

## 碳化钨复合耐磨堆焊层泥沙磨损性能的研究\*

杜学铭<sup>1)</sup> 施雨湘<sup>2)</sup> 李爱农<sup>1)</sup>(武汉理工大学材料科学与工程学院<sup>1)</sup> 武汉 430063)(武汉大学机械与材料工程学院<sup>2)</sup> 武汉 430070)

**摘要:**简要叙述了手工电弧堆焊、浸润堆焊、氧乙炔火焰堆焊、感应熔敷等方法制备金属基碳化钨陶瓷复合耐磨层的工艺过程,介绍了碳化钨陶瓷复合耐磨堆焊工艺实验和堆焊层泥沙磨损实验,文中结合堆焊层的性能特点、堆焊层中碳化钨的颗粒分布状态及其熔化解程度和堆焊层的泥沙磨损形貌特征,分析了碳化钨陶瓷复合耐磨材料在泥沙磨损条件下的磨损机理及基体材料和碳化钨颗粒的作用,讨论了不同的堆焊热源和堆焊工艺对碳化钨颗粒原有形状及碳化钨陶瓷复合耐磨堆焊层性能的影响。

**关键词:**泥沙磨损;碳化钨;耐磨堆焊;堆焊工艺;耐磨性

**中图分类号:**TH117.1

泥沙磨损是疏浚船舶过流易损件(如泥泵泵壳、绞刀片、叶轮等)主要的磨损形式,疏浚船舶过流易损件泥沙磨损问题倍受国内外疏浚行业的关注.为了提高过流易损件的抗泥沙磨损性能和使用寿命,通常采用耐磨堆焊的方法在零部件工作表面(如绞刀、泥泵泵壳、叶轮、防磨环等的磨损面)堆敷耐磨层以提高其耐磨性和使用寿命。

碳化钨具有超高的硬度及耐磨性且与常用金属有良好的浸润性,通常用来制备特种复合耐磨材料,这种复合耐磨材料由金属基体(或称钛体金属)和硬质相(即碳化钨陶瓷颗粒)组成.碳化钨堆焊合金最适合于在带有轻度或中等冲击的强烈磨料磨损条件下工作<sup>[1]</sup>,并具有优异的抗泥沙磨损性能.碳化钨陶瓷复合耐磨层可采用电弧堆焊、浸润堆焊<sup>[2]</sup>、氧乙炔火焰堆焊、感应熔敷堆焊等方法制备.堆焊工艺方法不同,碳化钨复合耐磨堆焊层泥沙磨损性能会产生较大差异。

## 1 主要工艺参数

### 1.1 堆焊方法及试板准备

对碳化钨条氧-乙炔火焰堆焊、碳化钨条填充

法手弧堆焊、碳化钨颗粒浸润堆焊、碳化钨颗粒感应熔敷堆焊进行了工艺实验.堆焊试板材质为 ZG35SiMn,尺寸为 100 mm×100 mm×16 mm.堆焊前将试板表面打磨见金属本色。

### 1.2 堆焊的主要工艺参数

1) 碳化钨条氧-乙炔火焰堆焊工艺参数 碳化钨条型号为 YZ3.氧与乙炔之比小于 1.2,火焰的内焰长度为焰心长度的 2~3 倍.用内焰区进行堆焊加热,焰心与堆焊表面之间距离为 2~3 mm,喷嘴轴线与工件堆焊表面保持 15~25°夹角.氧气的工作压力为 0.3~0.35 MPa,乙炔的工作压力 0.04~0.05 MPa.堆焊层厚度为 4 mm,堆焊结束后缓冷。

2) 碳化钨条填充法手弧堆焊工艺参数 碳化钨条型号为 YZ3,焊条为 WRD 型碱性中碳低合金耐磨钢焊条,焊条直径 4 mm.堆焊时碳化钨条从电弧后方熔池的尾部送入.焊接电流 140~160 A;电弧电压 22~24 V;平均焊速 17.6 m/h;堆焊 5 层,层间温度≤150℃。

3) 碳化钨颗粒浸润堆焊工艺参数 碳化钨为铸造碳化钨颗粒,其粒度配比为:20~30 目 68%;60~80 目 32%.采用质量分数为 60%Cu,

收稿日期:2001-11-13

杜学铭:男,40岁,硕士,讲师,主要研究领域为材料加工工程

\*“九五”国家重点科技项目(攻关)资助(项目号:95-02-07-08-01)

20%Ni, 20%Mn 铜基合金钎料, 其熔点为 980~1040 ℃. 碳化钨与钎料的质量之比为 100:40, 碳化钨颗粒与钎料预先放置在特制的成型腔内, 并在腔内灌满煤油, 浸润堆焊加热在空气电阻炉中进行, 钎焊温度 1180 ℃, 保温时间 0.5 h.

