

# 两种硬质合金堆焊焊条的试验对比研究

蹇海根<sup>1</sup>, 王业东<sup>1</sup>, 杨孝梅<sup>1</sup>, 雷新蕾<sup>1</sup>, 张唯<sup>2</sup>, 熊锦超<sup>1</sup>, 周恒<sup>1</sup>

(1. 湖南工业大学 冶金与材料工程学院, 湖南 株洲 412007; 2. 湖南伊澍智能制造有限公司, 湖南 株洲 412000)

**摘要:**通过硬度、金相、扫描电镜、能谱分析、拉伸等测试手段,对自制 YD 型硬质合金堆焊焊条和进口焊条的表面质量、显微组织和力学性能进行对比分析研究。试验结果表明:进口焊条的表面质量更好,呈狼牙棒状,但两种焊条的力学性能和组分差别不大。基体金属与硬质合金结合界面处存在一个过渡区域,两侧组织均发现元素的相互扩散,从而改善堆焊焊条的包覆效果和结合强度。

**关键词:**YD 型硬质合金;堆焊焊条;表面质量;显微组织

**DOI:** 10.14158/j.cnki.1001-3814.20193036

中图分类号: TG422.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2020)07-0146-03

## Comparative Study on Two Kinds of Build-up Welding Electrode of Cemented Carbide

JIAN Haigen<sup>1</sup>, WANG Yedong<sup>1</sup>, YANG Xiaomei<sup>1</sup>, LEI Xinlei<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>,  
XIONG Jinchao<sup>1</sup>, ZHOU Heng<sup>1</sup>

(1. School of Metallurgical and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China; 2. Hunan Esoe Intelligent Manufacturing Co., Ltd., Zhuzhou 412000, China)

**Abstract:** The surface quality, microstructures and mechanical properties of self-made and imported build-up welding electrode of YD type cemented carbide were compared and analyzed by means of hardness, metallography, scanning electron microscope, energy spectrum analysis and tensile test. The results show that the surface quality of imported build-up welding rod is better and presents a mace shape, but the mechanical properties and composition of two types of build-up welding electrode have little difference. There is a transition zone at the interface between matrix metal and cemented carbide, and element inter-diffusion phenomenon in two sides of microstructure is found, which improves the coating effect and bonding strength of build-up welding electrode.

**Key words:** YD cemented carbide; build-up welding electrode; surface quality; microstructure

YD 型高性能硬质合金堆焊焊棒,简称 YD 型焊棒,俗称狼牙棒焊条,由硬质合金和“胎体”组成。硬质相一般为碎粒碳化钨硬质合金,具有较高的耐磨性和抗冲击性能<sup>[1-2]</sup>。基体合金具有一定的强度,韧性较好,同时流动和浸润特性良好,可以使基体材料和硬质合金颗粒的结合强度高<sup>[3-5]</sup>。当碳化钨含量达到 70% 以上,堆焊层具备良好耐磨性,能抵御由砂砾、泥土或矿砂等固体物颗粒所生产的磨粒磨损和冲击,广泛应用于砭钻、搅拌器刮刀片、刨煤机刨刀、磨鞋、铣鞋、取芯钻头、渣浆泵转子、导向器以及

挖掘部件的防护和维修堆焊等冶金、矿山和石油等工业领域<sup>[6-8]</sup>。

关于硬质合金堆焊焊条的研制,美国 Eutectic 公司的技术较为成熟,研究的时间也较早,其研制的堆焊焊条具有较高的耐磨性能和使用价值,但是价格非常昂贵<sup>[9]</sup>。上世纪 80 年代初,国内哈尔滨焊接研究所最先开展堆焊焊条相关方面的研究工作<sup>[10]</sup>。本文采用 YD 型硬质合金颗粒与 Cu-Zn-Ni 基体合金材料自制狼牙棒状的硬质合金复合耐磨堆焊焊条,并与美国进口堆焊焊条进行对比分析研究,以期国产硬质合金堆焊焊条性能的改进,并进一步替代进口产品提供技术支持。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

试验用 YD 型硬质合金堆焊焊条有两种,1# 为

收稿日期:2019-10-22

基金项目:湖南省自然科学基金项目(2018JJ4060);国家级大学生创新创业训练计划平台项目(201811535021)

作者简介:蹇海根(1980-),男,湖南衡阳人,副教授,硕士生导师,博士(后),主要研究方向为新型焊材研发;电话:0731-22183451;

E-mail:11571@hut.edu.cn

美国进口堆焊焊条,2#为自制堆焊焊条。硬质合金类型为YG8。基体为 $\phi 5\text{ mm}\times 10\text{ mm}$  Cu-Zn-Ni合金材料。先将成型舟皿预热到 $550^\circ\text{C}$ ,用丙酮将硬质合金和基体材料清洗干净后,放入箱式电阻炉中加热,加热温度为 $950^\circ\text{C}$ ,保温时间为15 min,焊条成型后取出空冷。

