

耐候钢埋弧焊丝配套焊剂合金化研究

蔡俊, 杨恒闯, 续杰, 刘东

武汉铁锚焊接材料股份有限公司 湖北武汉 430084

摘要: 为使耐候钢配套埋弧焊丝及焊剂熔敷金属的耐候指数不低于6.5, 在SJ101氟碱型烧结焊剂的基础上, 通过合金化处理, 研究了不同Ni、Cu、Mo合金添加量的焊剂与焊丝TH550-NQ-Ⅲ匹配时, 其熔敷金属的力学性能和耐候指数。

关键词: 耐候钢; 焊剂; 合金; 耐候指数

1 序言

耐候钢指通过添加少量合金元素, 如Cu、P、Cr、Ni、Mn、Mo、Al、V、Ti及Re等, 使其耐大气腐蚀性能获得明显改善的一类低合金钢。耐候钢目前在桥梁建设中的, 应用范围越来越广。采用耐候桥梁钢主要有以下优点^[1]: ①节约桥梁初期建造成本; 工厂不用涂装。②降低桥梁全寿命成本: 减少了后期维修养护要求。③采用不涂装工艺后减少环境污染。一般认为, 当耐候钢其耐候指数 ≥ 6 或6.5时, 使用时可免涂装使用。从2010年至今, 我国耐候钢桥进入了一个快速发展的时期, 配套焊接材料的需求也迅猛增长。本文旨在研发一种用于Q420qNH耐候钢埋弧焊丝的配套焊剂, 通过对焊剂进行合金化处理, 达到其与焊丝搭配时耐候指数 ≥ 6.5 。

2 焊剂合金化试验过程

2.1 合金元素的作用

Cu是常见的耐腐蚀元素, 含有Cu元素的钢在腐

蚀过程中, 其表面产生Cu元素富集现象, 在腐蚀层和Cu的富集层之间形成一层致密的氧化铜中间层, 可减缓组织腐蚀介质继续向内侵蚀^[2]。Ni元素可提高钢的自腐蚀电位, 增加钢的稳定性。Mo元素也可提高钢的耐蚀性, 促进非晶态氧化膜的形成, 从而减缓腐蚀速率^[3]。

2.2 焊丝的选择

焊丝选用符合《铁道车辆用耐大气腐蚀钢及不锈钢焊剂材料》标准中的TH550-NQ-Ⅲ, 其化学成分标准值及实测值见表1。当埋弧焊丝TH550-NQ-Ⅲ选用市售SJ101焊剂时^[4, 5], 由其熔敷金属化学成分计算的耐候指数达不到6.5, 耐候指数计算公式见式(1)。为使耐候指数 ≥ 6.5 , 采用埋弧焊丝TH550-NQ-Ⅲ时, 可以通过将焊剂合金化的方式提高焊缝金属的耐候指数, 从而提高焊缝的耐候性能^[6]。

耐候指数计算公式如下:

$$P=26.01(w_{Cu})+3.88(w_{Ni})+1.20(w_{Cr})+1.49(w_{Si})+17.28(w_P)-7.29(w_{Cu})\times(w_{Ni})-9.10(w_{Ni})\times(w_P)-33.39(w_{Cu})^2 \quad (1)$$

表1 TH550-NQ-Ⅲ焊丝化学成分 (质量分数)

(%)

元素	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni
标准值	≤ 0.12	1.00~2.00	≤ 0.35	≤ 0.025	≤ 0.020	0.20~0.50	0.30~0.90	0.20~0.80
实测值	0.10	1.22	0.34	0.014	0.015	0.24	0.37	0.22

2.3 焊剂合金化试验方案

研究的焊剂以FB型氟碱性烧结焊剂为基础, 通过添加Ni、Cu、Mo合金对其进行合金化处理, 通

过检测熔敷金属力学性能及计算耐候指数确定Ni、Cr、Mo合金的添加范围。氟碱性烧结焊剂的成分见表2, 在焊剂中设计的Ni、Cu、Mo合金添加量表

3, 共设计6组试验, 其中试验编号为S1~S3焊剂的Cu、Mo含量不变, 添加不同含量的Ni合金; 试验编号为S4~S6的焊剂在S1~S3试验的基础上保持Mo含量不变, 但提高了Cu含量, 在提高Cu含量的条件下调整Ni含量。

试验编号为S1~S6的焊剂其碱度在1.6~1.7pH之间, 当合金成分变化时, 以SiO₂为变量进行了调整。

表2 氟碱性烧结焊剂成分 (质量分数) (%)

焊剂	CaO+MgO+CaF ₂ +MnO	SiO ₂	CaF ₂
含量	≥50	≤20	≥15

表3 焊剂化学成分 (质量分数) (%)

编号	Ni	Cu	Mo
S1	1~2	0.2~0.5	0.5~1.0
S2	2~3	0.2~0.5	0.5~1.0
S3	3~4	0.2~0.5	0.5~1.0
S4	1~2	0.6~0.9	0.5~1.0
S5	2~3	0.6~0.9	0.5~1.0
S6	3~4	0.6~0.9	0.5~1.0