4) 碳化钨颗粒感应熔敷堆焊工艺参数 该工艺先预制粉块, 熔敷堆焊时将粉块放置在母材上进行感应加热, 粉块的组成质量分数为: 铸造碳化钨颗粒 47.6% (其中 20 目颗粒 67%; 60 目颗粒 33%), 合金粉 48.8%, 余量为助溶剂和连接剂. 主要工艺参数: 阳极电压 10.8 kV, 槽路电压 9.1 kV, 栅极电流 1.1 A, 阳极电流 4.5 A, 加热时间 120 s; 熔敷层数 2 层.

## 2 碳化钨复合耐磨堆焊层中碳化钨颗粒的分布及性能

### 2.1 堆焊层中碳化钨颗粒的分布

由于堆焊方法、热源特点及工艺过程不同, 使堆焊层中碳化钨颗粒的熔化和分解程度不一样, 碳化钨颗粒的分布状态出现了很大差异. 图 1~图 4 为不同堆焊方法堆焊层中碳化钨颗粒分布及碳化钨颗粒边界的 SEM 图片. 图 1、图 2 表明碳化钨条氧-乙炔火焰堆焊中碳化钨颗粒分布较为均匀致密, 碳化钨颗粒边界熔化较少且与基体形成了良好的结合; 图 3 可以看出浸润堆焊层中碳化钨颗粒分布均匀, 碳化钨颗粒未发生明显熔化且与基体结合良好. 图 4 可以发现手弧堆焊层中碳化钨颗粒表层发生了明显的熔化.

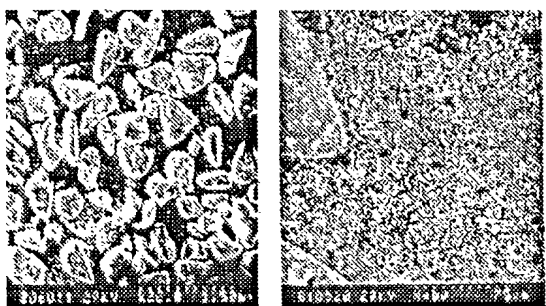


图 1 火焰堆焊层中碳化钨颗粒分布 SEM 照片 图 2 火焰堆焊层中碳化钨颗粒边界 SEM 照片

### 2.2 堆焊层组成及性能

表 1 为不同堆焊方法碳化钨复合堆焊层的组成和性能. 由于堆焊工艺方法不同, 热源性质及热源对碳化钨颗粒的作用程度也不一样, 形成了堆焊层中碳化钨颗粒所占比例、堆焊层密度、堆焊层硬度等的差异. 不同的堆焊方法, 基体的成分差异

很大, 因此基体的硬度不同.



图 3 浸润堆焊层中碳化钨颗粒分布 SEM 照片 图 4 手弧堆焊层中碳化钨颗粒边界 SEM 照片

## 3 碳化钨复合耐磨堆焊层泥沙磨损实验

### 3.1 泥沙磨损试样制备

用线切割在上述 4 种耐磨堆焊试板上沿厚度方向各切割出两个  $\phi 20$  mm 泥沙磨损实验样品, 用砂轮磨平试样堆焊层表面, 车去多余母材, 将试样加工成  $\phi 20$  mm  $\times$  20 mm 的试样. 并加工出两个相同尺寸的 ZG35SiMn (正火: 203HBS, 表面显微 205HV,) 对比标样.

### 3.2 泥沙磨损实验参数及结果

实验在多参量控制泥沙磨损实验机上进行. 实验前将试样在泥沙磨损实验机上预磨 2 h. 实验参数为: 泥沙浓度 (wt) 70%; 沙质为建筑黄沙 (粒径  $\leq 5$  mm); 试样磨损面迎角 30°; 试样运行线速度 6.66 m/s; 磨损时间 4 h. 表 2 为标样和耐磨堆焊层泥沙磨损试样相对耐磨性实验结果.

