

镁合金表面 TIG 熔敷 Al_2O_3 增强复合涂层组织及性能研究

姚 军, 林文光, 李锦玉, 韩永全

(内蒙古工业大学 材料科学与工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010051)

摘 要:采用脉冲钨极氩弧(TIG)熔敷工艺,对 AZ91HP 镁合金表面熔敷 $\text{Al}-\text{Al}_2\text{O}_3$ 涂层的组织结构、耐腐蚀性、显微硬度和磨损形貌进行了研究。结果表明,在电流为 150 A、电弧移动速度 100 mm/min 时,基体材料表面能够形成由细密的组织中均匀分布的 Al_2O_3 颗粒相组成的熔敷层;该熔敷层明显改善了 AZ91HP 镁合金在 $w(\text{NaCl})=3.5\%$ 溶液中的耐腐蚀性能,同时提高了镁合金表面的显微硬度和耐磨损性能。

关键词:AZ91HP 镁合金; 组织结构; 耐蚀性; 耐磨性

中图分类号: TG 174.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2009)12-0096-03

Study on Microstructure and Properties of Compound Coating on Surface of AZ91HP Alloy by Tungsten Inert Gas Arc Process

YAO Jun, LIN Wenguang, LI Jinyu, HAN Yongquan

(College of Material Science and Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Huhhot 010051, China)

Abstract: Surface cladding was carried out by pulse Tungsten Inert Gas arc welding process on the surface of AZ91HP alloy. The microstructure characterization, corrosion resistance, wear resistance and micro-hardness of the coating were examined by SEM and XRD. The results show that the homogeneous Al_2O_3 particles which distributed in cladding layer are formed on the dense substrate materials on the condition that current is 150 A and the rate of arc moving is 100 mm/min. This coating obviously improves its corrosion resistance in 3.5 wt% NaCl solution and micro-hardness and wear resistance on the surface of magnesium alloy are also enhanced significantly.

Key words: AZ91HP alloys; microstructure; corrosion resistance; wear resistance

镁合金具有低的密度($1.75\sim 1.85\text{ g/cm}^3$)、较高的比强度和比刚度及优良的阻尼减震性,在工业应用中受到越来越多的重视,尤其是在航空、航天和汽车等领域得到更多的关注。但由于镁合金耐腐蚀性、耐磨性差、强度低,还存在抗氧化性差、抗蠕变性低等严重不足,而且仅仅通过合金化技术又不能加以解决,这些缺点在一定程度上制约了镁合金材料的广泛应用^[1]。目前,许多研究者对镁合金材料表面改性进行了大量研究工作,如阳极氧化处理、化学转化处理、电镀和化学镀等^[2-4],但这些方法大部分涂层较薄,且结合强度较低。近年来,有研究者采用钨极氩弧(TIG)的方法实现了镁合金表面合金化。例如,Ding^[5]采用 TIG 合金化的

方法,在 AZ31 镁合金表面获得了均匀分布的 B_4C 和基体的混合组织,从而提高了材料表面的耐磨性。

在众多的陶瓷材料增强体中, Al_2O_3 由于具有较高的硬度、熔点以及较好的热稳定性,在制备复合材料领域得到了广泛应用。然而,有关利用具有投资和运行费用低、操作灵活等优点的氩弧熔敷方法制备 Al_2O_3 增强复合涂层方法的研究相对较少。本实验通过在 AZ91HP 镁合金表面 TIG 熔敷 $\text{Al}-\text{Al}_2\text{O}_3$ 涂层,对其组织特征、显微硬度、耐腐蚀性和耐磨性能进行了研究。

1 实验材料及方法

基体材料为铸造 AZ91HP 镁合金,试样尺寸为 $200\text{ mm}\times 150\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 。采用不同型号的砂纸机械打磨试样,清除其表面氧化膜,再将试样置于丙酮溶液中清洗并吹干备用。纯 Al 粉($>99.85\%$ 质量分数,粒度 $<30\text{ }\mu\text{m}$)、微米级 Al_2O_3 颗粒(粒度 $<20\text{ }\mu\text{m}$,纯度 $>98.0\%$)等。将铝粉与 Al_2O_3 颗粒

