

铬铸铁表面激光熔敷 Ni-Al-WC 合金层及组织性能研究

刘文科¹, 柏朝茂²

(1. 中国工程物理研究院 核物理与化学研究所, 四川 绵阳 621900;
2. 中国工程物理研究院 材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要:研究了铬铸铁表面激光熔敷 Ni-Al-WC 合金层及其组织性能, 分析了熔敷层的化学成分、相的组成、显微结构、平均显微硬度、耐磨性及耐蚀性等。结果表明: 熔敷层与基体完全实现了冶金结合, 其化学成分、显微组织发生了根本性转变, 使表面硬度、耐磨性和耐蚀性得到了较大幅度的提高。

关键词: 铬铸铁; 激光熔敷; Ni-Al-WC 合金层; 组织性能

中图分类号: TG178 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6931(2002)04/05-0450-04

Study on Laser-cladding Ni-Al-WC Alloy Layer on the Surface of Chrome Cast Iron and Alloy Layer's Micro-structure and Properties

LIU Wen-ke¹, BAI Chao-mao²

(1. Institute of Nuclear Physics and Chemistry, China Academy of Engineering and Physics, Mianyang 621900, China;
2. Institute of Material, China Academy of Engineering and Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: Laser-cladding Ni-Al-WC alloy layer on the surface of chrome cast iron and alloy layer's micro-structure and properties are studied. The chemical composition, the phase structure, the average micro-hardness, the wear resistance and the corrosion resistance are analyzed for the Ni-Al-WC and the matrix, respectively. The results show that the metallurgical combination is achieved between the spray alloy layer and the surface of chrome cast iron, the chemical composition and micro-structure in the surface layer of the specimen are changed basically, and the micro-hardness, the wear resistance, the corrosion resistance in the surface layer are increased with a large range.

Key words: chrome cast iron; laser-cladding; Ni-Al-WC alloy layer; micro-structure

铬铸铁是某些汽缸套、活塞环、轴承、刀具和齿轮等的所用材料^[1]。激光熔敷(又称激光涂敷、激光熔覆)是对铸铁表面进行强化处理的一项改性技术,能够更好地控制表层的成分和

厚度,得到完全不同于基体的表面合金层,以达到耐磨耐腐蚀的目的^[2]。国外已在铸铁上激光熔敷了 Cu 合金层^[3]和在铁基体上激光熔敷 Cr + 铸铁粉末^[4];清华大学对汽缸套内表面进

收稿日期:2001-08-25;修回日期:2001-11-20

作者简介:刘文科(1968—),男,四川阆中人,工程师,在读博士研究生,核燃料循环与材料专业

行了 Ni-Cr-WC 的激光熔敷^[5]、自动送粉装置^[6,7]及大面积激光自动熔敷系统和转镜宽带激光熔敷方面的研究^[8]。在铬铸铁表面上激光熔敷 Ni-Al-WC 合金层,目前在国内外尚未见报道。本工作探索对铬铸铁表面进行激光熔敷 Ni-Al-WC 合金层处理的可能性。

1 实验

1.1 激光熔敷层的制备

选择汽缸套 ($\phi 105$ mm \times 2 mm, 高 200 mm) 作为实验用的铬铸铁材料,其化学成分组成为 Fe_{95.75}Cr_{0.25}Mn_{0.70}Si_{1.52}P_{0.19}C_{1.44}。先对汽缸套的外表面进行喷砂及清洁处理,再用 9M 型等离子喷涂系统设备在流动氩气保护下对汽缸套预处理表面进行粉末喷涂,粉末配方为 88%Ni(Al) + 12%WC(Ni(Al) 中 Al 含量为 (10.0 \pm 1.5)%,杂质含量小于 1.0%),所得喷涂层厚度约 0.3 mm。喷涂的工艺参数为:转速 45 r/min;功率 30 kW;送粉率 2.268 kg/h;喷枪速度 8 mm/s;喷距 100 mm;振动气压 0.10 MPa;工作气体流量 Ar 为 0.52 MPa, H₂ 为 0.36 MPa。最后,用 5 kW CO₂ 激光器产生的激光束对喷涂层进行熔敷处理,得到激光熔敷层。熔敷层的表面平整光滑。激光熔敷的工艺参数列于表 1。

