

文章编号: 0258-7025(2003)08-0759-04

# 激光熔覆技术制造热轧辊的钴基合金层研究

姚宁娟, 陆伟, 陈锐, 左铁钊

(北京工业大学激光工程研究院国家产学研激光技术中心, 北京 100022)

**摘要** 采用 6 kW CO<sub>2</sub> 激光器和同步送粉熔覆技术, 在低合金结构钢 20CrMo 上成功地获得大面积的钴基合金涂层。通过金相显微镜, X 射线衍射技术对熔覆层的组织进行了分析, 并测试了显微硬度、抗弯强度、耐蚀性能。结果表明, 钴基合金涂层组织细密, 是由 Co 过饱和固溶体, CrB, M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> 等相组成, 与硬质合金热轧辊相比, 其硬度略微提高, 抗弯强度相当, 耐腐蚀性能更为优越。

**关键词** 金属学; 钴基合金; 激光熔覆; 热轧辊

**中图分类号** TG 665 **文献标识码** A

## Study on Co-based Alloy Coatings of Hot Roller Made by Laser Cladding

YAO Ning-juan, LU Wei, CHEN Kai, ZUO Tie-chuan

(National Center of Laser Technology, Institute of Laser Technology,  
Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China)

**Abstract** A large area of Co-based alloy coatings on alloy structure steel 20CrMo has been successfully obtained by using a 6 kW CO<sub>2</sub> laser and synchronous powder feeding system. By means of metallography and X-ray diffraction, the microstructure of the coating is investigated. The microhardness, bending strength and corrosion resistance are measured. The experimental results show that the cladding layer is of fine dendritic microstructure, the phases of coating are composed of Co-based solid solution, CrB, M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> *et al.*. Compared with cemented carbide hot roller presently, the cladding layer has a little higher microhardness, equivalent bending strength and improved corrosion resistance.

**Key words** metallography; Co-based alloy; laser cladding; hot roller

## 1 引言

冶金热轧辊是钢铁企业轧钢设备上的关键零件。轧辊质量的好坏、使用寿命的长短影响到轧机的作业率和钢材的质量。热轧辊同高达 1000~1100℃ 的红热钢材直接接触, 并受室温冷水的强制冷却, 同时还受到轧件对其抗力的作用, 在这种热、力交变的环境下工作一段时间后, 就会在轧辊表面产生疲劳微裂纹, 室温的冷却水通常呈中性或弱碱性, 对轧辊表面有腐蚀作用, 这种腐蚀作用伴随一定的疲劳条件, 会首先诱发产生腐蚀疲劳开裂, 降低轧

辊的使用寿命; 此外轧辊表面的损坏先从表面裂纹的集结开始, 由于腐蚀的作用, 这些微裂纹就会在表面产生斑点, 降低了轧辊的表面光洁度, 影响钢材的表面质量。所以对于热轧辊来说, 首先要具有良好的耐腐蚀性能, 同时具有良好的硬度和韧性。用 Co 做粘结剂的 WC-Co 硬质合金是金属加工轧辊的主要合金, 使用 WC-Co 硬质合金轧辊尽管具有良好的强度、耐磨性, 但其抗腐蚀和抗氧化性能较低, 对热裂纹敏感, 因而轧辊使用寿命低, 表面光洁度差<sup>[1]</sup>。采用 Co-Cr-Ni 作为粘结剂, 在不损失强度和硬度的情况下, 可显著改善硬质合金的耐蚀性和抗氧

收稿日期: 2002-04-01; 收到修改稿日期: 2002-06-14

基金项目: 北京市科技项目资助(编号: KN270519901)。

作者简介: 姚宁娟(1976.7—), 女, 硕士, 研究方向为激光材料加工。E-mail: njyao@163.com

化性,提高轧辊的使用寿命,改善轧材的表面质量。

激光熔覆技术制造热轧辊是采用同步送粉的大功率激光熔覆技术,在普通结构钢的基体上熔覆性能优异且与基体结合性能好的合金材料,以实现制造热轧辊的新加工技术。钴基自熔性合金粉末具有耐热、耐磨、耐腐蚀、抗高温氧化等优越性能,一般在600℃以上的使用温度仍具有很高的红硬性,有关钴基合金涂层的研究报道不少<sup>[2~6]</sup>,本文针对热轧辊的工作条件,采用自制钴基合金粉末作为熔覆材料,在一定的工艺条件下获得了大面积的激光熔覆层,对其组织和性能进行了研究。

