

铸造钛合金表面氩弧熔覆钛基复合材料的研究

游 涛, 柴 能, 李 巍, 甘志文, 姚 谦, 王洪锋, 张春辉

(沈阳铸造研究所有限公司, 辽宁沈阳 110022)

摘要: 使用氩弧熔覆技术在铸态ZTA15钛合金表面预置石墨粉, 获得厚度约1 mm的钛基复合材料熔覆层。熔覆层内主要相为 α -Ti和TiC, 且TiC相以树枝晶形态弥散分布。熔覆层显微硬度最高可达HV_{0.05} 443, 相比铸态基体硬度值提高了33%。

关键词: ZTA15; 氩弧熔覆; TiC; 钛基复合材料

钛合金具有密度低、比强度高、耐腐蚀性强等特点, 近年来在航空、航天及海洋装备领域得到了非常广泛的应用^[1-4]。但是, 由于钛合金的硬度较低、耐磨性能较差, 尤其是在摩擦副非同种材料情况下, 钛合金表面很容易发生粘着磨损, 而导致工件失效。为了提高钛合金表面的硬度及耐磨性, 目前开发出多种表面强化技术^[5-6], 例如: 激光表面处理技术、等离子喷涂技术、微弧氧化技术、电火花沉积技术、氩弧熔覆技术等。其中氩弧熔覆技术是通过传统的焊接方法, 采用特殊材质的焊丝或合金粉末, 在金属表面熔覆出一层改性复合涂层。该技术具有操作灵活、成本低、效率高的特点^[7], 可以制备较厚的改性涂层, 适合对涂层进行机械加工。

目前钛合金表面改性材料研究的热点, 多集中在采用激光或等离子束作为热源制备TiC颗粒增强复合材料^[8-9]。由于TiC具有较高的硬度, 常作为金属基复合材料的增强相。氩弧焊电弧产生的能量密度虽然不及激光和等离子束, 但其产生的高温完全可以满足Ti与C原位反应生成TiC^[10]。国内有学者已在TiNi合金表面预置石墨粉, 采用氩弧熔覆技术制备了TiC陶瓷增强的金属基复合材料涂层^[11]。还有学者在TC4合金表面以B₄C和Ni60混合粉末为预涂材料, 采用氩弧熔覆技术制备了以TiC和TiB_x为增强相的钛基复合材料^[7, 12]。

本文采用钨极氩弧焊方法, 针对ZTA15铸造钛合金, 在其表面熔覆预置高纯石墨粉, 制备出以ZTA15钛合金为基体、以原生TiC枝晶为增强相的钛基复合材料涂层, 并对该熔覆层的相组成、显微组织以及硬度特性进行了研究。

1 试验方法

本试验采用的钛合金材料为铸态的ZTA15合金, 其化学成分符合GB/T15073—2014《铸造钛及钛合金》规定, 详见表1。

基体试样通过机械加工方法制成100 mm × 15 mm × 10 mm的尺寸, 并用丙酮擦拭试样后烘干待用。采用化学纯级石墨粉作为熔覆材料, 其颗粒度 $\leq 30 \mu\text{m}$, C含量 $\geq 99.85\%$ 。将石墨粉与粘结剂混合成膏状, 均匀地涂抹在试样表面, 厚度控制在1 mm, 并放置通风处自然干燥24 h。用YC300WP型氩弧焊机进行熔覆试验。为了防止熔覆层在高温下氧化, 在熔覆时采用高纯氩气进行吹气保护, 氩气流量设定在15 L/min。其他熔覆工艺参数为电流120 A, 熔覆速度4 mm/s。试样熔覆结束后, 采用带锯将试样沿长度方向切出15 mm × 15 mm × 10 mm的试块, 试块抛光后采用腐蚀

作者简介:

游涛(1981-), 男, 高级工程师, 主要从事金属材料成形技术研究工作。
E-mail: youtao168@126.com

中图分类号: TB331
文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2019)02-0162-04

收稿日期:

2018-11-26 收到初稿,
2018-12-24 收到修订稿。

表1 ZTA15钛合金化学成分
Table 1 Chemical composition of ZTA15 alloy

元素	Al	Zr	Mo	V	Fe	Si	C	N	H	O	Ti
标准值	5.5~7.0	1.5~2.5	0.5~2.0	0.8~2.5	≤0.30	≤0.15	≤0.10	≤0.05	≤0.015	≤0.20	余量
实测值	6.48	2.14	1.78	2.22	0.13	0.01	0.014	0.021	0.0006	0.078	余量