表 1 激光熔敷工艺参数

Table 1 Processing parameter of laser-cladding layer

编号	激光束形状	输出功率/ kW	功率密度/ (W \cdot mm ⁻²)	扫描速度/ (mm s ⁻¹)
1-3 [#]	窄带 ($\phi 3$ mm)	2.5	354	6.8
1-5 [#]	宽带 (20 mm \times 1 mm)	3.5	175	10.2

1.2 熔敷层表面分析测试

分析熔敷层的化学成分、微观形貌、熔敷层与基体之间的结合状态等采用 KYKY-1010B 型扫描电镜;分析喷涂层和溶敷层的相结构利用 Y-4Q 型 X 射线衍射仪;测试表面显微硬度利用 HXD-1000 型显微硬度计;测试表面耐磨性利用 PMJ- 型平面磨耗试验机;计算基体和熔敷层的腐蚀速度采用失重法。

2 结果与讨论

2.1 喷涂层和熔敷层的化学成分和相结构

对喷涂层和熔敷层进行能谱分析得到喷涂层的化学组成为 Ni_{70.57}Al_{10.52}C_{4.23}O_{8.66}W_{6.01}, 熔敷层为 Ni_{70.95}Al_{11.61}C_{4.06}O_{10.69}W_{4.13}。由它们的组成可知,熔敷层的氧化状况较喷涂层严重。喷涂层和熔敷层的 X 射线衍射 (XRD) 分析结果(图 1、2)表明:喷涂层和溶敷层的物相均为 Ni(Al) (Al 固溶于 Ni 中的合金相)、Ni₃Al、WC、NiAl、NiO、WC_x、WO₃ 等;喷涂层和熔敷层的各物相的 XRD 谱峰高度略有差异,即其各物相的含量不尽相同。

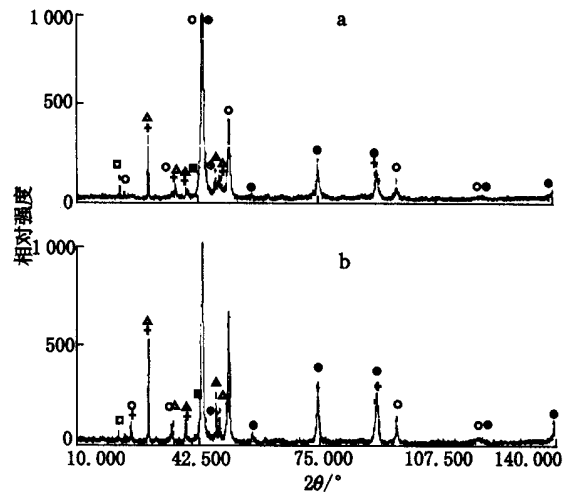


图 1 喷涂层(a)和熔敷层(b)的 XRD 谱

Fig. 1 Spectra of XRD of spraying layer(a) and laser-cladding layer(b)

—Ni(Al); +—NiAl; —WC_x; —NiO;
—Ni₃Al; —WC; —WO₃

2.2 熔敷层的显微组织分析

将激光熔敷后的样品(1-3[#])沿横向剖开,经预磨、抛光和侵蚀(侵蚀剂为 70 mL 醋酸 + 30 mL 硝酸 + 0.5 mL 盐酸)后,用 KYKY-1010B 型扫描电镜观察其显微组织。结合能谱分析微区组成和相结构,在扫描电镜观察中观测到样品呈现 3 个不同的区域,即基体区、热影响区和熔敷区(图 2)。

