

# 等离子熔覆 Ni-Cr 合金涂层的组织与性能研究

Microstructure and Performance of Ni-Cr Cladding Formed

by Plasma Surfacing Processes

毕晓勤<sup>1</sup>, 杨仲磊<sup>2</sup>, 胡小丽<sup>3</sup>

(1 河南工业大学 材料科学与工程学院, 郑州 450007;

2 郑州机械研究所, 郑州 450052; 3 北京机电研究所, 北京 100083)

BI Xiao-qin<sup>1</sup>, YANG Zhong-lei<sup>2</sup>, HU Xiao-li<sup>3</sup>

(1 College of Materials Science and Engineering, Henan

University of Technology, Zhengzhou 450007, China; 2 Zhengzhou

Research Institute of Mechanical Engineering, Zhengzhou 450052, China;

3 Beijing Institute of Mechanical and Electrical Technology, Beijing 100083, China)

**摘要:** 采用等离子熔覆技术在 40Cr 钢基材表面熔覆 Ni-Cr 合金涂层, 研究了熔覆层的组织特征、成分和显微硬度分布特点。结果表明: 等离子熔覆层与基体的结合面是由等轴晶构成的, 熔覆层与基体呈现良好的冶金结合状态; 熔覆层中分布着沿逆热流方向生长的排列较规则的枝晶组织; 熔覆层表层是细小的枝晶组织。能谱分析表明在结合面处 Ni、Cr 含量发生显著变化, 等离子熔覆可以实现低稀释率。熔覆层的显微硬度呈梯度过渡到基体, 熔覆层外层硬度值最高, 在结合面附近硬度出现显著的变化。

**关键词:** 等离子束; Ni-Cr; 熔覆层; 显微组织; 性能

**中图分类号:** TG174.4    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-4381(2009)05-0026-04

**Abstract:** The cladding of Ni-Cr alloy was coated on the surface of 40Cr alloy steel by the PTA (Plasma Transferred Arc) surfacing process. The microstructures, component and microhardness of the coating were investigated. The results show that the coating obtained is well bonded to the matrix and the interface between the cladding and the matrix consists of the isometric crystal. The microstructure varies from relatively regular dendritic crystal in the middle of the coating to fine crystal near the top of the coating. The content of Ni and Cr change markedly on the interface by the spectrum analysis, shows that the cladding has low ratio of dilution. The hardness is the largest on the surface of the cladding and is reduced sequentially to the matrix, which changes observably on the interface.

**Key words:** plasma arc; Ni-Cr; cladding; microstructure; performance

在工业生产中, 钢铁零部件的失效多数起源于表面腐蚀及磨损损坏<sup>[1,2]</sup>。等离子熔覆技术是一种新型的表面熔融凝固强化技术, 因其能量密度大, 效率高, 经等离子束加热的涂层材料快速凝固后可与基体材料呈冶金结合状态, 可以获得常规工艺得不到的微观组织结构和性能<sup>[3,4]</sup>, 特别是在耐磨性方面有其优越性, 涂层结合牢固不易脱落剥离。因此在机械制造各领域内的应用前景十分广阔。

40Cr 合金钢由于具有较高的抗拉强度、疲劳强度、屈服强度及淬透性和良好的韧性, 而被广泛用于制造承受中、高负荷和中等速度且具有较高表面硬度及耐磨性的零件。40Cr 合金钢工件通常采用淬火处理方式, 本工作把等离子束作为热源应用到 40Cr 合金钢

的表面改性处理和表面修复等方面, 对其进行等离子熔覆实验研究, 观察并测定其微观组织和性能。

## 1 实验方法

通常用于钢表面熔覆和修复的商业用合金粉末主要有 Ni 基、Co 基、Fe 基三类, 不同粉末熔覆后的组织和性能有很大差异。在普通钢上熔覆镍铬合金, 镍和铬可起到强化基体、提高熔覆层表面的抗氧化性、耐蚀性和耐磨性以及增加合金硬度和强度等作用, 并具有良好的性价比<sup>[5,6]</sup>, 表 1 为本工作研究的 Ni-Cr 合金涂层粉末成分。

