

# 利用等离子弧堆焊获得铁基合金 + 碳化钨 硬质合金的复合堆焊层

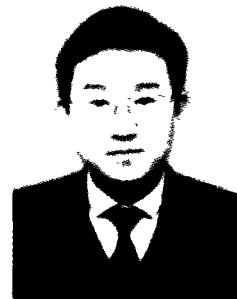
赵 昆<sup>1</sup>, 王红英<sup>2</sup>, 程志国<sup>1</sup>, 董祖珏<sup>1</sup>, 王春义<sup>3</sup>

(1. 哈尔滨焊接研究所, 哈尔滨 150080; 2. 深圳职业技术学院 深圳 518000;  
3. 抚顺石化中油检修维护有限责任公司, 辽宁 抚顺 113006)

**摘 要:** 利用新研制的外送碳化钨等离子弧焊枪系统, 对 F321 铁基合金粉末和机械破碎的碳化钨硬质合金颗粒进行了堆焊, 获得的复合堆焊层碳化钨合金颗粒分布均匀, 堆焊层缺陷率低, 焊道成型良好, 碳化钨合金颗粒的质量分数可达 40% ~ 42%, 堆焊后的碳化钨合金颗粒硬度值仍保持了原有的高硬度, 颗粒表层重熔量小, 合金元素扩散率低, 获得的堆焊层胎体组织为马氏体 + 残余奥氏体 + 共晶(马氏体 + 碳化物); 碳化钨合金颗粒周围鱼骨状共晶没有扩散到胎体马氏体中, 避免了复合堆焊层的整体脆化。试验对堆焊层的平均孔隙缺陷率进行了测算, 测算结果为碳化钨合金颗粒平均孔隙缺陷率低于 1.5%, 并对裂纹、孔隙分布及产生原因进行了分析。

**关键词:** 等离子弧; 堆焊; 铁基合金; 碳化钨

**中图分类号:** TG455 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2002)03-56-03



赵 昆

## 0 序 言

含碳化钨的复合堆焊层主要应用于金属表面承受矿物质、砂、石等物料的强磨损。表面呈砂纸状的堆焊层具有对物料的切割作用, 并能形成具有与物料啮合作用的表面以减低磨损, 同时还可以承受冲击载荷<sup>[1]</sup>。近年来, 随着等离子弧堆焊技术的不断发展和完善, 采用等离子弧堆焊技术来获得含碳化钨的复合耐磨堆焊层的研究取得了一定成果。研究人员采用的多种不同措施使得碳化钨的熔化、烧损及沉底问题得到一定解决<sup>[2]</sup>。目前, 国内外高质量复合堆焊层普遍采用 Co、Ni 基合金作为堆焊层的胎体金属, 但由于成本很高, 因此在很大程度上影响了该技术的应用推广。故发展采用铁基合金作为胎体金属的复合堆焊层可以大大降低成本, 并可使堆焊层保持高耐磨性, 具有广泛的应用前景。

研制铁基堆焊合金加碳化钨的复合堆焊层技术的关键在于: 由于铁基合金熔点高、抗氧化性、与碳化钨颗粒间的润湿性不及 Co、Ni 基合金, 因此, 不易获得高质量堆焊层。本文采用新研制的外送碳化钨等离子弧焊枪系统, 以机械破碎的碳化钨硬质合金颗粒为填充材料, 进行了堆焊试验研究, 获得了较好的效果, 并对堆焊层组织、性能进行了分析。

## 1 堆焊试验

### 1.1 外送碳化钨等离子弧堆焊装置

堆焊枪体的示意图如图 1 所示。系统的焊接电源采用直流陡降特性单电源, 枪体摆动方式为匀速直线摆动, 送粉器分别采用刮板送粉器和轂轮送粉器对铁基自熔合金粉末和碳化钨硬质合金颗粒进行输送。采用轂轮送粉器输送碳化钨合金颗粒的特点是容易实现非球形颗粒粉的送进, 而刮板送粉器在输送非球形颗粒时, 在刮板和转盘之间容易造成卡粉现象。试验采用的送粉气体和保护气体均为 Ar 气。

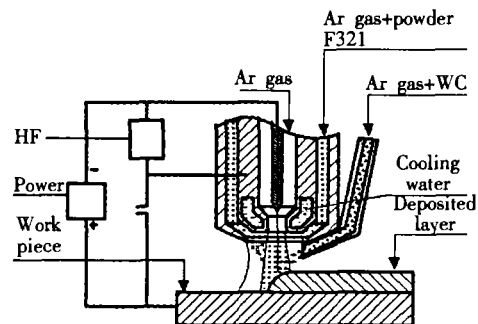


图 1 等离子弧堆焊枪体示意图  
Fig. 1 Sketch of PTA torch

### 1.2 堆焊材料

(1) 自熔合金粉末: F321 铁基合金粉末, 粉末化学成分如表 1 所示。

表1 F321 粉末化学成分(质量分数,%)