1) 基体区(图 3a) 主要由珠光体和片状菊花形石墨加少量磷共晶组成。

2) 热影响区(图 2) 加热温度高于铸铁基体的奥氏体化温度时,热影响区内基体奥氏体

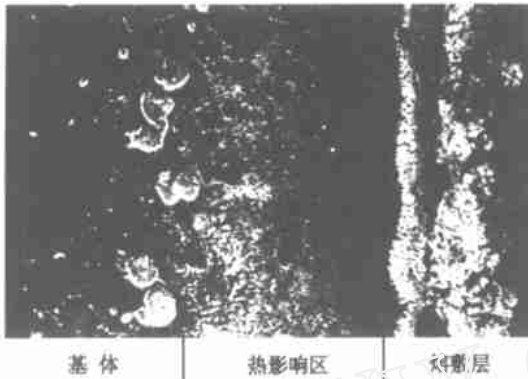


图2 1-3[#]3个区域的显微组织
Fig. 2 Micro-structure of three parts
in 1-3[#] specimen

化,冷却时发生马氏体相变。由于热传导的作用,相变区内随层深增加出现大的温度梯度,因而组织随层深发生明显变化。在接近微熔区,加热温度接近铸铁熔点,原始组织中的石墨、磷共晶向周围基体中溶解,石墨附近微区碳浓度剧增,马氏体转变温度点下降,出现明显的高碳针状马氏体和大量残余奥氏体。因加热时间短暂,从石墨到远离石墨处存在明显的碳浓度梯度,因而形成黑色团状组织,团的边缘可见针状马氏体组织,向团的中心过渡,温度逐渐降低,基体组织微区浓度差异已不十分明显,基体组织为细小隐针马氏体和残余奥氏体。从图2可知,熔敷层与基体之间完全实现了冶金结合。

3) 熔敷区(图3b) 从显微组织可看出,熔敷层致密,无裂纹空洞等缺陷。熔敷层的主要物相为表面凹凸的黑色Ni(Al)相、表面平整的灰色Ni₃Al、白色团絮状和细小白条的WC和WC_x相、白色的晶粒边界或细小的NiAl相、NiO、WO₃相弥散分布在Ni(Al)、Ni₃Al、NiAl相之间。

2.3 基体和熔敷层的平均显微硬度

基体和熔敷层的平均显微硬度分别为2.47和3.31 GPa,熔敷层的显微硬度是基体的1.34倍。这是因为:1) 熔敷层中存在分布较为均匀的显微硬度高的WC、WC_x等硬质相,它们弥散分布,起弥散强化作用;2) 熔敷层中存在Ni(Al)、Ni₃Al、NiAl等合金相,它们起合金化强化和固溶强化作用。

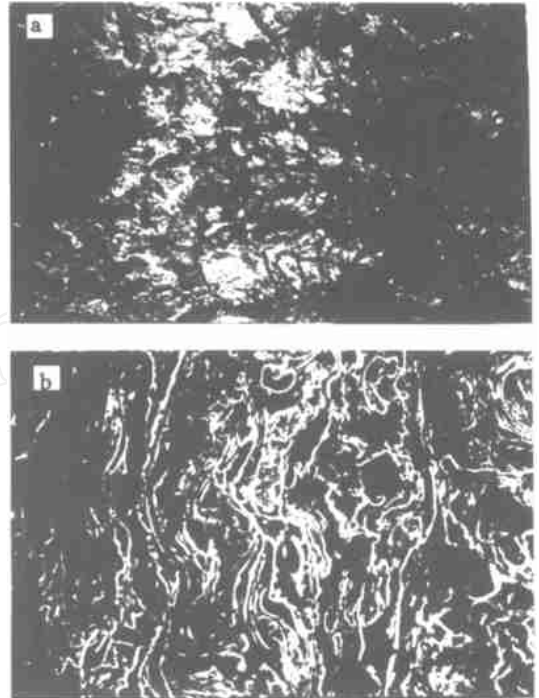


图3 基体(a)和熔敷层(b)的显微组织
Fig. 3 Micro-structure of matrix(a)
and laser-cladding layer(b)

2.4 基体和熔敷层的耐磨性

耐磨性用公式 $WR = N / m$ 进行计算。式中:WR为耐磨性;N为磨损次数;m为失重量。

将实验测得的不同磨损次数下的基体和熔敷层的摩擦阻力进行线性拟合,对基体,拟合方程 $y = 62.30 + 0.0049x$,相关系数为0.9917,10000次磨损后摩擦阻力拟合值为 $111 \text{ N} \cdot \text{mg}^{-1}$,而实测值为 $109 \text{ N} \cdot \text{mg}^{-1}$;对熔敷层,拟合方程 $y = 67.61 + 0.0284x$,10000次摩擦阻力拟合值为 $352 \text{ N} \cdot \text{mg}^{-1}$,而实测值为 $345 \text{ N} \cdot \text{mg}^{-1}$ 。由此可见:熔敷层的摩擦阻力是基体的3.1倍,原因是熔敷层中的硬质相WC、WC_x和Ni(Al)、Ni₃Al、NiAl等合金相提高了耐磨性。