收稿日期:2009-03-10

基金项目:内蒙古工业大学重点科研基金资助项目(ZD200809)

作者简介:姚军(1962-),男,内蒙古兴和人,副教授,博士,主要从事材料表面强化研究;电话:0471-6575752;

E-mail:jun@email.jlu.edu.cn

按质量比 4:1 进行充分混合。采用氩气作保护气体(纯度为 99.99%,流量保持 10 L/min)。所采用的工艺参数为:扫描电流 120 A,电弧电压 30 V,扫描速度 100 mm/min,送粉速度 10 mg/s,脉冲频率 10 Hz,钨极直径 2 mm。

采用 HITACHI 生产的 S3400N 型扫描电镜(SEM)进行显微组织观察,同时利用 D8 advance 型 X-ray 衍射仪对镁合金熔敷层进行成分分析。参考 ASTM B117 标准,在 $w(\text{NaCl})=3.5\%$ 的溶液中进行腐蚀实验。在 MM-200 摩擦磨损试验机上测试涂层的摩擦磨损性能实验,对磨偶件采用淬火态的 GGr15 钢环,法向载荷 10 N,磨损时间 10 min。

2 实验结果与分析

2.1 显微组织特征

图 1 是 AZ91HP 镁合金表面脉冲氩弧熔敷 Al_2O_3 陶瓷颗粒和 Al 增强复合涂层横截面的组织形貌。从图 1(a)可看出,A 区为熔敷层,内部组织致密,且细小均匀,它是由在基体 Al 上弥散分布的 Al_2O_3 陶瓷颗粒组成的复合涂层;B 区为 AZ91HP 镁合金,由白色 $\alpha\text{-Mg}$ 和分布于晶界的黑色条状 $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 组成。A 区和 B 区之间的过渡层结合良好,无明显气孔、夹渣、弧坑等缺陷。由图 1(b)可看出,熔敷层中的 Al_2O_3 颗粒均匀地分布在复合层内,没有出现明显的偏聚现象,而且与熔敷层的基体结合较好。

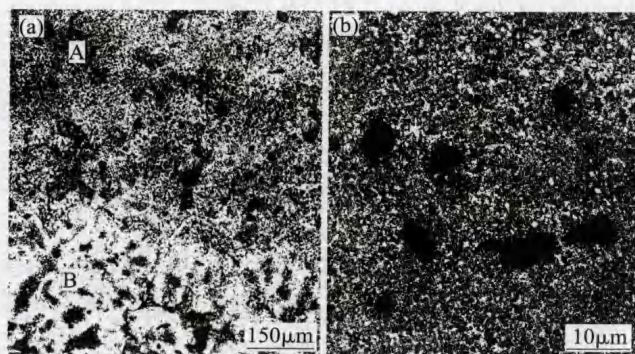


图 1 Al_2O_3 颗粒和 Al 增强 AZ91HP 镁合金表面复合涂层横截面的 SEM 形貌

Fig.1 SEM micrographs of the cross-section microstructure of composite coating with Al_2O_3 particles and Al

2.2 复合涂层的耐腐蚀性能

图 2(a)是 AZ91HP 复合涂层试样在 $w(\text{NaCl})=3.5\%$ 溶液中浸泡 24 h 后的宏观形貌。可见,母材

B 区已经严重腐蚀,表面产生很多腐蚀坑(如箭头所示)和白色的腐蚀产物;熔敷层 A 区虽然也有一层薄的腐蚀产物,但是基本没有腐蚀坑或腐蚀孔洞。图 2(b)是该试样横截面的腐蚀形貌,熔敷层 A 区被腐蚀的很少,呈白色的带状;而暗色的母材 B 区已腐蚀成模糊不清状。腐蚀试验结果说明,经脉冲氩弧熔敷处理的复合涂层耐局部腐蚀的能力要明显好于母材 AZ91HP 镁合金,复合涂层的腐蚀属于均匀腐蚀,而 AZ91HP 镁合金的腐蚀是点蚀。这一方面是由于复合涂层内的微观组织得到显著细化;另一方面熔敷层中作为增强相的 Al_2O_3 颗粒分布在涂层中,它们的存在阻止了腐蚀坑的长大,腐蚀坑较小或很少,因而耐腐蚀性得到提高。