Table 1 Chemical composition of powder F321

C	Cr	Si	B	Mo	Fe
≤0.15	12.5~14.5	0.5~1.5	1.3~1.8	0.5~1.5	Bal

粉末熔化温度: ≈1300℃;

堆焊层硬度: 40~50HRC;

粒度: -60~+200目。

(2)碳化钨硬质合金颗粒: 试验采用的碳化钨合金颗粒为机械破碎的碳化钨硬质合金, 粒度为40~60目。该类硬质合金是以碳化钨(6.13% C)为硬质组分, 经与3%~30%的粘结剂(通常为Co)相混合, 经压制、烧结制成不同形状刀片、模块等, 以这类回收的硬质合金为原料经机械破碎获得的碳化钨合金颗粒含有多种碳化钨合金类型, 其硬度范围在83~93HRA<sup>[3]</sup>。

### 1.3 试板材质及尺寸

试验所用试板材质为: Q235 钢;

试板尺寸: 20 mm × 150 mm × 200 mm。

### 1.4 堆焊工艺参数

堆焊试验采用冷焊工艺, 堆焊工艺参数如表2所示。

表2 堆焊工艺参数

Table 2 Surfacing parameters

Parameters		Value
Arc strike current	A	60
Arc strike voltage	V	17
Plasma arc current	A	120
Plasma arc voltage	V	33
Gas flow for plasma arc	m <sup>3</sup> /h	0.3
Gas flow for protection	m <sup>3</sup> /h	0.9
Gas flow for WC particles transportation	m <sup>3</sup> /h	0.3
Flow of powder F321	g/min	28
Flow of WC particles	g/min	22.5
Breadth of jiggling motion	mm	25
Frequency of jiggling motion	min <sup>-1</sup>	30
Hardfacing velocity	mm/min	63

## 2 试验结果及分析

### 2.1 堆焊试验结果

堆焊焊道表面成型及横截面碳化钨合金颗粒分布情况见图2、3所示。

由称重法测得焊道中碳化钨合金的质量分数为40%~42%。从图3可见, 碳化钨合金颗粒分布较

均匀, 焊道成型良好。焊道表面经着色探伤检测有微裂纹存在。取焊道横截面在Unimet显微镜测微尺下观测, 裂纹长度一般不超过100~200 μm, 裂纹主要出现在个别碳化钨合金颗粒附近的区域, 焊道无贯穿性裂纹, 如图3a所示。

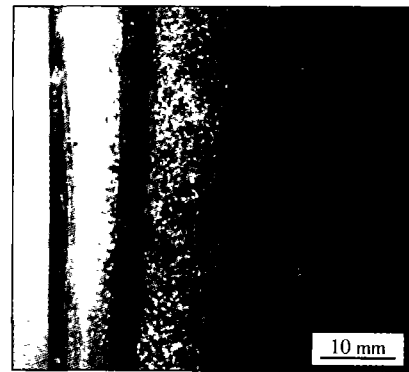


图2 堆焊层表面宏观照片

Fig.2 Appearance of deposited layer



(a) Macro etch

(b) Micro corrosion

图3 堆焊层截面放大照片

Fig.3 Cross section of deposited layer

从图3b还可以看到, 一部分碳化钨合金颗粒由于局部润湿不好而形成了孔隙缺陷。经分段取样(每隔10 mm线切割切断)观测, 按以下公式对焊道的平均孔隙缺陷率进行测算:

$$\eta = (S_b/S_c) \times 100\%$$

式中:  $\eta$  为平均孔隙缺陷率;

$S_b$  为堆焊层横截面孔隙缺陷面积之和;

$S_c$  为堆焊层横截面面积之和。

测算结果为平均孔隙缺陷率低于1.5%。

### 2.2 堆焊层金相组织及分析

堆焊层胎体组织为马氏体+残余奥氏体+共晶(马氏体+碳化物); 碳化钨合金颗粒及周围组织主要分为三部分, 即未熔化的碳化钨合金颗粒主体、碳化钨合金表层与粘结金属的熔合区(白色碳化物颗