## 2 实验方法

本实验是在 TLF6000t 配 TLC105 型光束五轴联动激光加工机上进行的。图1为装置示意图,激

光器为 6 kW turbo 型射频激励快速轴流 CO<sub>2</sub> 激光器,圆形光斑,同轴吹氮气保护。采用 SF2 型同步自动送粉器,送粉喷头是一种汇聚粉末束的喷粉装置。

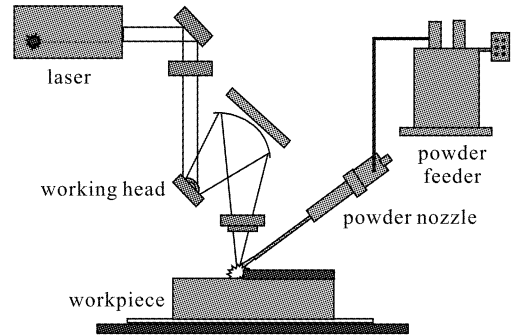


图1 同步送粉激光熔覆装置示意图

Fig. 1 Scheme of one step laser cladding process

表1 钴基合金粉末的化学成分(重量百分比)

Table 1 Chemical compositions (weight percentage) of Co-based alloy powder

Chemical compositions	Cr	W	Ni	Fe	B	Si	Mo	C	Co
wt.-%	20~25	3~6	2~5	3	2.4	1.6	0.2~0.8	0.1	bal

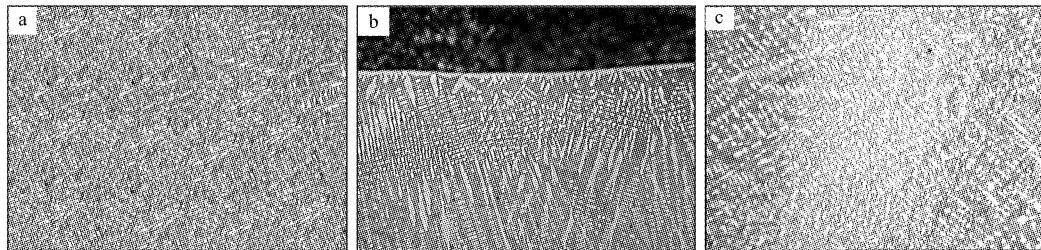


图2 Co基合金层的显微组织

(a) 熔覆表层组织(200×);(b) 界面组织(200×);(c) 搭接处组织(200×)

Fig. 2 Micrograph of the Co-based laser clad layer

(a) micrograph of the clad layer (200×); (b) interface between the clad layer and substrate (200×);

(c) micrograph of the overlapping region (200×)

粉末材料为自制钴基合金粉末,其化学成分见表1。基体为20CrMo,尺寸为120 mm×100 mm×10 mm,热处理状态为热轧态,经铣削加工,金相砂纸打磨,丙酮清洗吹干,然后进行熔覆实验。功率为5000 W,离焦量为75 mm,扫描速度为0.4 m/min,送粉速率为19.7 g/min,预热温度为500℃,送粉器流量为200 L/h,保护气流量为7L/min,大面积熔覆采用多道搭接,搭接率为50%,搭接完一层后再熔覆第二层,每熔覆一层后热温度为550℃,保温时间1 h,最终获得为70 mm×80 mm×5 mm的大面

积搭接涂层。

熔覆试样切割、打磨、抛光后制成试样,在PMG-3金相显微镜上观测熔覆层的组织形貌。用X射线衍射法测试其相组成。HXD-1000型显微硬度计测量硬度,负荷为0.2 kg,加载时间15 s,再用三点弯曲测试抗弯强度。在扫描微电极电位分布测试系统(SMRE)上测试腐蚀性能,电位实验的腐蚀介质为常用的0.01 mol/L NaCl溶液,测试面积为4 mm×4 mm,测试步长定为100 μm,浸泡2 min后开始扫描实验,试样扫描一遍用时约10 s。

### 3 实验结果分析

#### 3.1 钴基合金层的组织分析

钴基合金熔覆层表层的显微组织如图 2(a) 所示,为细密的树枝晶。熔覆层和基材结合界面的组织见图 2(b),图中熔覆层与基体间存在一条结合带,它是激光熔覆中基材表面熔化层与熔融的熔覆层合金短暂液态扩散的产物,它说明钴基合金熔覆层与基体间形成良好的冶金结合。在带状区前沿为沿热流方向而形成的胞状晶。随着距交界面距离的增加,由胞状晶转变为粗大树枝晶。图 2(c)中的白亮带为不同搭接层和搭接处组织,图中可以看出,其组织为沿不同冷速生长的枝晶。由 X 射线衍射(XRD)测试结果(图 3)可知,Co 基合金涂层组织主要是由  $\gamma$ -Co 和  $\alpha$ -Co 过饱和固溶体, CrB,  $M_{23}C_6$ ,  $M_{23}(CB)_6$ ,  $M_2B$  相组成。