## 4 分析

1) 泥沙磨损实质上是一种固液两相流的磨粒磨损. 碳化钨复合耐磨堆焊层是一种金属基碳化钨陶瓷颗粒增强复合耐磨材料, 由相对较软的金属基体和硬度很高的碳化钨颗粒组成. 泥沙磨损实验结果表明: 这种复合堆焊层具有优异的抗磨粒磨损性能, 其泥沙磨损机理不同于常规单一材质, 首先, 堆焊层中作为硬质相的碳化钨颗粒具有比磨粒更高的硬度和刚度, 能够有效抵抗磨粒的冲击和切削. 从泥沙磨损的过程来看, 由于基体的硬度远低于碳化钨颗粒的硬度, 基体金属受磨粒尖角的切削作用优先磨损下凹, 碳化钨颗粒逐渐凸起承受磨粒的冲击和切削, 而磨粒又是以一

表 1 碳化钨复合堆焊层的组成及性能

堆 焊 方 法	堆焊层中		焊缝表层硬度		
	(碳化钨颗粒)wt/%	$\rho/g \cdot cm^{-3}$	堆焊层/HRC	基体/HV	硬质相/HV
碳化钨条氧-乙炔火焰堆焊	66	13.54	58	332	1 718
碳化钨条填充法手弧堆焊	46.41	11.84	58.9	591.8	1 501
碳化钨颗粒浸润堆焊	76.6	14.72	39.1	191	1 823
碳化钨颗粒感应熔敷堆焊	47.6	11.94	58.1	601	1 057

表 2 泥沙磨损实验结果

相对耐磨性	碳化钨条氧-乙炔火焰堆焊试样	碳化钨条填充法手弧堆焊试样	碳化钨颗粒浸润堆焊试样	碳化钨颗粒感应熔敷堆焊试样	ZG35SiMn 标样
质量相对耐磨性	9.9	5.84	5.46	9.45	1
体积相对耐磨性	17.2	8.86	8.36	14.54	1

定角度冲蚀磨损面,于是凸起的碳化钨颗粒便产生了“阴影效应”,处在“阴影”中的基体金属被冲击和切削的几率减小,磨损程度减轻.而“阴影效应”存在的前提是基体对碳化钨颗粒的良好固定和支撑,因而基体材料在受到“阴影效应”保护的同时,也为碳化钨颗粒提供了良好的固定支撑.“阴影效应”和“固定支撑作用”二者相互促进,使复合堆焊层抗磨粒磨损性能得到显著提高.图 5 堆焊层泥沙磨损形貌中可以看出凸起的碳化钨颗粒和下凹的基体,而图 6 标样(ZG35SiMn)泥沙磨损形貌中仅能看到磨粒切削所形成的犁沟而无特殊的“阴影效应”现象.由此可见:碳化钨复合耐磨堆焊层的抗磨粒磨损效果受硬质相颗粒的和基体的共同影响,硬质相硬度越高、分布越均匀致密则“阴影效应”越好,而基体材料的硬度、耐磨性、韧性、与硬质相的结合强度则会影响其“固定支撑作用”效果.

2) 据文献[1],由于碳化钨的熔点很高,所以它可能基本不熔化而存在于焊缝中,“镶嵌”甚至“钎接”在基体上,构成硬质合金复合材料堆焊层,这与高铬铸铁中  $Cr_7C_3$  从熔池中析出完全不同.碳化钨耐磨作用的发挥是依靠其自身的高硬度、高耐磨.堆焊过程中减少或避免碳化钨颗粒的熔化,尽量保持其原有形状,利于发挥碳化钨的耐磨性.浸润堆焊方法热源温度最低,最利于保持碳化钨颗粒的原有形状,堆焊层中碳化钨颗粒的硬度最高,但由于其基体软、强度低、磨损过快,碳化钨颗粒易于脱落,“阴影效应”得不到充分发挥,因此其堆焊层抗泥沙磨损性能并不显著,该方法较适合用来制备双金属复合板材;碳化钨条氧-乙炔火焰耐磨堆焊热源最高温度  $3\ 150\ ^\circ C$  [3],高于浸润堆焊温度,却低于电弧温度( $5\ 000 \sim 30\ 000\ K$  [4]),碳化钨颗粒的熔化程度没有电弧堆焊时严重,而基