在自制的等离子熔覆设备上对基体材料 40Cr 合

表 1 Ni-Cr 合金粉末的成分(质量分数/%)

Table 1 Chemical composition of Ni-Cr alloy powder (mass fraction/%)

Ni	Cr	Fe
60~70	10~15	8~20

金钢进行熔覆实验:先用胶黏剂(水玻璃)将 Ni-Cr 合金粉末调成糊状,按一定厚度均匀预涂敷在基体上烘干后,将基体工件夹持在等离子熔覆设备上,调整等离子喷枪使其距基体工件表面一定高度,选用转移型等离子弧<sup>[7]</sup>,以一定的功率  $P$  和速度  $V$  沿工件表面进行直线扫描,得到宽度为  $D$  的熔覆带。本实验中采用不同的工艺参数进行平面单道熔覆实验,熔覆实验过程如图 1 所示。

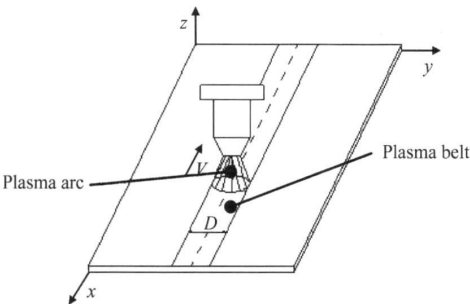


图 1 等离子熔覆处理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of plasma surfacing process

采用线切割方式沿熔覆带轴向和径向分别截取试样进行金相制备,在蔡氏光学金相显微镜和 JSM-

6360LV 型扫描电镜上进行微观组织观察和成分测定;利用 HV-1 型显微硬度计测量熔覆层和基体的显微硬度。

2 实验结果与讨论

2.1 微观形貌

等离子熔覆试样径向的 SEM 微观组织形貌如图 2 所示。从图 2 可以看到等离子熔覆层和基体两个不同区域的组织形貌。

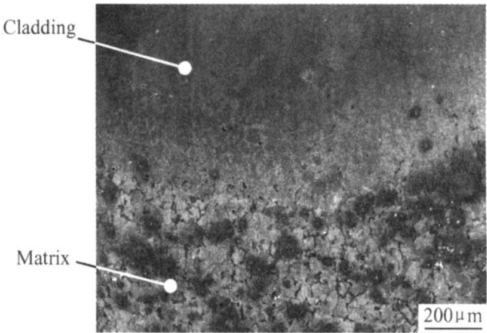


图 2 等离子熔覆试样径向的显微组织形貌

Fig. 2 Micrograph of cladding layer in radial direction

等离子熔覆试样轴向的微观组织形貌如图 3 所示。从图 3a 可以清楚地看到上部的熔覆层内组织均匀、无气孔和夹杂,基体与熔覆层的结合处清晰;从图 3b 的高倍观察中可以看到基体与熔覆层的结合界面处两侧的组织是突变的结构,表明等离子熔覆处理可以获得低稀释率的熔覆层。

