

# Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>对激光熔覆Ni基涂层性能的影响

况军, 徐艳菊

辽宁工程技术大学材料科学与工程系, 辽宁阜新(123000)

**摘要:** 本实验研究了在Ni60 合金粉末中添加Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末, 采用预置涂层法, 在 45 钢基材表面进行激光熔覆, 得到Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ni金属陶瓷涂层。研究了加入Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末后涂层的显微组织、硬度、耐磨性及耐蚀性。结果表明: 加入Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>后, 合金涂层的显微组织得到了细化, 树枝晶变得更加细小且分布更加均匀; 降低了涂层的磨损率及雾化后单位面积的增重量, 提高了其耐磨性和耐蚀性。

**关键词:** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 激光熔覆, 硬度, 耐磨性, 耐蚀性

## 1. 引言

激光熔覆目前已成为一种提高材料表面性能的有效手段。尤其是激光熔覆金属—陶瓷复合涂层技术可将金属材料的强韧性与陶瓷材料优异的耐磨、耐蚀和抗氧化性能有机地结合在一起, 能够大幅度提高零件的使用寿命<sup>[1, 2]</sup>。目前, 激光熔覆技术在国外已经广泛用于航天、汽车、冶金、石油、化工、电力、机械、工具以及轻工业, 熔覆技术从开始时的一维熔覆已经发展为三维熔覆快速成型技术, 并可直接制备梯度复合材料<sup>[3]</sup>。近几年国内在Ni基合金粉末中添加碳化物及稀土化合物进行激光熔覆方面做了大量的研究工作。本实验是以 45 钢为基体材料, 在Ni60 合金粉末中分别添加质量分数为 10%, 20%, 30%, 40%的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末, 利用TLM3200TM激光焊接机在其表面熔覆一层Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ni金属陶瓷涂层。观察SEM组织形貌并测试涂层的硬度、耐磨性、耐蚀性。通过分析, 获得具有较高硬度、耐磨性、耐蚀性的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ni涂层。

## 2. 实验过程

### 2.1 激光熔覆预处理

#### 2.1.1 基体材料预处理

将机械加工制成 80mm×25mm×12mm的 45 钢试样, 在盐酸溶液中浸泡 10~15 分钟, 除掉试样表面锈渍, 用清水将试样冲洗干净, 干燥后, 用 0<sup>#</sup>砂纸打磨掉试样上残余的锈渍, 再用丙酮将试样表面的杂质清洗干净。

#### 2.1.2 熔覆材料预处理

称 5g Ni60 合金粉末及质量分数分别为 10%、20%、30%、40%的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末。将不同含量的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末分别添加到Ni60 合金粉末中, 在研磨坩埚中研磨 40~50 分钟, 使Ni60 与Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>充分混合均匀。

### 2.2 激光熔覆

本实验采用预置法进行激光熔覆。将混合好的Ni60 和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末放入坩埚中, 加入少量乙醇, 充分搅拌。混合好后均匀地平铺到 45 钢基材上, 厚度大约为 1.0mm, 然后进行激光