剂 (HF 10 mL+HNO₃ 5 mL+ H₂O 85 mL) 进行腐蚀。采用ZEISS Axio Vert.A1倒置万能材料显微镜和ZEISS EVO/MA25型扫描电镜进行显微组织观察及元素分析, 采用MH-5数字式显微硬度计测量熔覆层的显微硬度, 采用XRD-7000型X射线衍射仪进行物相分析。

2 试验结果与分析

2.1 熔覆层相组成分析

对熔覆层进行XRD分析, 结果见图1。通过分析衍射图谱发现, 熔覆层中主要存在TiC和 α -Ti相以及少量的游离态C。其中TiC相峰值较高, 与 α -Ti相峰值接近, 表明熔覆层中TiC含量较高, 是熔覆层内的主要相之一。TiC是预置石墨粉中C与基体的Ti在电弧高温下反应形成的新相^[13]。 α -Ti相主要来自于熔覆层, 而少量的游离态C经检查发现, 是由于试样边缘存在少量未清理干净的石墨粉所导致的。另外, 熔覆层表面未检测到钛的氧化物相存在, 这说明氩气在熔覆过程中对涂层起到了较好的保护作用。

2.2 熔覆层显微组织分析

在光学显微镜下观察熔覆层截面, 如图2所示, 可发现熔覆层整体厚度在1 mm左右, 熔覆层内部没有发现游离态C存在。熔覆层与基体之间冶金结合良好, 界面处没有出现裂纹、未融合、气孔等缺陷。

在熔覆层与基体的界面处, 可发现一条宽度为

150 μ m的组织过渡区, 过渡区右侧为典型的铸态基体组织如图3所示。

在500倍光镜下观察熔覆层组织 (如图2b所示), 观察不到原始 β 晶界, 但可发现大量细小的针状 α 相, 以及弥散在 α 相之间均匀分布的树枝晶组织。这些树枝晶具有发达的二次枝晶臂, 并且枝晶臂的生长没有明显的方向性。

对树枝晶进行能谱分析, 结果如图4所示。从分析结果可以看出, 树枝晶组织中主要含有元素钛和碳元素以及微量的铝元素。其中钛和碳的质量分数分别为4.19%和95.31%, 由于碳含量远远大于基体材料的碳含量, 因此树枝晶中的碳应来自于碳粉和钛反应生成的化合物。结合X射线衍射分析可以认为, 熔覆层内的树

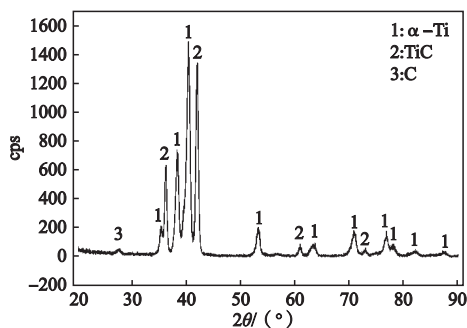
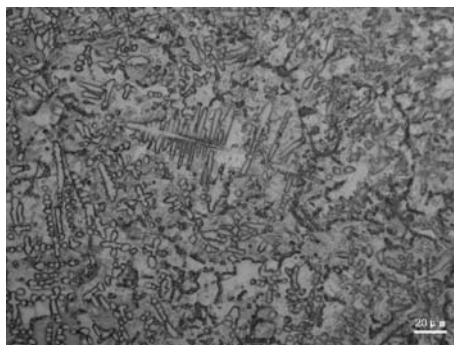