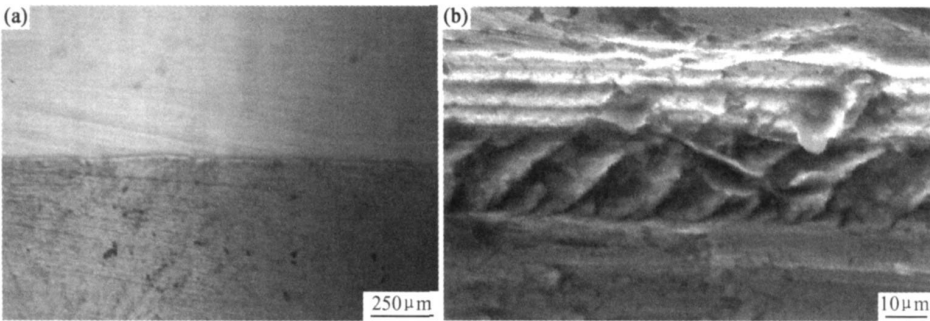


图 3 熔覆层试样轴向的显微组织形貌 (a) 光学组织形貌; (b) SEM 组织形貌

Fig. 3 Micrographs of cladding layer in axis direction (a) optical; (b) SEM

2.2 熔覆层显微组织

熔覆层的外部、中部和靠近基体结合面处的显微组织形貌如图 4 所示。从图 4 可以看到熔覆层的组织从外部到与基体的结合面处依次为细小枝晶、柱状枝

晶以及等轴晶。熔覆层的外部区域晶粒细小,组织比较致密;熔覆层中部的柱状枝晶逆热流方向生长,组织排列较规则;熔覆层与基体结合处分布着等轴晶,结合处两侧的组织结合状态良好。

根据实验过程可知, 由于等离子熔覆能量密度大、热量集中造成熔池的快速凝固结晶, 因而熔覆层组织的变化较为显著。当等离子弧扫过预涂层时, 预涂层吸热熔化并把一部分热量传递到基体, 而将基体表面熔化。此时, 熔化的涂层合金溶液进入基体表面的熔池, 与基体材料有良好的浸润状态, 基体可以作为现成

的表面提供非自发形核, 熔池中的液态金属直接从基体金属晶粒上长大, 由此使得基体和熔覆层的晶粒连续, 结合面处呈现良好的冶金结合状态, 使得结合面具有较高的结合强度和韧性, 保证了涂层材料结合牢固不易脱落剥离<sup>[8]</sup>, 从而提高了基体材料表面的耐磨性能。

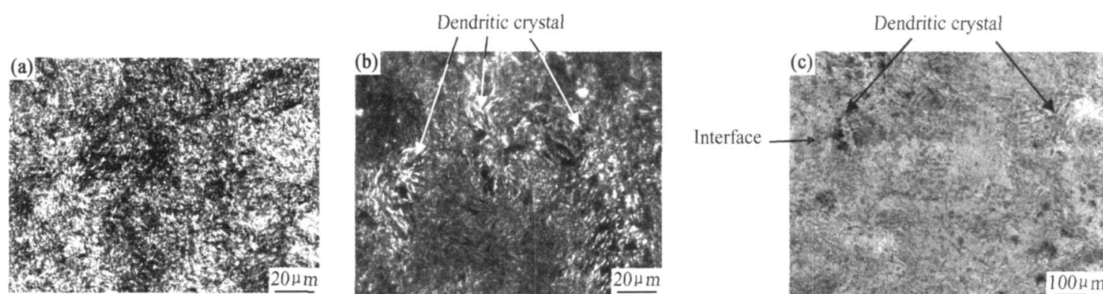


图 4 熔覆层的组织形貌 (a) 外部; (b) 中部; (c) 与基体结合处

Fig 4 Microstructures of cladding layer (a) surface; (b) inner; (c) interface

### 2.3 熔覆层成分分析

图 5 所示为从熔覆层层到与基体结合处附近的整个区域的线扫描能谱图(熔覆功率 1.8 kW, 扫描速度 8 mm/s)。从图 5 可以看到: 以熔覆层表面(测量零点)为起点, 结合面大约在距熔覆层表面 180 μm 处。在熔覆层的 0~180 μm 区域内, 元素 Cr, Ni 的含量很高且波动不大; 在 180~200 μm 的狭窄区域, 元素 Cr, Ni 的含量显著下降, 直到基体内部的区域, 元素 Cr, Ni 的含量已较低(图 5a, b)。在 0~200 μm 的熔覆区

域, 元素 Fe 的含量较低且波动不大; 从 200 μm 到基体内部区域, 元素 Fe 含量逐渐增高(图 5c)。实验结果表明等离子熔覆处理可以得到稀释率很低的熔覆层, 从而可以防止由于较大稀释率使得化学元素溶入熔覆层内, 改变熔覆层的化学成分和组织结构, 降低熔覆层的性能<sup>[1]</sup>。故等离子低稀释熔覆处理有利于节约贵金属、充分发挥其优异的力学性能。同时, 实践证明, 稀释率主要受熔覆温度场的影响, 如在其他条件不变的情况下, 增大输入功率或降低扫描速度, 均导致熔覆层