2.5 基体和熔敷层的耐蚀性

将称量过的试样置于5%的H₂SO₄溶液中静态腐蚀12h,试样经清洗干净干燥后,在十万分之一精密电子天平上称取其质量。按下式计算试样的腐蚀速率:

$$v_{\text{loss}} = \frac{(m_0 - m_1)}{St} \quad (1)$$

式中: v_{loss} 为腐蚀速率; m_0 为试样腐蚀前质量 (g); m_1 为试样清除腐蚀产物后的质量 (g); S 为试样表面积 (m^2); t 为腐蚀时间 (h)。

基体和熔敷层的耐蚀性测定结果列于表

表 2 基体和熔敷层的耐蚀性

Table 2 Resistance to corrosion of matrix and laser cladding layer

试样	m_0/g	m_1/g	S/m^2	t/h	$v_{\text{loss}}/(\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1})$
基体	2.821 90	1.691 49	178×10^{-6}	120	53
熔敷层	6.148 79	5.969 08	184×10^{-6}	120	8

3 结论

在铬铸铁表面激光熔敷 Ni-Al-WC 合金层是可行的,熔敷层与基体完全实现了冶金结合。熔敷层的平均显微硬度为基体的 1.34 倍,摩擦阻力为基体的 3.1 倍,耐蚀性为基体的 6.6 倍。明显提高了表面硬度、耐磨性及耐蚀性。

本工作得到了武胜和邹觉生两位老师的指导和帮助,并得到蒋弛、李胜和、王巍、郎定木和王述钢等的工作支持,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 张清. 金属磨损和金属耐磨材料手册[M]. 北京:冶金工业出版社,1991.174~251,321,431.
- [2] 李力钧. 现代激光加工及其装备[M]. 北京:北京理工大学出版社,1993.238~239.

2. 由表 2 可知:熔敷层的耐蚀性是基体的 6.6 倍,原因是熔敷层中存在耐蚀性好的硬质相 WC、 WC_x 和 Ni (Al)、 Ni_3Al 、NiAl 等合金相。

- [3] 杨洗陈,钟敏霖,郑天禧,等. 铜合金的激光熔敷[J]. 中国激光,1994,21(2):152~156.
- [4] Kagawa A, Ohat Y. Utilization of Cast Iron Scraps as a Raw Material for Laser-clad Chromium Carbide Hardfacing[J]. Mater Sci Lett, 1998, 17(2): 99~101.
- [5] 周昌炽,唐西南. 激光表面处理技术[M]. 北京:清华大学激光表面处理实验室,1993.11~14.
- [6] 曾晓雁,朱蓓蒂,陶曾毅,等. 自动送粉激光熔敷装置及其工艺[J]. 中国激光,1993,20(3):210~214.
- [7] 杨洗陈. 大面积激光自动涂敷系统及其工业应用[J]. 激光集锦,1996,6(3):15~20.
- [8] 郑力,张思玉,郑克全. 激光熔覆硬质合金 WC-TiN-CO 特性的研究[J]. 激光技术,1994,18(2):119~122.

(上接第 402 页)

Fe 箔轧至 $25 \mu\text{m}$,在真空中加热至 1 000 ,保持 1 h,冷却后,继续冷轧。上述过程重复多次,直到 Fe 膜达所需厚度。

3) 用甜菜硷作脱膜剂,以 W 舟作蒸发源,制备了用于激光聚变等离子诊断的 X 光滤光片。与其他脱膜剂相比,甜菜硷具有基衬不必加热、能制备的 Fe 膜的厚度范围宽 ($55 \sim 400 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) 等优点。它是制作自支撑 Fe 靶的优良脱膜剂。

参考文献:

- [1] Friebel HU, Frischke D, Grossmann, et al. Target

Preparation Using Reaction With Gases[J]. Nucl Instrum Methods, 1979, 167:9~11.

- [2] 杜英辉,许国基. 氢气还原金属氧化物[J]. 原子能科学技术,1999,33(4):360~363.
- [3] 许国基,魏永钦. 硼靶制备技术的研究[J]. 原子能科学技术,1999,33(4):357~359.
- [4] 郝兰 L. 真空镀膜技术[M]. 林树嘉译. 北京:国防工业出版社,1962.58.
- [5] 许国基,关守仁,孙树华,等. 聚焦重离子束溅射沉积薄膜[J]. 真空科学与技术,1987,7(2):92~98.
- [6] 许国基,赵子刚. 磁偏转电子枪研制核靶[J]. 原子能科学技术,1994,28(4):363~367.