

耐磨耐热堆焊焊条的制备研究

马江虹, 于月光, 薛文涛, 黄敬勇

(北京矿冶研究总院, 北京 100044)

摘要: 选择 Ni-Co-Cr-B-C 为基本合金体系, 经过机械球磨混合、挤压成形、真空烧结方法制备了耐磨耐热堆焊焊条, 采用钨极氩弧焊在高温铸造合金基材上堆焊耐磨耐热堆焊层, 对堆焊层的组成、结构进行了分析, XRD 分析和热力学计算表明焊层组成为 Co、Ni 为主的面心立方合金、 $M_{23}(C,B)_6$ 或 $M_{23}C_6$, 还有少量的 C_7M_3 和 M_3B_2 。洛氏硬度检测堆焊层的硬度平均值为 49.5HRC, 并且具有较好高温抗氧化性能。

关键词: 耐磨耐热; 堆焊焊条; 钨极氩弧焊; 高温抗氧化性

中图分类号: TG442.1

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)05⁺-0165-04

Research on the wear-resisting and heat-resisting deposit welding rode

MA Jiang-hong, YU Yue-guang, XUE Wen-tao, HANG Jing-yong

(Beijing General Research Institute of Mining & Metallurgy, Beijing, 100044, China)

Abstract: The wear-resisting and heat-resisting deposit welding rod with Ni-Co-Cr-B-C as the basic alloy system was prepared by mechanical ball milling mixture, sintering after extrusion shaping method. The welding layer on the high temperature casting alloy was obtained using the way of argon tungsten-arc welding. The component and the structure of the welding layer were characterized. XRD and thermodynamics calculation results show that the welding layer contains fcc-alloy containing Co and Ni, $M_{23}(C,B)_6$ or $M_{23}C_6$ and a small amount of C_7M_3 and M_3B_2 . The hardness average number of the welding layer with high temperature oxidation-resisting performance was HRC49.5.

Key words: wear-resisting and heat-resisting; deposit welding rod; argon tungsten-arc welding; high temperature oxidation-resisting performance

0 引言

磨损是使零件失效的一个重要原因, 尤其在高温条件下, 材料的抗磨性急聚下降, 采用钨极氩弧焊^[1]技术修补易磨损部件是一种简单方便而又行之有效的方法, 并能更合理利用材料, 从而获得优异的综合性能, 现已得到广泛应用。

通常使用的高温耐磨堆焊材料有镍基、铁基和钴基三类^[2-4]。铁基材料成本低, 硬度高, 耐磨性好, 但耐高温氧化和腐蚀性差; 钴基材料工艺性好, 具有优良的抗磨料磨损、抗腐蚀、抗冲击、抗热疲劳、抗氧化、抗金属-金属间磨损等特性, 但硬度较低且价格昂贵; 镍基材料合金化能力强, 组织稳定, 有害相少, 抗氧化、抗热腐蚀性能好, 可高温高应

力下工作, 价格比钴基材料低, 比铁基合金具有优良的钝化性和更高的热稳定性。

文中选用 Ni-Co-Cr-B-C 为基本合金体系、粘结剂和其他辅助原料作为堆焊焊条的合金成分, 采用机械混合球磨、挤压成形、真空烧结技术制备镍基复合堆焊焊条, 确定合适的工艺参数, 采用钨极氩弧焊堆焊耐磨耐热堆焊工作层。

1 试验过程

1.1 原料

工业用镍粉、石墨, 分析纯钴粉、铬粉, 硼粉 98%, 粘结剂。

1.2 设备

Y35-25 液压机, VQS-23 真空烧结炉, HITACHIS-3500N 扫描电镜, SX2-5-17 型箱式电

收稿日期: 2006-08-01

修回日期: 2006-09-20

作者简介: 马江虹 (1967-), 女(汉), 内蒙古赤峰人, 高工, 博士。

阻炉, Y-4Q 型 X 射线衍射仪, H-100 型洛氏硬度试验机, WS-400 型直流氩弧焊机。

1.3 试验过程

把原材料按照一定的配比混合球磨, 原料中各

种合金元素的含量如表 1。加入粘结剂进行挤压成形、1 020~1 100 °C 真空烧结制备堆焊焊条。选择合适堆焊工艺, 在镍基高温铸造合金上制备耐磨耐热堆焊层。堆焊工艺参数如表 2。

表 1 合金元素含量

Table1 The contain of alloy elements

元素名称	Ni	Co	Cr	C	B
含量 (质量分数/%)	余量	20.0~23.0	30.0~35.0	0.1~1.5	1.0~3.0

表 2 堆焊工艺参数

Table2 Processing parameters of welding

焊接极性	焊条直径/mm	电流/A	电压/V	焊接速度/(mm/min)	Ar 流量/(L/min)	焊后处理
直流反接	3.0	90~110	11~15	65	12	保温、缓冷

2 结果与讨论^[5-7]