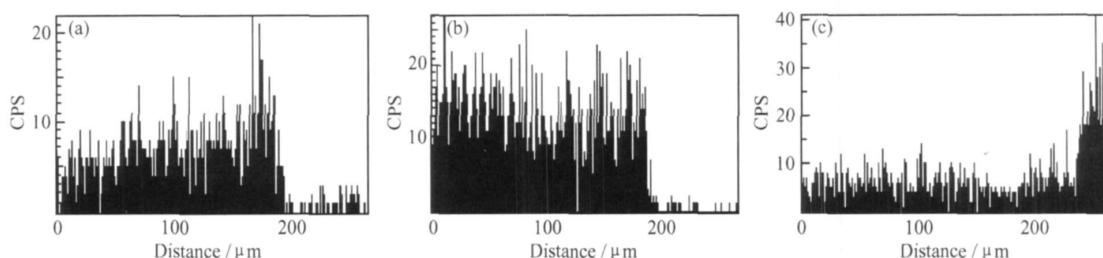


图 5 熔覆层的线扫描能谱图 (a) Cr; (b) Ni; (c) Fe

Fig 5 XRD line analysis results of cladding layer (a) Cr; (b) Ni; (c) Fe

稀释率增大<sup>[9, 10]</sup>。

### 2.4 熔覆层显微硬度

熔覆层的显微硬度分布如图 6 所示, 熔覆层厚约 0.4 mm, 扫描速度 12 mm/s, 熔覆功率不同。从图 6 可以看出: 熔覆层层附近的硬度高达 800~900 HV; 熔覆层表面到基体的硬度值呈梯度分布, 变化趋势较明显; 在基体与熔覆层的结合处硬度的变化显著。

根据图 4 所示的组织形貌及图 6 的显微硬度分

布, 分析认为: 熔覆层外层分布着细小的枝晶造成组织硬度较高; 熔覆层中部组织为较粗大的枝晶, 硬度有所降低; 靠近结合面处的熔覆层由于受到基体的稀释, 硬度大幅度下降而直至接近基体硬度。

此外, 本工作的实验结果还表明, 熔覆功率对熔覆层硬度的影响并不显著, 通过改变熔覆功率的方法来提高熔覆层的硬度不是十分有效的手段。因此, 在实际操作中, 熔覆功率的选取适当即可, 若熔覆功率过低

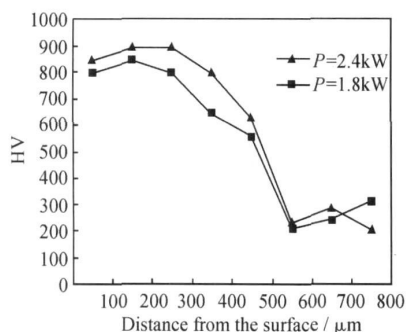


图6 熔覆层的显微硬度分布

Fig. 6 Microhardness of cladding layer

则不能使粉末或基体熔化,导致熔覆层与界面的结合不好;若熔覆功率过高则会导致稀释率过大,粉末烧损,不利于获得良好熔覆层。

### 3 结论

(1) 熔覆层与基体呈现良好的冶金结合状态。熔覆层组织从熔覆结合面到表层处依次为等轴枝晶、粗枝晶以及细小枝晶。

(2) 能谱分析表明 Ni、Cr 含量在结合面处发生显著变化,等离子熔覆可以实现低稀释率。

(3) 熔覆层的显微硬度呈梯度过渡到基体,熔覆层外层硬度值最高,在结合面附近硬度出现显著变化。

#### 参考文献

- [1] 陈颖,李惠东,李惠琪,等. 等离子束表面冶金与激光熔覆技术[J]. 表面技术, 2005, 34(2): 1-7.
- [2] WANG X L, QI H B. Study on crack control of layer during laser

cladding sealing surface of petrochemical valves [J]. Laser Technology, 2006, 26(5): 359-363.