## 1.2 试验方法

焊条力学拉伸性能测试在国产CSS-44100电子万能拉伸机上进行,试样为原始形状焊条,长度120 mm。引伸计标距 $L_e=25\text{ mm}$ ,测力传感器最大量程100 kN,拉伸速度为2 mm/min,原始标距采用划线50 mm的方法,断后伸长率用精度为0.02 mm的游标卡尺测量,并分别测试3组试样取平均值。拉伸断裂后,再观察分析断口形貌。

采用线切割截取部分试样,经机械预磨、抛光腐蚀后,在金相显微镜上进行显微组织观察,腐蚀液为自配的20 mL  $\text{HNO}_3+80\text{ mL H}_2\text{O}$ 溶液。然后采用Sirion2000扫描电镜进行高倍组织形貌观察,并对基体金属与硬质合金界面附近区域进行能谱定量分析,以检测界面两侧材料的元素扩散情况及其结合程度。硬度测试在HR-150型布氏显微硬度计上进行,取多点测试求取平均值。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 力学性能与成分分析

对两种硬质合金堆焊焊条分别进行硬度测试和化学成分分析,其结果如表1、2所示。可以看出,控制好加热温度和时间,防止合金元素的烧损,自制堆焊焊条的硬度和基体材料成分组成与进口焊条基本相当。

表1 堆焊焊条的硬度  
Tab.1 Hardness of build-up welding electrodes

试样	基体(HB)	硬质合金(HRA)
1#	165	90
2#	163	90

表2 堆焊焊条的化学成分(质量分数,%)  
Tab.2 Chemical composition of build-up welding electrodes (wt%)

试样	Cu	Zn	Ni	Co, Al, Si, Zr, Cr, Ti 等
1#	45.31	41.32	10.30	余量
2#	48.40	40.65	9.86	余量

对YD型硬质合金焊条的拉伸性能进行测试,其结果如表3所示。结果表明,两种YD型硬质合金

堆焊焊条的拉伸性能相差无几,抗拉强度和屈服强度分别达到了870 MPa和750 MPa以上,伸长率为8.0%左右。

表3 焊条的拉伸性能  
Tab.3 Tensile properties of build-up welding rods

试样	抗拉强度 $\sigma_b/\text{MPa}$	屈服强度 $\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	伸长率 $\delta(\%)$
1#	875	754	8.0
2#	871	750	7.9

进一步对拉伸焊条的断口进行观察发现,断口均发生在硬质颗粒的截面上,且没有发现硬质颗粒脱落现象,如图1所示,这说明基体材料与硬质合金的结合强度较高。

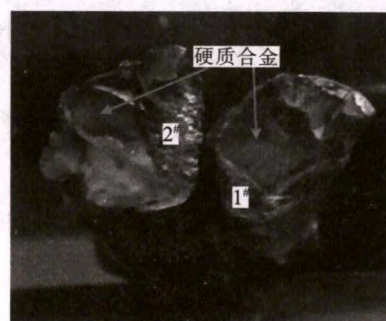


图1 堆焊焊条断口形貌  
Fig.1 Fracture appearance of build-up welding electrode

### 2.2 宏观形貌观察

对两种堆焊焊条进行宏观形貌观察,结果如图2所示。由图2可知,1#焊条呈狼牙棒状,成型效果良好,2#焊条狼牙棒状不明显。堆焊焊条中,基体合金需要将硬质合金包覆完全,对硬质合金起到连接和固定作用。为了达到良好的耐磨性能,需要提高硬质合金的质量百分比,国外堆焊焊条的硬质合金与基体金属的重量比一般控制为7:3。在试验的过程中,硬质合金与基体金属的重量比为7:3时,自制焊条的硬质合金出现了部分的裸露情况,为了达到完全的包覆效果,提高了Cu-Zn-Ni合金材料的质量百分比,约为6:4。由于基体合金材料的填充效果,造

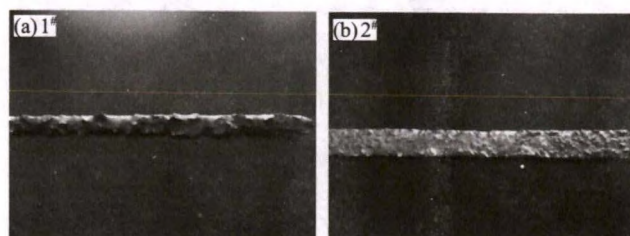


图2 堆焊焊条的宏观形貌  
Fig.2 Macroscopic appearance of build-up welding rods

成堆焊焊条的狼牙棒形效果稍差。

### 2.3 金相显微组织分析

对两种堆焊焊条进行金相显微组织观察,结果如图3所示。由图3可知,1#焊条的基体金属组织较为均匀,而2#焊条则为典型的双相铸态组织。两种堆焊焊条的基体金属与硬质合金的分界面均较为清晰,且在硬质合金与基体金属的结合处存在一定的过渡区。由于硬质合金与基体金属结合处的过渡区宽度直接影响到焊条的包覆效果和结合强度,所以有必要对结合区域元素的扩散情况进行分析。