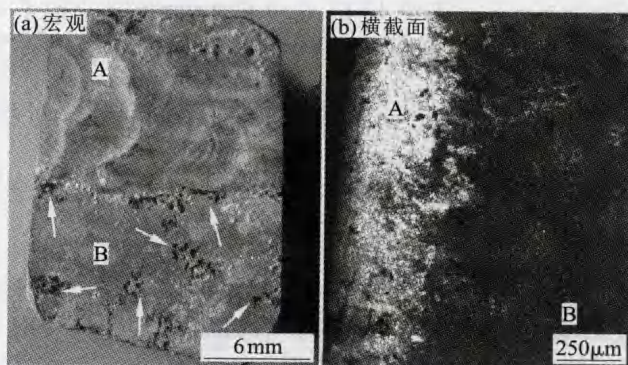


图 2 复合涂层腐蚀试样的表面宏观形貌和横截面腐蚀形貌

Fig.2 Corrosion macrographs of composite coating by TIG of surface and cross-section morphology

2.3 物相组成及显微硬度

图 3 为 AZ91HP 镁合金表面脉冲氩弧熔敷 Al_2O_3 陶瓷颗粒和 Al 涂层的 X 射线衍射(XRD)图谱。可以看出,表面复合层主要由 Al、Mg、 Al_2O_3 和 MgO 等金属和化合物组成。图 4 为表面熔敷试样横截面上沿深度方向的显微硬度。可见,熔敷

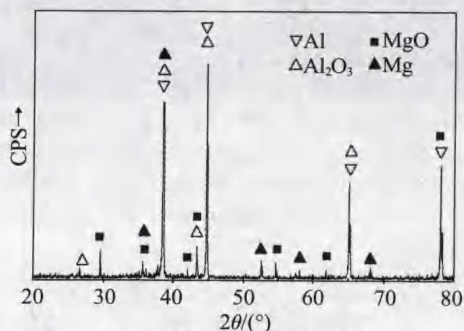


图 3 熔敷层表面 XRD 图

Fig.3 The XRD pattern of composite on the surface of AZ91HP alloy

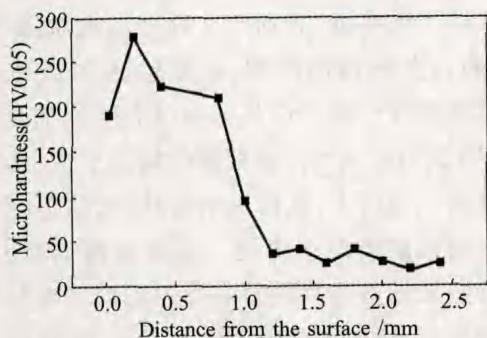


图4 横截面沿深度方向显微硬度

Fig.4 Microhardness profile along depth direction of composite coating

层的硬度较高(180~260 HV0.05),而基体硬度较低(40~80 HV0.05),这表明熔敷复合层的显微硬度较镁合金基体有明显的提高。结合X射线衍射(XRD)结果,分析认为,一方面是由于 Al_2O_3 陶瓷颗粒均匀地分布在熔敷层的基体之中,起到了Orowan弥散强化的作用;另一方面是由于晶粒细化带来的强化作用,以上两方面是熔敷层的显微硬度得到提高的主要原因。