- [3] 吴玉萍. 压缩弧光等离子束熔覆层中晶相与非晶相[J]. 材料热处理学报, 2007, 23(1): 11-14.
- [4] PAVELIC V, TANBAKUCHI R, AU YE HARA O. Experimental and computed temperature histories in gas tungsten arc welding of thin plates[J]. Welding Journal Research Supplement, 2001, 48(7): 295-305.
- [5] 沈娟,刘水英,黄高中,等. 等离子熔覆涂层与熔射成型技术及其应用[J]. 煤炭科技, 2006, 4(4): 28-29.
- [6] SHIOMI M, YOSHIDOME A, ABE F, et al. Finite element analysis of melting and solidifying processes in laser rapid prototyping of metallic powders [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2003, 39: 237-252.
- [7] TAILOR G A, HUGHES M, PERICLEOUS K. The application of three dimension finite volume method to the modeling of welding phenomena[J]. Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Process IX [C]. New York: The Minerals, Metals & Materials Society, 2004. 852-859.
- [8] 侯俊英,胡尔建,赵程,等. 热等离子弧熔覆层的耐磨性研究[J]. 青岛科技大学学报, 2003, 24: 27-29.
- [9] D'OLIVERA A S C M, VILAR R, FEDER C G. Hightemperature behavior of plasma transferred arc and laser Cr based alloy coating [J]. Applied Surface Science, 2002, 201: 154-160.
- [10] 曹明. 等离子熔覆 TiC/Ni 梯度层组织及其抗汽蚀性能研究[D]. 南京: 河海大学, 2005.

收稿日期: 2008-11-04; 修订日期: 2009-03-11

作者简介: 毕晓勤(1967—), 女, 博士, 副教授, 主要从事材料表面改性技术及其应用的研究和金属基复合材料的制备以及特种加工技术的工艺研究, 联系地址: 河南省郑州高新技术产业开发区莲花街河南工业大学人事处(450001), E-mail: xiaoqin\_bi@haut.edu.cn; bixq@163.com

(上接第 25 页)

- [6] FAN CHIEH, CHEN MING-CHE, CHANG CHIA-MING, et al. Microstructure change caused by (Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> carbides in high chromium Fe-Cr-C hardfacing alloys [J]. Surface & Coatings Technology, 2006, 201(3): 908-912.
- [7] CHATTERJEE S, PAL T K. Weld procedural effect on the performance of iron based hardfacing deposits on cast iron substrate [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 173(1): 61-69.
- [8] KIM CHANG KYU, LEE SUNGHAK, JUNG JAE YOUNG, et al. Effects of complex carbide fraction on high-temperature wear properties of hardfacing alloys reinforced with complex carbides [J]. Materials Science and Engineering A, 2003, 349(1): 1-11.
- [9] 符寒光, 蒋志强. 耐磨铸造 Fe-B-C 合金的研究[J]. 金属学报, 2006, 45(2): 545-548.

- [10] JEONG WAN YOO, LEE SEONG HUN, CHONG S YOON, et al. The effect of boron on the wear behavior of iron-based hardfacing alloys for nuclear power plants valves[J]. Journal of Nuclear Materials, 2006, 352(1): 90-96.
- [11] BUCHELY M F, GUTIERREZ J C, LEON L M, et al. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys [J]. Wear, 2005, 259(1): 52-61.

基金项目: 湖南省教育厅资助项目(06C838); 湘潭大学科研启动基金资助项目(06QDZ05)

收稿日期: 2008-07-08; 修订日期: 2008-11-10

作者简介: 龚建勋(1973—), 男, 博士, 副教授, 从事材料表面工程与功能薄膜方向的研究工作, 联系地址: 湖南省湘潭市湘潭大学机械工程学院(411105), E-mail: gong309@tom.com