熔覆，形成 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量不同的镍基合金熔覆层。

### 3. 实验结果与分析

#### 3.1 激光熔覆层显微组织

不同激光熔覆层的显微组织如图 3-1 所示

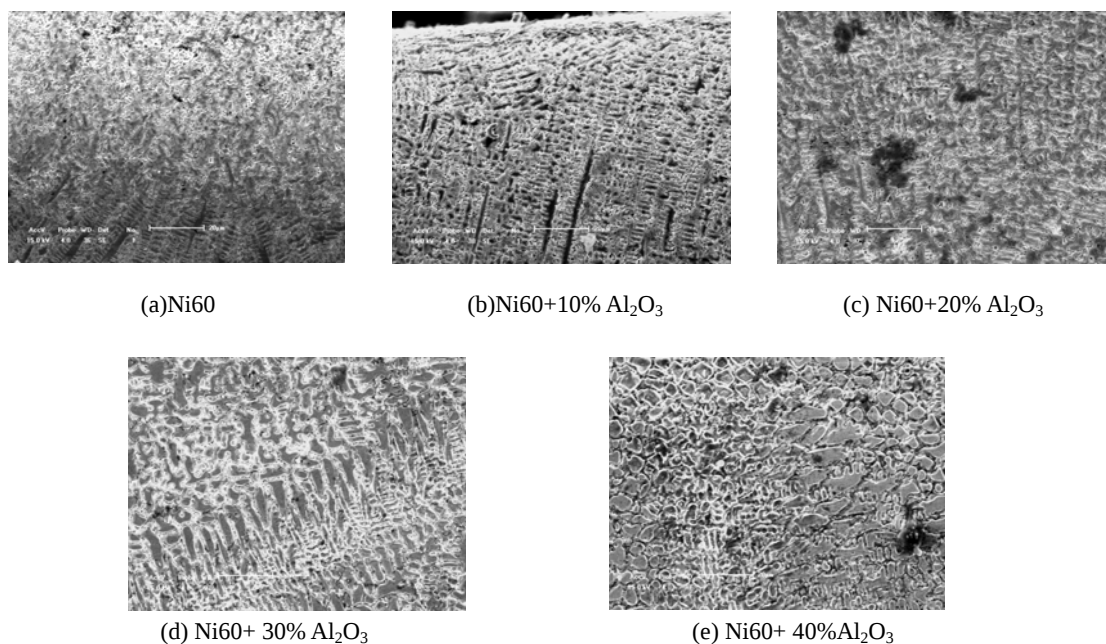
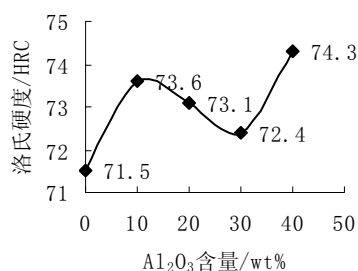


图 3-1 不同激光熔覆层显微组织

由图 3-1 可以看出：Ni60 自熔合金中不加 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 时，组织相对粗大。加入少量 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粉末后， $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$ 合金涂层的显微组织得到了细化。这是由于 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粉末的加入，导致枝晶界面前沿出现更大的过冷，促进液态金属大面积同时形核，形成大量的核心，树枝晶的生长受到了限制。当 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 加入量达到 40%时， $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒的积聚区将扩大，颗粒的分布愈趋均匀，熔覆区的显微组织形貌也随着 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒的分布发生改变。

#### 3.2 激光熔覆层的硬度

将试样的熔覆层用 0<sup>#</sup>砂纸磨平，放在硬度计上依次打出不同 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量的熔覆层硬度。熔覆层洛氏硬度随加入 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量变化趋势如图 3-2 所示。

图 3-2 熔覆层洛氏硬度随 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量变化图

由图可看出: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的加入, 使熔覆层的硬度有所提高。当熔覆层中 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的加入量达到 40% 时, 其洛氏硬度最高。

### 3.3 耐磨性

用 ML-10 磨损试验机测量各熔覆层的耐磨性。

表 3-1 激光熔覆层的耐磨性

| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含量              | 0%   | 10%  | 20%  | 30%  | 40%  |
|------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| 失重 $\Delta m/\text{mg}$                        | 26.9 | 26.4 | 29.9 | 26.2 | 27.5 |
| 磨损率 $\varepsilon/\text{mg}\cdot\text{mm}^{-2}$ | 0.83 | 0.68 | 0.71 | 0.78 | 0.66 |

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的加入降低了熔覆层的磨损率, 使熔覆层的耐磨性提高。随着 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量的升高, 熔覆层磨损率逐渐增加。但当 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量达到 30% 时, 熔覆层磨损率最高; 而当含量为 40% 时, 其熔覆层的磨损率又下降, 且此时的磨损率  $\varepsilon$  最小, 即熔覆层的耐磨性最好。

Ni 基合金粉末中存在大量的合金元素, 加入 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 进行激光熔覆, 促使合金元素大量地熔入枝晶中起到固溶强化的作用, 产生第二相强化。加入 40% 的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 后, 由于 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 颗粒增多, 弥散强化作用增强, 使得熔覆层的磨损率减小, 其耐磨性最好。

### 3.4 耐蚀性

本实验在浓度为 0.5mol/L 的 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中测得的不同熔覆层的阳极极化曲线, 参比电极为饱和甘汞电极, 辅助电极为 Pt 电极, 将处理好的试样放入浓度为 0.5mol/L 的 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中测其阳极极化曲线。如图 3-3 所示。