2.4 磨损形貌分析

图5为AZ91HP镁合金和复合涂层表面的磨损形貌。由图5(a)可见,在AZ91HP镁合金磨损表面分布着平行的、连续的和较深的犁沟,并且由于反复的碾压已发生了严重的塑性变形并有少量的塑性流动现象,而且磨损表面上有即将脱落的片状磨屑和明显的疲劳和粘着磨损特征。而在TIG熔敷复合涂层的磨损表面可观察到镶嵌于基体涂层中灰色细小的 Al_2O_3 颗粒,见图5(b),观察

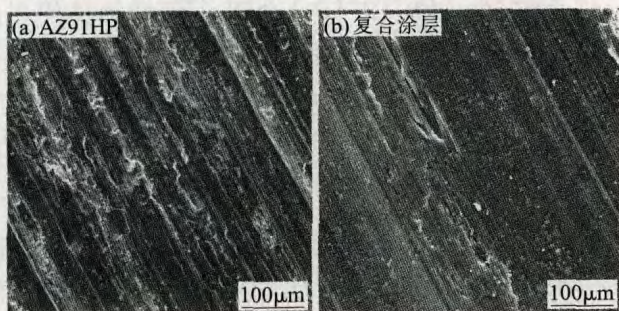


图5 AZ91HP镁合金表面和TIG熔敷层的SEM磨损形貌

Fig.5 SEM micrographs showing the worn surface morphologies of the original AZ91HP alloy and composite coatings by TIG

不到明显的粘着磨损痕迹,只存在少量白色片状或块状磨屑,其磨损表面也未发现有明显的塑性变形,磨脊和犁沟都变得比较平坦。与原始的AZ91HP相比,熔敷复合涂层的耐磨性能得到提高。这是由于 Al_2O_3 颗粒的存在,增加了涂层抵抗变形的能力,起良好的支撑作用,可防止涂层在磨损过程中发生脆性剥落。磨损表面形貌分析表明, Al_2O_3 颗粒的存在延缓了磨屑的形成、破裂及基体涂层的大面积脱落,使粘着磨损减轻。这也证实了 Al_2O_3 颗粒很好地发挥抵抗氧化及粘着磨损的作用,使熔敷层材料具有比镁合金更高的耐磨性。

3 结论

(1) 采用钨极氩弧在AZ91HP镁合金表面熔敷 $\text{Al}+\text{Al}_2\text{O}_3$ 的工艺,得到了内部组织致密细小的和由在熔敷层中均匀分布的 Al_2O_3 陶瓷颗粒组成的复合涂层。

(2) 浸泡腐蚀试验表明,与未处理的镁合金表面相比,经脉冲氩弧熔敷的部分在 $w(\text{NaCl})=3.5\%$ 腐蚀液中表现出较好的耐腐蚀性能。

(3) 由 $\text{Al}+\text{Al}_2\text{O}_3$ 所组成的复合涂层明显地改善了镁合金的表面硬度,平均硬度为170 HV0.05,且沿层深方向呈梯度分布;涂层在室温干滑动磨损条件下的耐磨性明显优于镁合金基体。

参考文献:

- [1] 梁国刚,苑少强. AZ31B镁合金TIG焊接工艺研究[J]. 热加工工艺, 2008, 37(7): 98-100.
- [2] 姚军,孙广平,林文光. AZ91D镁合金激光熔覆 $\text{Al}+\text{Al}_2\text{O}_3$ 涂层的界面特征[J]. 热加工工艺, 2006, 35(19): 32-34.
- [3] 刘帅,殷锦捷,张雯,等. 激光合金化对AZ91D镁合金力学性能的影响[J]. 热加工工艺, 2009, 38(2): 34-37.
- [4] 周全,陈乐平. Sr细化AZ91D合金部分重熔过程的组织演变[J]. 热加工工艺, 2008, 37(23): 9-12.
- [5] Ding W B, Jiang H Y, Zeng X Q, et al. The surface modified composite layer formation with boron carbide particles on magnesium alloy surfaces through pulse gas tungsten arc treatment [J]. Applied Surface Science, 2007, 253: 3877-3883. ■

欢迎订阅 欢迎赐稿 欢迎刊登广告