2.4 熔敷金属试验

将试验焊剂S1~S6委托焊剂厂按照氟碱性焊剂的配比制备。将焊丝TH550-NQ-Ⅲ分别与编号为S1~S6的焊剂进行熔敷金属试验, 母材为460钢板, 460钢板的化学成分及力学性能见表4, 尺寸为500mm×200mm×20mm, 焊接参数见表5。

表4 460钢板化学成分及力学性能

化学成分 (质量分数, %)												力学性能				
C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ti	Cu	Nb	Ni	V	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率 (%)	(-40℃) 冲击吸收能量 /J	厚度方向 伸长率 (%)
0.16	1.5	0.28	0.015	0.02	0.18	0.005	0.002	0.02	0.03	0.01	0.07	496	613	24.5	257、249、279	47、48、54

表5 焊接参数

焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度 /cm·min ⁻¹	道间温度/℃
4.0	530	30	40	155

2.5 试验结果

熔敷金属力学性能见表6, 化学成分及相应的耐候指数计算结果见表7。

表6 熔敷金属力学性能

编号	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率 (%)	(-40℃) 冲击吸收能量/J
S1	594	496	24.5	80、85、86
S2	615	505	23.5	91、89、95
S3	598	490	24.0	103、110、109
S4	615	502	22.0	76、85、77
S5	622	508	21.0	82、78、78
S6	606	495	23.0	94、103、99

表7 熔敷金属化学成分及耐候指数计算结果

编号	化学成分（质量分数，%）									耐候指数
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	
S1	0.07	1.49	0.35	0.012	0.01	0.56	0.34	0.32	0.12	6.84
S2	0.06	1.25	0.31	0.0094	0.029	0.71	0.3	0.34	0.19	6.90
S3	0.064	1.32	0.37	0.01	0.0037	0.86	0.35	0.4	0.16	7.31
S4	0.068	1.32	0.4	0.02	0.0063	0.6	0.39	0.48	0.16	6.31
S5	0.07	1.56	0.3	0.016	0.0057	0.9	0.36	0.59	0.17	4.36
S6	0.048	1.38	0.34	0.019	0.0042	0.94	0.35	0.54	0.15	5.34

3 分析与讨论

3.1 Ni元素和Cu元素对力学性能的影响

由表5和表6可知，编号S1~S6的试验结果中，力学性能均较好。对比S1、S2和S3可知，随着Ni合金添加量的增加，低温冲击吸收能量有上升趋势，但增量不大。对比S4、S5和S6可知，低温冲击吸收能量随着Ni合金添加量的增加而提升，与S1、S2和S3的变化趋势相同。

对比S1与S4、S2与S5、S3与S6，未见力学性能有明显变化。故Cu的添加量在0.2%~0.9%之间变化时对力学性能影响不显著。

3.2 Ni元素和Cu元素对耐候指数的影响

对比S1~S6共6组试验计算的耐候指数，S1~S3的耐候指数均>6.5，而S4~S6的耐候指数均<6.5。由表6可见，随着Ni合金添加量的增加，耐候指数略有提升；而当Cu元素含量增加时，其耐候指数明显下降。

3.3 工艺性能分析

试验焊剂S1~S6的合金成分变化时，以SiO₂为变量调整，碱度未发生明显变化。按照表5的焊接参数进行焊接时，焊接工艺未见明显变化，焊缝成形美观，波纹细腻，脱渣良好，可操作性佳。

4 结束语

通过对耐候钢配套埋弧焊丝用焊剂进行合金化处理，以焊丝TH550-NQ-Ⅲ为试验对象，研究了焊剂中不同Ni、Cu、Mo合金添加量对熔敷金属力学性能和耐候指数的影响。

1) 按照设计的合金添加量，6组不同合金含量的焊剂与焊丝TH550-NQ-Ⅲ匹配的熔敷金属力学性能均较好，工艺性能优异。

2) 随着Ni合金添加量和碱度的增加，耐候指数略有上升，低温冲击吸收能量也有上升趋势，但增量不大，说明Ni元素对强度没有明显的影响。

3) 当Cu含量在0.2%~0.9%变化时，随着Cu合金添加量的增加，其对性能没有明显影响，但耐候指数明显降低。

4) S1~S3试验焊剂均可满足熔敷金属力学性能要求和耐候指数要求，工艺性也良好。

参考文献：

[1] 王磊，高彩茹，王彦锋，等.我国桥梁钢的发展历程及展望[J].机械工程材料，2008，32（5）：1-3.
[2] 常风华，孙学君.耐候钢埋弧焊用焊剂/焊丝的研制[J].焊接，2004（10）：28-31.
[3] 王博.锰、铬及钒氮合金化在低碳耐候钢中的作用机理[D].沈阳：东北大学，2007.
[4] 付贵勤，汪锋，高新亮，等.Cu对耐候桥梁钢耐腐蚀性能的影响[J].材料与冶金学报，2011，10（4）：268-272.
[5] 王秀菊，宋迪，张剑峰，等.桥梁用耐候钢焊接技术研究[J].金属加工（热加工），2020（1）：20-22.
[6] 肖晓明.高强高耐候焊材及接头组织性能研究[D].北京：钢铁研究总院，2014.

MW 20210302