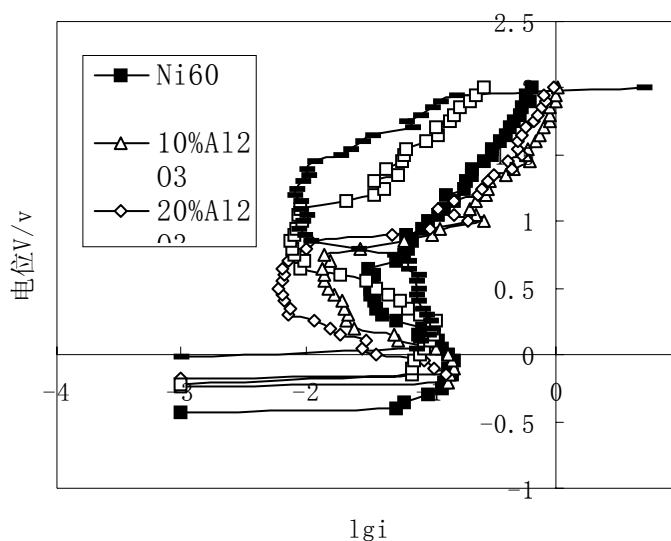


图 3-3 不同熔覆层的阳极极化曲线

由图 3-3 可以看出, 激光熔覆层都出现了较为明显的钝化现象。加入 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 后, 致钝电流密度和维钝电流密度都减小, 钝化区范围扩大, 耐蚀性能得到了明显提高。当 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量为 40%时熔覆层耐蚀性能最好。这是由于耐蚀性能的提高与 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的加入有关。 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的加入, 增加了熔覆层中枝晶的固溶强化作用, 降低了熔覆层中夹杂物的百分含量, 同时使表面活性点减少或者消失, 表面电位趋于一致, 降低了微观原电池数目。这种有利于改善其耐蚀性能的因素的影响大于界面增多带来的不利影响, 使涂层耐蚀性升高。

## 4. 结论

- 1) 加入 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 后, 熔覆层的显微组织得到了细化, 树枝晶变得细小而且分布均匀。当 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的加入量为 40%时, 组织中分布着许多均匀的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒, 改善了熔覆层的性能。
- 2) 受合金熔体流动特性的影响,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒发生沉积。随着 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 加入量的增大, 在熔覆层中的弥散强化作用增强, 使熔覆层的硬度和耐磨性得到了提高。
- 3) 加入  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 后, 微观腐蚀电池的数目减少, 提高了熔覆层的耐蚀性。
- 4) 加入质量分数为 40%的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 时, 熔覆层的综合性能最好。雾化后涂层单位面积增重为  $1.15\text{mg}/\text{mm}^2$ , 较不加 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的Ni60 合金涂层降低了约 48.5%。

## 参考文献

- [1] 关振中,卜宪章,刘要武.激光表面熔覆的现状 & 工业应用展望[J].焊接研究与生产,1995,4(2):38~43.  
[2] 孟庆武,秦学民,万泰力.金属表面激光熔覆技术在油田的应用[J].油气田地面工程,2003,22(1):63~64.  
[3] 彭玉娟,张伟强,李赫亮, (等) .激光熔覆 Ni60 在抽油泵柱塞上的应用[J].热加工工艺,2005,(10):46~47.

## EFFECTS OF $\text{Al}_2\text{O}_3$ ON Ni-BASED COATING BY LASER CLADDING

Kuang Jun, Xu Yanju

Department of Material Science and Engineering, Liaoning technical university, Fuxin Liaoning, China (123000)

### Abstract

The nickel-based alloy powders  $\text{Al}_2\text{O}_3$  addition were laser cladded on 45 steel substrates in the method of pre-deposited coating which was studied. It has been got  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$  metallic ceramic coatings. Microstructure morphology, the hardness, the wear resistance and corrosion resistance of the laser clad alloy coating with  $\text{Al}_2\text{O}_3$  powders have been studied. The result shows that the microstructure of alloy coating was refined and purified after the addition of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  powders, dendrite got more petty and uniform. In addition, the wear rate and increased weight per area after the salt spray corrosion were reduced, the wear resistance and corrosion resistance of clad coating with  $\text{Al}_2\text{O}_3$  addition is enhanced.

**Keywords:**  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; laser cladding; hardness; wear resistance; corrosion resistance