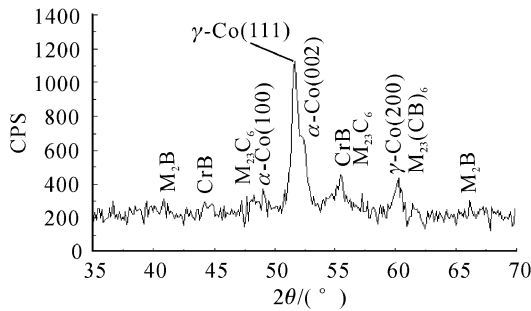


图 3 Co 基合金层的 X 射线衍射图谱

Fig. 3 X-ray diffraction spectrum of Co-based clad layer

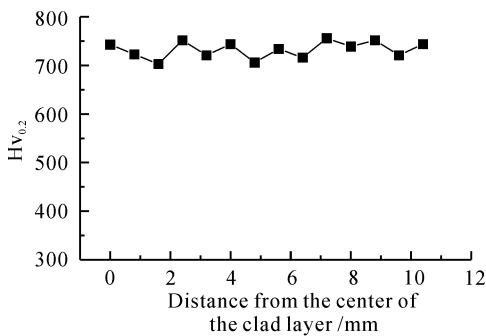


图 4 距表面 1 mm 处熔覆层的水平硬度分布

Fig. 4 Level microhardness distribution of 1 mm distance from the surface

#### 3.2 钴基合金层的硬度和抗弯强度

在整个大面积搭接涂层的横截面上,距涂层表面下 1 mm 处从截面中央向一侧的水平硬度测试结果如图 4 所示,由图可见,大面积搭接涂层水平硬度分布比较均匀,平均达  $Hv_{0.2} 720$ ,比目前硬质合金

热轧辊的硬度略高。抗弯强度是金属韧性的量度,特别是在机械震动和冲击时的抗断裂性能,三点弯曲测试结果如图 5,自制钴基合金层与硬质合金相比,抗弯强度与硬质合金相当。

