysis. The result showed that tungsten inert gas welding and laser welding of titanium were suitable for prosthetic welding, which was viewed as the experimental proof of the further clinical use.

Key words: titanium tungsten inert gas welding laser welding plasma arc welding welding technology