图1 熔覆层X射线衍射图谱

Fig. 1 X-ray diffraction spectrum of cladding layer



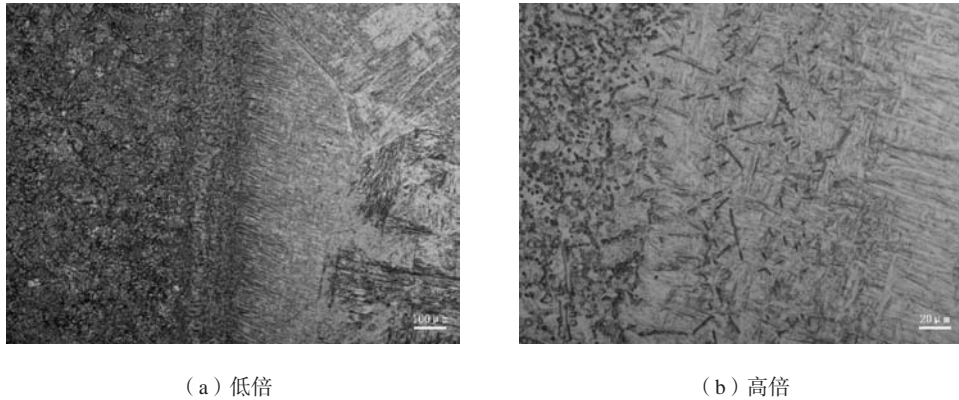
(a) 低倍



(b) 高倍

图2 熔覆层金相组织

Fig. 2 Metallographic structure of cladding layer

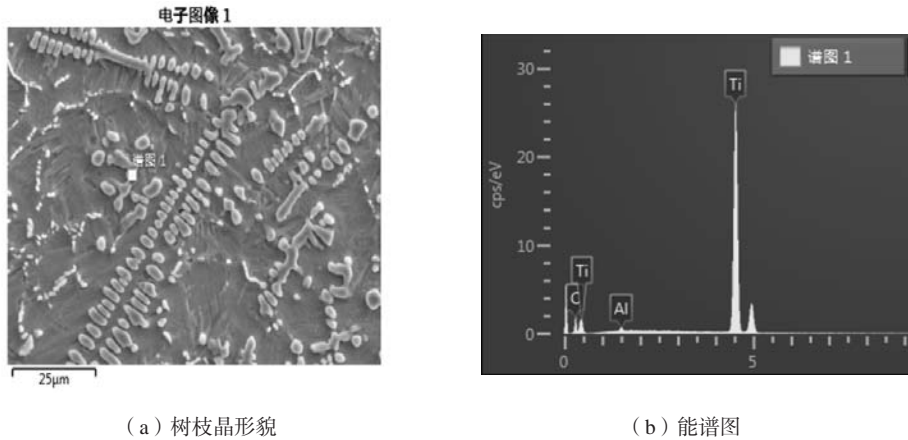


(a) 低倍

(b) 高倍

图3 过渡区金相组织

Fig. 3 Metallographic structure of transition zone



(a) 树枝晶形貌

(b) 能谱图

图4 TiC树枝晶形貌及能谱分析

Fig. 4 Morphology and EDS analysis of dendritic TiC

枝晶是在氩弧熔覆过程中，钛和碳在电弧作用形成的高温下原位反应生成的TiC相^[11]。

在500倍下观察过渡区形貌（图3b）可以看出，在过渡区内约80 μm宽的区域，存在少量初生TiC枝晶，这些枝晶比较细小，呈现出短条形或颗粒状形态，没有生长出二次枝晶臂。这主要是由于在电弧形成的熔池底部的碳元素含量相对较少，并且受基体冷却作用的影响较大，初生碳化钛没有热力学条件继续生长成枝晶，而只能形成等轴或近等轴的短条状或颗粒状。从图片中可以看到，融合区内除初生TiC相外，还有明显的细条状α-Ti相存在，其尺寸介于熔覆层与基体内的α相之间，这些α相是熔覆层与基体之间冶金结合的产物，在两者之间起到了很好的连接作用。

2.3 熔覆层硬度特性

熔覆层的硬度是反映其耐磨性的重要指标，因此需要对试样截面不同位置进行显微硬度分析，其硬度分布曲线如图5所示。从曲线中可以看出，整个试样截面的硬度呈梯度分布，熔覆层硬度最高，最高可达

HV_{0.05}443；基体硬度在约HV_{0.05}321。熔覆层的平均硬度为HV_{0.05}428.8，相比铸态的基体组织提高了33%。过渡区的硬度在HV_{0.05}401~323之间，而在过渡区与基体之间存在宽度为0.8 mm的硬度降低区，这主要是由于该区域内几乎没有TiC相，并且属于熔焊的热影响区，因此其硬度相比基体略有降低。