2.1 焊条规格

$\phi=3.0$ mm, L=200~250 mm。焊条表面无裂纹、掉块、分层、混合物粉化现象。

2.2 焊接接头的金相分析

图 1 为焊接接头的金相组织照片。图中表明堆焊层、母材金属和介于二者之间的焊接热影响区三个部分。其中堆焊层为细腻树枝晶组织、母材基

体为存在方形或长方形析出 γ' 相的典型时效强化铸造高温合金组织。焊接热影响区, 即在金相照片上显示出亮白色的区域, 按比例计算宽度约为 1mm, 晶粒尺寸未发生变化, 也没有晶界加粗、晶界熔化、裂纹或其它缺陷。堆焊金属随焊接过程进行的熔化情况及一层层地堆敷纹络。金相图片中堆焊层金属熔流色彩明暗相交, 显示焊缝金属存在成分不均的偏析现象。

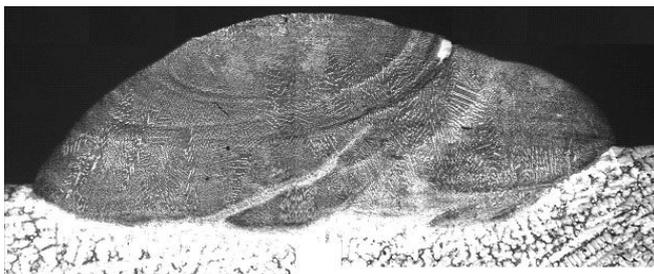


图 1 焊接接头的横断面金相组织照片

Fig.1 The metallurgical structure of soldered joint across section

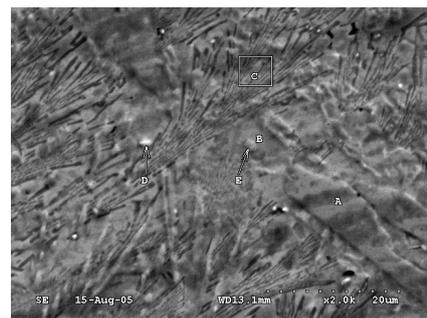


图 2 堆焊层的 SEM 照片

Fig.2 SEM image of welding layer

2.3 堆焊层组成分析

图 2 为堆焊层的 SEM 照片。为进一步分析焊层组织, SEM 金相分析, 热力学模拟计算确定合金相。

图 3 为堆焊层的 XRD 分析图谱。存在的相有 γ 基相, 是以 Co、Ni 为主的面心立方合金; M23(C,B)6 或 M23C6, 是以 Co、Ni、Cr 为主的碳化物。还有少量的 C7M3 和 M3B2。图 4 为堆焊层的热力学模

拟计算结果。表 3 为堆焊层中各种相的元素组成。 分析结果与 XRD 结果一致。

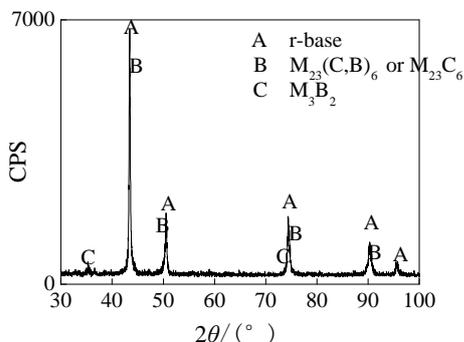


图 3 堆焊层的 XRD 分析

Fig.3 XRD pattern of welding layer

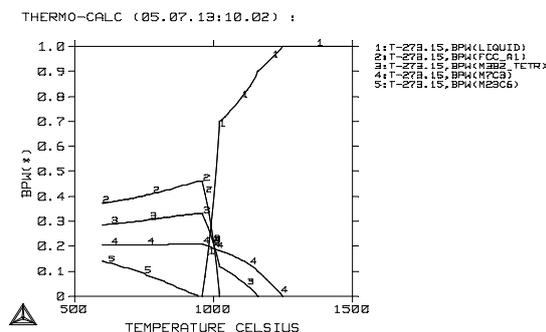


图 4 堆焊层的热力学计算结果

Fig.4 The results of thermodynamics calculation

表 3 整个焊层中各相的元素组成
Table3 The contain of welding layer

相	摩尔数	各种元素的质量分数	说明
Fcc-A1	2.8972×10^{-1}	Ni 6.535×10^{-1} ; Co 2.826×10^{-1} ; Cr 6.366×10^{-2} ; C 1.739×10^{-4} ; B 1.859×10^{-5}	以 Co 和 Ni 为主的面心立方合金
$M_{23}C_6$	1.314×10^{-1}	Co 6.005×10^{-1} ; Ni 2.351×10^{-1} ; Cr 1.179×10^{-1} ; B 4.576×10^{-2} ; C 7.428×10^{-4}	Co, Ni, Cr 为主的碳化物
M_7C_3	2.2798×10^{-1}	Cr 8.144×10^{-1} ; C 8.281×10^{-2} ; Co 7.863×10^{-2} ; Ni 1.845×10^{-2} ; B 5.671×10^{-3}	Cr_7C_3 , 和少量的 Co_7C_3 Ni_7C_3
M_3B_2	3.509×10^{-1}	Cr 5.657×10^{-1} ; B 1.173×10^{-1} ; Co 3.528×10^{-2} ; Ni 2.812×10^{-1}	Co、Ni、Cr 硼化物