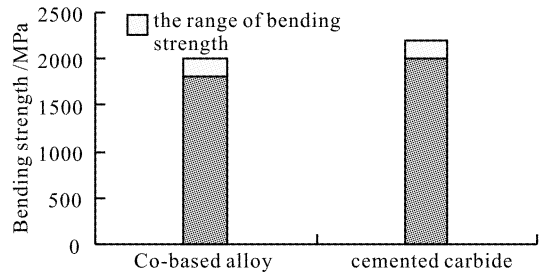


图 5 Co 基合金层和硬质合金的抗弯强度

Fig. 5 Bending strength of Co-based clad layer and cemented carbide

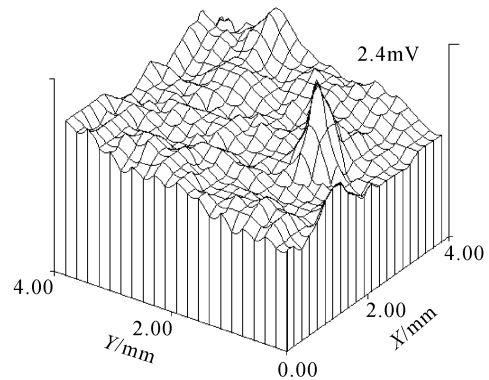


图 6 硬质合金的电极电位分布

Fig. 6 Electrode potential distribution of cemented carbide

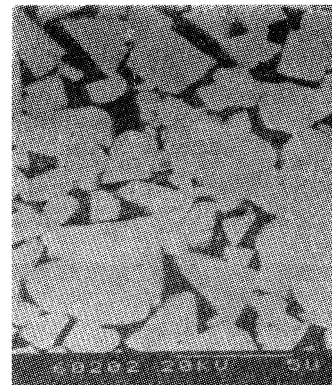


图 7 硬质合金的金相组织

Fig. 7 Metallurgical photograph of cemented carbide

#### 3.3 钴基合金层的耐腐蚀性能

图 6 和图 8 分别为 SMRE 实验测得的轧辊用的硬质合金和钴基合金试样表面的电极电位分布三

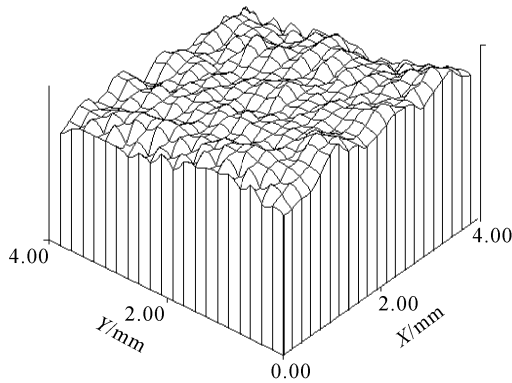


图 8 Co 基合金层的电极电位分布

Fig. 8 Electrode potential distribution of Co-based clad layer

维图像,图中 X 轴和 Y 轴表示试样的尺寸大小,Z 轴表示实验所测试样表面腐蚀电位的大小,Z 轴的正方向表示腐蚀电位的增大方向,数值越高表示腐蚀倾向越大,图中标电极为最高腐蚀电位。

从图 6 可以看出,硬质合金试样表面的活化点非常明显,腐蚀电位峰值达到 2.4 mV,其原因是硬质合金的烧结组织主要由 WC 和 Co 组成,其中 Co 作为粘接相使用,但是 WC 和 Co 在介质中的电极电位相差较大。如 Co 的标准电极电位是 -0.277 mV,而 WC 在不同介质中的电极电位为 0~+0.4 mV。当二者处于同一介质中时,由于二者的电位差异会形成腐蚀微电池,电位更负的会成为阳极而优先受到选择性腐蚀,这样就会在试样表面形成腐蚀活化点。图 7 是硬质合金的金相照片,其中不规则多边形的物相为 WC,而围绕其间的是 Co。由图可见 Co 所占的面积比 WC 要小得多,这种小阳极、大阴极的腐蚀微电池会使阳极的活化点腐蚀加速进行。而在轧辊热、力疲劳的恶劣工作环境下,这些腐蚀活化点会成为腐蚀疲劳开裂的起始点。

Co 基合金层表面的电极电位分布均匀(图 8),最高腐蚀电位仅为 0.7 mV。既无大的电位变化梯度,又无明显的腐蚀活化点,在介质中形成的腐蚀微电池比上述两者弱得多,在介质中形成的腐蚀微电池微弱得多,腐蚀倾向小。这是因为经激光熔覆而形成钴基合金层显微组织细小均匀,不仅减少了单

位晶界上的杂质含量,而且快速冷却中成分偏析程度降低,减少了形成原电池的倾向,另一方面钴基合金层含较多的抗腐蚀元素 Cr,从而提高了钴基合金层的耐腐蚀性能。

## 4 结 论

1) Co 基合金涂层组织细密,与基体间形成了良好的冶金结合,主要是由 Co 的过饱和固溶体, CrB,  $M_{23}C_6$ ,  $M_{23}(CB)_6$ ,  $M_2B$  相组成;

2) 自制钴基合金层与目前硬质合金热轧辊相比,硬度略高,抗弯强度相当;

3) 硬质合金组织中 WC 和 Co 的电位不同易形成腐蚀微电池;WC 和 Co 面积差异形成的小阳极、大阴极会加速腐蚀,从而降低了硬质合金的耐蚀性能。而自制钴基合金层组织细密均匀,电位分布均匀;且含 Cr 抗腐蚀元素,因而有较为优越的耐蚀性能。

## 参 考 文 献

- 1 Liu Guangjun. The development of cemented carbide roll for metal processing [J]. *Cemented Carbide* (硬质合金), 1994, **11**(1):44~52 (in Chinese)
- 2 Huang Guanghui, Gao Niansun, Wang Yaoke. A study of the microstructure of laser-clad Co-Cr-Ni alloy [J]. *J. Huazhong Univ. of Sci. & Tech.* (华中理工大学学报), 1995, **23**(12): 81~85 (in Chinese)
- 3 J. L. de Mol van Otterloo, J. Th. M. De Hosson. Microstructure and abrasive wear of cobalt-based laser coatings [J]. *Scripta Materialia*, 1997, **36**(2): 239~245
- 4 Zeng Dawen, Wang Maoqiu, Xie Changsheng. Microstructural characteristics of a laser clad Co-base alloy [J]. *Rare Metal Materials and Engineering* (稀有金属材料工程), 1998, **27**(2):87~91 (in Chinese)
- 5 Zhang Song, Zhang Chunhua, Sun Taili *et al.*. Study on microstructure and corrosion resistance of laser cladding Co-based alloy [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2001, **A28**(9):860~864 (in Chinese)
- 6 Chen Hao, Liu Chuanyun, Pan Chunxu *et al.*. Study on solidification microstructure and properties of cobalt-based alloy laser cladding layer [J]. *Heat Treatment of Metals* (金属热处理), 2001, **26**(12): 10~13 (in Chinese)