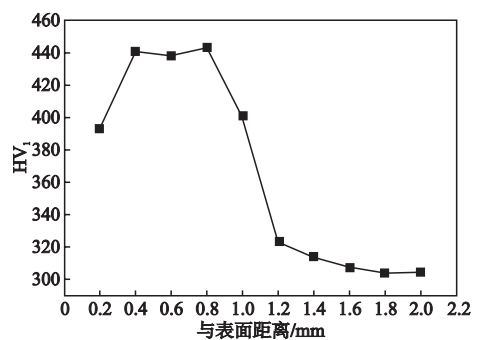


图5 熔覆层截面硬度分布曲线

Fig. 5 Hardness distribution of cladding layer section

3 结论

(1) 在铸造钛合金表面预置石墨粉, 采用氩弧熔覆方法, 可将预置的石墨粉与钛合金基体通过原位反应生成以TiC为增强相的钛基复合材料熔覆层。

(2) 熔覆层内主要包含TiC和 α -Ti两种相, TiC相以树枝晶形貌在熔覆层中弥散分布。

(3) 熔覆层显微硬度最高可达HV_{0.05}443, 相比铸态的基体提高了33%。整个熔覆层截面的硬度呈梯度分布。

参考文献:

- [1] 李勇. 钛合金发展现状及展望 [J]. 工艺与设备, 2018 (1): 216-217.
- [2] 费有静. 钛及钛合金材料的应用分析 [J]. 新材料产业, 2017, 3: 15-18.
- [3] 原国森, 究利鹏, 韩艳艳. 钛合金的应用进展 [J]. 热加工工艺, 2017, 46 (4): 13-16.
- [4] 张晓丹. 国内外钛合金研究及应用现状 [J]. 新材料产业, 2017 (3): 7-10.
- [5] 张文毓. 钛合金表面耐磨处理技术研究现状 [J]. 全面腐蚀控制, 2017, 31 (2): 25-29, 87.
- [6] 付颖, 张艳, 包星宇, 等. 钛合金表面耐磨涂层研究进展 [J]. 中国腐蚀与防护学报, 2018, 38 (2): 117-123.
- [7] 孟君晟, 吉泽升. TC4合金氩弧熔覆Ni60+B4 C复合涂层组织及耐磨性 [J]. 材料热处理学报, 2013, 34 (3): 140-144.
- [8] 何波, 兰姣姣, 杨光, 等. 激光原位合成TiB-TiC颗粒增强钛基复合材料的组织与其耐磨性能 [J]. 稀有金属材料与工程, 2017, 46 (12): 3805-3810.
- [9] 杨光, 王向明, 王维, 等. 激光熔覆制备TiC颗粒增强涂层的组织和性能 [J]. 红外与激光工程, 2014, 43 (3): 795-799.
- [10] 宋思利, 邹增大, 王新洪, 等. 钨极氩弧熔敷技术制备含TiC颗粒增强涂层的研究 [J]. 山东大学学报(工学版), 2006, 36 (3): 1-4, 12.
- [11] 王振廷, 陈丽丽, 张显友. 钛合金表面氩弧熔覆TiC增强复合涂层组织与性能分析 [J]. 焊接学报, 2008, 29 (9): 43-45.
- [12] 王振廷, 高红明, 梁刚, 等. Ti6Al4V合金表面氩弧熔覆原位合成TiC-TiB₂增强钛基复合涂层组织与耐磨性 [J]. 稀有金属材料与工程, 2012, 41 (7): 1259-1262.
- [13] 牛静, 张立文, 张全忠, 等. BT20钛合金电火花沉积TiC涂层的微观组织研究 [J]. 金属热处理, 2006, 31 (4): 59-61.

Study on Titanium Matrix Composites by Argon Arc Cladding on the Surface of Cast Titanium Alloy

YOU Tao, CHAI Neng, LI Wei, GAN Zhi-wen, YAO Qian, WANG Hong-feng, ZHANG Chun-hui
(Shenyang Research Institute of Foundry Co., Ltd., Shenyang 110022, Liaoning, China)

Abstract:

The titanium matrix composite cladding layer with thickness of about 1 mm could be fabricated by using argon arc cladding technique to prefabricate graphite powder on the surface of cast ZTA15 titanium alloy. In the cladding layer, the main phases were α -Ti and TiC, and the TiC phases were dispersed with dendritic morphology. The microhardness of the cladding layer was up to 443 HV_{0.05}, with an increase of 33% compared with that of the as-cast matrix.

Key words:

ZTA15; argon arc cladding; TiC; titanium matrix composites