2.4 堆焊层的机械性能

2.4.1 堆焊层的硬度

表 4 堆焊层的硬度

Table4 Hardness of welding layer

硬度	1	2	3	4	5	6	平均值
HRC	46	47	48	52	53	51	49.5

结果表明堆焊层的硬度平均值为 HRC49.5。说明焊层为高硬度材料。

B 与 Cr 元素容易形成硼化物硬质相, B 还能在合金中形成固溶体, 硼化镍和碳化硼等硬质化合物, 起到了弥散强化的作用, 较显著地提高合金焊

层的硬度和耐磨性。由于 B 的加入, 形成了高硬弥散分布的第二相粒子, 对基体起到弥散强化或沉淀强化的作用, 第二相质点数目越多, 直径越小, 弥散度越大, 其强化作用越明显。Cr 与 C 形成碳化物硬质相也利于提高硬度。

2.4.2 堆焊层的热裂纹敏感性

在镍基高温铸造合金上进行堆焊,焊前基材进行预热 300 °C,焊后缓冷。结果表明在焊接过程中没有热裂纹出现。

2.4.3 堆焊层的强度

表 5 所列的是两组焊接接头的室温拉伸强度值。接头强度极限值在 870—710MPa 之间。表明焊接接头的强度不低于基材金属的强度,与基材焊接时具有较好的结合力焊接接头的强度有保证。

表 5 焊接接头室温拉伸检测结果

Table5 Results of room-temperature tension experiment

试样编号	强度极限 σ_b /MPa	相对延伸率 δ_5 /%
1	710	2.0
2	870	3.0
3	820	3.5

2.5 堆焊层的高温性能

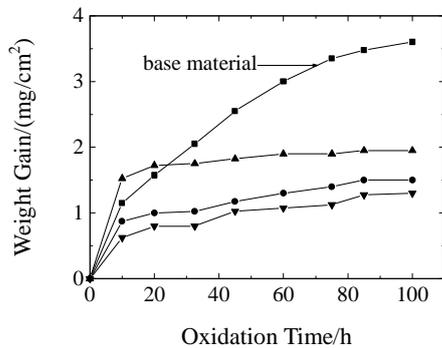


图 5 1 000 °C 氧化 100 h 的氧化动力学曲线

Fig.5 Curve of Oxidation-Weight Gain of high temperature oxide experiment

图 5 为堆焊焊层和基材 1 000 °C 高温的抗氧化曲线。100 h 高温氧化试验后,分别选择的三个试样和高温合金基材试样增重分别为: 1.3、1.5、1.9 和 3.6 mg/cm²,说明堆焊合金的高温抗氧化性能明显优于高温合金基体材料。合金中的 Cr 能显著改善抗氧化性能,在合金表面形成了一层致密的氧化

膜,阻止了合金的进一步氧化。

3 结 论

(1) 以 Ni-Cr-Co-B-C 为基本合金体系,各种合金元素的含量为 $w(\text{Co})=20\% \sim 23\%$; $w(\text{Cr})=30\% \sim 35\%$; $w(\text{C})=0.1 \sim 1.5\%$; $w(\text{B})=1.0\% \sim 3.0\%$; Ni, 余量。采用挤压成形、真空烧结的方法制备了耐磨耐热堆焊焊条,钨极氩弧焊在镍基高温铸造合金上堆焊耐磨耐热堆焊焊层。

(2) XRD、热力学模拟计算、SEM 分析表明堆焊层的组成主要为以 Co、Ni 为主的面心立方合金的 γ 基相;以 Co、Ni、Cr 为主的碳化物 $M_{23}(\text{C},\text{B})_6$ 或 $M_{23}\text{C}_6$,还有少量的 C_7M_3 和 M_3B_2 。

(3) 堆焊层的硬度平均值为 49.5HRC,强度极限值在 870~710 MPa 范围内,高温抗氧化性能明显优于高温合金基体材料。

参考文献:

- [1] 白津生. 夏利轿车铜合金模具 TIG 堆焊工艺的研究 [J]. 焊接技术, 1995, 2:16-17.
- [2] 上海市机械制造工艺研究所, 金相分析技术 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987: 420-472.
- [3] 《高温合金相图谱》编写组. 高温合金相图谱 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1981: 1-50.
- [4] 王笑天. 金属材料学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987: 171-215.
- [5] 黄文哲, 王泽万, 等. 镍基 1 号焊条的性能及其应用 [J]. 焊接, 1981, (3): 8-12, 28.
- [6] 张清辉. 镍铬硼硅电焊条的研究 [J]. 湘潭大学学报 (自科版), 1999, 21 (2): 87-90, 97.
- [7] 吴政军, 季杰, 等. 铬硼及硬质相形态在高温耐磨堆焊合金中的作用 [J]. 沈阳工业大学学报, 1997, 19(2): 74-78.

作者地址: 北京西直门外文兴街 1 号 100044

北京矿冶研究总院金属材料研究所

Tel: 010-88399172

E-mail: majianghong@sohu.com