粒环绕层)和碳化钨合金颗粒表层扩散区(鱼骨状共晶),如图 4 所示。观测结果表明,鱼骨状共晶仅存在于碳化钨合金颗粒表层周围,没有扩散到胎体马氏体中。

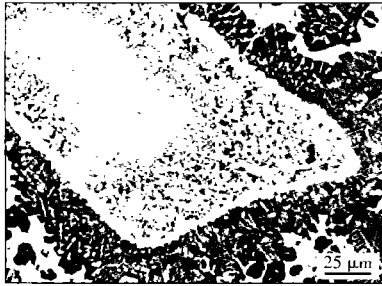


图 4 碳化钨合金颗粒及周围组织

Fig. 4 WC alloy particles in deposit and microstructure around it

### 2.3 堆焊层硬度测试及分析

堆焊焊道横截面不同部位显微硬度测试点分布如图 5 所示。显微硬度值如表 3 所示。



图 5 显微硬度测试点分布及微裂纹产生部位

Fig. 5 Distribution of hardness tested spots and region where microcracks occurred

表 3 堆焊焊道横截面不同部位显微硬度值(加载 200 g)

Table 3 Hardness of diverse zone deposited layer

Zone	Hardness	Average hardness
WC particles	Hm 1840 1564 1627	Hm 1675.7
Refusion carbide of WC particles surface	Hm 2096 2196 1920	Hm 2070.7
Fishbone eutectic	Hm 1339 1283 1239	Hm 1287
Martensite structure	HV 572 572 566	HV 570

由表 3 可见,堆焊后的碳化钨合金颗粒硬度值仍保持了原有的高硬度(未经过堆焊的不同类型烧结碳化钨硬度范围在 83 ~ 93HRA,相当于 1 300 ~ 1 700Hm),表明碳化钨合金颗粒未产生高温硬度损失;其表层重熔后形成的碳化物具有更高硬度值;胎

体马氏体组织由于少量合金元素的扩散,硬度值略有升高,但基本保持在 F321 粉末熔敷金属的硬度水平上,未造成胎体金属的脆化。

### 2.4 堆焊层微裂纹及孔隙分析

由图 5 可见,微裂纹产生于碳化钨合金颗粒表层熔合区,向碳化钨合金颗粒外侧的鱼骨状共晶扩展。分析其产生原因,主要是由于一部分粒度较小的及含 Co 量较高的碳化钨合金颗粒表层与粘结金属熔合时,再结晶生成了一层较厚的白色碳化物环绕层( $\geq 20 \mu\text{m}$ ),同时造成碳化物颗粒有较多的合金元素(W、Co、C)扩散,该区域硬度高、塑性差,尤其在有孔隙缺陷存在时,易形成裂纹源,在焊接应力的作用下产生微裂纹,裂纹沿鱼骨状共晶扩展,一般扩展至与胎体马氏体交界处。

堆焊层孔隙主要分布于碳化钨合金颗粒周围,其产生原因主要是由于熔池冷却速度较快,造成一部分碳化钨合金颗粒局部润湿不好而形成的。通过大量试验表明,以铁基合金粉末做粘结金属时,在确保碳化钨合金颗粒均匀分布条件下,少量碳化钨合金颗粒的局部未熔合孔隙很难彻底消除。

## 3 结 论

(1) 研制的外送碳化钨等离子弧堆焊系统可实现对较大颗粒(40 ~ 60 目)碳化钨合金的堆焊。

(2) 堆焊系统采用 F321 铁基合金粉末和机械破碎的碳化钨合金颗粒进行堆焊,成本低。获得的堆焊层碳化钨合金分布较均匀,堆焊层缺陷率低,焊道成型好,堆焊层碳化钨合金的质量分数可达 40% ~ 42%。

(3) 堆焊层的中碳化钨合金颗粒表层重熔量小,合金元素扩散率低,可有效地避免复合堆焊层的整体脆化。

### 参考文献:

- [1] Ben Zabner. Surfacing alloys[J]. Welding Design and Fabrication, 1997, (8): 55.
- [2] 赵 昆,程志国. 优质高耐磨性堆焊技术 - 复合材料等离子堆焊现状[J]. 焊接, 1999, (2): 5 ~ 8.
- [3] 美国金属学会. 金属手册, 第九版, 第七卷[M]. 韩凤麟主译. 北京: 机械工业出版社[M], 1994. 1062 ~ 1067.

作者简介: 赵 昆,男,1965 年出生,高级工程师。主要从事堆焊材料和工艺方面的研究工作,承担省部级科研项目 4 项,发表论文 10 余篇。

Email: Zke@up369.com