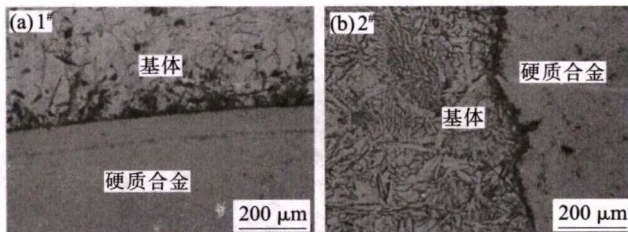


图3 堆焊焊条的金相组织

Fig.3 Metallographic structure of build-up welding electrodes

### 2.4 扫描形貌观察

对堆焊焊条进行进一步的高倍扫描形貌观察,其结果如图4所示。由图4可知,两种堆焊焊条的基体合金组织明显不同,这可能与焊条成型后的冷却方式和冷却速率有很大关系<sup>[1]</sup>。同时,1#焊条界面交错,硬质合金与基体金属相互嵌入,界面宽度更大。2#焊条界面则较为平滑,硬质合金与基体金属相互作用的界面宽度很小。

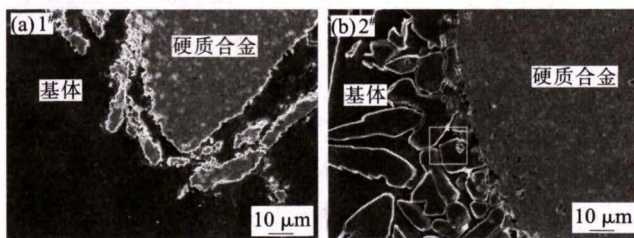


图4 堆焊焊条的扫描形貌

Fig.4 Scanning morphology of build-up welding electrodes

进一步对自制焊条的界面附近区域(图4中方框位置)进行能谱分析发现,靠近基体金属一侧有少量的C、Co、Ta等元素,具体情况如图5所示。这说明在结合界面附近区域存在元素扩散现象,这有利于提高硬质合金的包覆效果,以及与基体金属材料的结合强度。

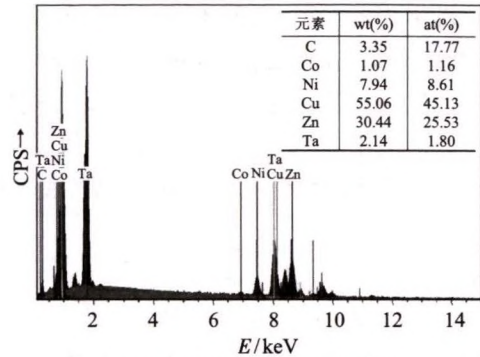


图5 堆焊焊条的能谱分析

Fig.5 EDS analysis of build-up welding electrode

## 3 结论与展望

(1) 对比试验分析表明,两种堆焊焊条的力学性能和化学成分差别不大,但1#焊条的表面质量更佳,呈狼牙棒状,这跟硬质合金与基体金属材料的质量配比以及包覆程度存在一定的关系。

(2) 需要进一步在硬质合金与基体金属材料质量配比、加热温度和保温时间对基体组织调控以及焊条成型后冷却方式等方面继续加以改进优化,以期制备出更高性能的硬质合金耐磨堆焊焊条。

### 参考文献:

- [1] 何实,李家宇,赵昆. 我国堆焊技术发展历程回顾与展望[J]. 金属加工(热加工),2009(22):25-27.
- [2] 王维民,颜维,李建伟,等. 硬质合金复合材料管状堆焊焊条的研制[J]. 硬质合金,2007,24(1):17-20.
- [3] 刘源,史雪芬,李艳,等. 硬质合金堆焊工艺规程的编制、评定和应用[J]. 化工装备技术,2011,32(1):28-32.
- [4] 李广霞,卢树臣,李爽,等. 高效硬质合金堆焊焊条及其工艺流程:CN102240867A[P]. 2011.
- [5] Mayer C. How to select hardsurfacing materials [J]. Welding Designer and Fabrication, 1982, 55(10):61-65.
- [6] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册第2卷[M]. 北京:机械工业出版社,1992:644-646.
- [7] 汤小文,黄本生,杨眉. 薄皮管硬质合金焊条的试验[J]. 焊接,1999(11):20-22.
- [8] 王新洪,李亚江,邹增大,等. 硬质合金复合耐磨堆焊焊条的研制[J]. 焊接技术,1999,6(3):25-27.
- [9] 李力军,杨瑞林. TiC硬质合金颗粒复合耐磨材料的研究[J]. 硬质合金,1995,12(4):193-197.
- [10] 汤小文,刘承杰,黄本生,等. 钻头齿面堆焊用硬质合金焊条的改进[J]. 石油矿场机械,2000,29(1):27-28.
- [11] 王新洪,邹增大,李亚江,等. 影响硬质合金耐磨焊条质量的因素及分析[J]. 山东机械,1999,6(2):14-15. [H]