体又有必要的强度、硬度和韧性,堆焊层抗泥沙磨损效果最好,但由于其热源能量密度低,对大厚件的堆焊适应性差,效率也比电弧堆焊低;感应堆焊热源温度也较低,堆焊层的抗泥沙磨损性能优异,但由于其工艺复杂、现场适应性差,目前大面积堆焊还存在设备和工艺方面的问题,限制了它的应用;碳化钨条填充法手弧堆焊热源温度高,碳化钨颗粒的熔化较明显,堆焊层抗泥沙磨损性能并不十分显著,但该方法灵活方便,综合成本较低,现场适应性强,对工件无特殊限制,另堆焊层具有必要的抗泥沙磨损性能(见表 2),因此,该方法是一种较好的疏浚船舶过流易损件制造和易损件修复方法.



图 5 堆焊层磨粒磨损形貌 SEM 照片

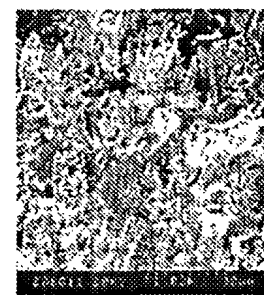


图 6 ZG35SiMn 的磨损形貌 SEM 照片

(氧-乙炔火焰堆焊)

3) 由表 1、表 2 比较手弧堆焊层和浸润堆焊层的性能,还可以发现虽然手弧堆焊层中碳化钨颗粒的硬度及其比例低于浸润堆焊层中碳化钨颗粒的硬度和比例,但由于手弧堆焊层基体硬度远比浸润焊的高,手弧堆焊层的耐磨性反而比浸润焊的要好.由此可见,基体的性能对这种复合耐磨堆焊层的耐磨性具有明显影响,基体硬度和耐磨性的提高,其抗显微切削能力增强,可减缓碳化钨颗粒的凸起速度,利于提高堆焊层的耐磨性,但基体的硬度过高,必然韧性差,反而易造成凸起碳化

钨颗粒受磨粒冲击时的疲劳脱落,因而基体材料应具有合适的硬度、耐磨性和韧性,才能对碳化钨颗粒起到良好的固定和支撑作用,进而提高复合耐磨堆焊层的耐磨性能。

## 5 结 论

1) 碳化钨复合耐磨堆焊层具有优异的抗泥沙磨损性能,堆焊工艺方法对碳化钨复合耐磨堆焊层中碳化钨颗粒的分布和熔化程度有明显的影响,进而影响到堆焊层的性能。

2) 基体材料的性能及其与碳化钨颗粒的结合强度对耐磨堆焊层的泥沙磨损性能有明显的影

响。

## 参 考 文 献

- 1 周振丰,张文钺,彭高峨等. 焊接冶金与金属的焊接性. 北京:机械工业出版社,1988. 460~461
- 2 刁淑生,储少军,梁东图等. 高炉料钟、料斗表面强化工艺及材料的研究进展. 焊接技术,2000,29(4):41~43
- 3 邹 禧,庄鸿寿,钱乙余等. 钎焊. 北京:机械工业出版社,1989. 67
- 4 胡特生,何德孚,赵 菁等. 电弧焊. 北京:机械工业出版社,1996. 32

# A Study of Slurry Wear Capability of Tungsten Composite Wear-resisting Surfacing Layer

Du Xueming<sup>1)</sup> Shi Yuxiang<sup>2)</sup> Li Ainong<sup>1)</sup>

(College of Material Science and Engineering, WUT, Wuhan 430063)<sup>1)</sup>

(College of Machine and Material Engineering, Wuhan University, Wuhan 430070)<sup>2)</sup>

## Abstract

In this paper, the methods of manual arc surfacing and soakage surfacing and oxyacetylene flare surfacing and influence melting were used to manufacture metal basis ceramics composite wearable layer. The technical process of every methods were depicted. The surfacing technical test and slurry wear test of tungsten carbide ceramics composite wearable layer were introduced. According to the capability characteristic of surfacing layer and the distributing state and melting decompose degree of tungsten carbide particles in surfacing layer and the slurry wear shape characteristic of surfacing layer, the wear mechanics of tungsten carbide ceramics composite wearable material and the effects of basis material and tungsten carbide particles were analyzed. The surfacing heat source and surfacing technical influence upon tungsten carbide particles' shape and tungsten carbide ceramics composite wearable surfacing layer's capability were discussed.

**Key words:** slurry wear; tungsten carbide; wear-resisting surfacing; surfacing technology; wearability