

LPG船用低温钢配套药芯焊丝的研制

王亚彬, 聂建航, 张文军

洛阳双瑞特种合金材料有限公司 河南洛阳 471000

摘要: 主要介绍了LPG船用低温钢配套药芯焊丝的研制方法、路线以及这种药芯焊丝所具备的工艺性能及力学性能水平。通过对药芯焊丝渣系及合金系的选择, 控制微量元素优化焊缝组织, 改进药粉的制造工艺, 所得到的药芯焊丝电弧稳定性好, 成形美观, 低温力学性能优异, 扩散氢较低, 可满足LPG船用低温钢配套焊材的要求。

关键词: 低温钢药芯焊丝; 焊接工艺性; 低温冲击吸收能量; 扩散氢

1 序言

近年来随着经济及工业的全面发展, 我国对液化石油气 (LPG) 等能源储备的需求越来越明显。由于这些能源的生产、储备、运输都采用液化方式, 相关的储存设备也在较低温度下工作, 这对LPG储罐在低温下的性能提出了较高的要求。国内各大钢厂致力于LPG船用碳锰低温钢板的研发, 改善了LPG船用低温碳素钢大量依赖日本进口的局面。在配套焊材方面目前我国主要依赖进口日本、韩国的焊材。而进口焊材成本高、生产周期长, 在

储罐的建造上有受制于人的风险, 因此LPG船用低温钢配套焊材的国产化具有重要意义^[1]。

建造LPG船用低温储罐常用的焊接材料有焊条电弧焊、埋弧焊及气体保护焊等。焊条电弧焊主要依赖手工焊, 焊接效率低。埋弧焊适合的焊接位置较少, 全位置焊接尤其是储罐的纵缝焊接受到限制。而药芯焊丝作为一种气体保护焊, 其自动化程度较高, 焊接效率得到极大提高, 且焊接工艺性较好的药芯焊丝可适用全位置焊接。鉴于以上情况, 我公司进行了E81T1-K2C药芯焊丝的研制。

表1 不同型号内磁体焊接参数

规格及型号 /kW	材料厚度 /mm	焊接电源	焊接电流 /A	气体流量 /L·min ⁻¹	焊接速度 /m·min ⁻¹
1.5、2.2	0.85	直流	20~25	6~7	0.9~1.1
3、4	1	直流	20~25	6~7	1~1.2
5.5、7.5	1~1.2	直流	20~30	7~8	1~1.2
11、15	1~1.5	直流	20~35	8~10	1~1.2
18.5、22	1~1.5	直流	20~35	8~10	1~1.2
30、37	1.2~2	直流	25~40	10~15	1.2~1.5



图4 焊接后的内磁体

参考文献:

- [1] 张玲, 徐创文, 史志成, 等. 磁力驱动泵隔离套平焊工艺设计及焊接参数分析[J]. 焊接, 2017 (1): 32-35.
- [2] 王增艳, 高自建. 磁力驱动泵使用情况[J]. 中国氯碱, 2005 (10): 24-24.
- [3] 陈伟. 国内磁力驱动泵的现状和发展[J]. 化工设备与管道, 1994 (3): 45-51.
- [4] 海显忠. 磁力驱动泵的正确使用与维护[J]. 化学工程与装备, 2010 (10): 92-93.
- [5] 李明义, 孟祥岩, 王家斌. 大功率磁力驱动泵的研制[J]. 排灌机械工程学报, 1999 (2): 3-6.

MW 20191201

2 研制路线

2.1 焊丝的渣系设计

根据焊渣的酸碱度,药芯焊丝可分为碱性(钙型)药芯焊丝、中性(钙钛型)药芯焊丝、酸性(钛型)药芯焊丝。碱性渣系药芯焊丝容易得到氧含量低的纯净焊缝,同时去S、P杂质的能力强,焊缝金属力学性能优异,但焊接工艺性差。中性药芯焊丝工艺性优于碱性药芯焊丝,但仍不能满足该药芯焊丝全位置焊接的要求。氧化钛型渣系熔渣流动性好,适合全位置焊接。

2.2 焊丝的工艺性改进

本次研究主要解决焊缝成形不良及焊接飞溅的问题。焊道成形凸起会导致根部熔合差,不能够实现快速立向上焊,甚至导致焊道下淌。通过调节焊渣成分,减少焊渣中氧化镁等高熔点物质以及硅酸盐等低熔点物质,缩小焊渣的熔点区间。

电弧稳定性差、焊接飞溅较大的药芯焊丝操作性较差,焊接过程中产生的飞溅导致焊接条件恶劣,引起导电嘴堵塞,影响焊接效率。本次研究通过控制原材料粒度、引入新型的稳弧剂以及调整合金及矿物粉的比例,解决了电弧稳定性及飞溅的问题。

2.3 力学性能调整

液化石油气的主要成分丙烷的液化温度在 -42°C 。宝钢正在研制的用于配套LPG船用EH40钢板在 -60°C 以下的冲击吸收能量值比较稳定,表现出很好的低温韧性。工程应用中要求LPG船用低温钢配套药芯焊丝在 -60°C 具有较好的低温韧性。本次研制从以下几个方面来优化该焊丝的低温韧性。

(1) 合金系的选择 该焊丝选择Mn-Si-Ni作为主要合金系,通过Si、Mn等合金元素的固溶强化作用提高焊缝金属的抗拉强度。Ni固溶在焊缝金属中可有效降低组织相变温度,减小针状铁素体尺寸,提高焊缝金属低温冲击韧度。在焊缝金属中Mn含量较低的情况下,添加适量的Ni可以减少马奥组元(M-A)的产生。如果Mn含量较高时,增加的Ni反而容易促进M-A组元的产生,为了保证焊缝金属的强韧性,需选择合适的Mn含量与Ni含量。

(2) 氧含量的控制 根据观察焊缝的显微组织,焊缝中的氧以氧化物夹杂的形式存在,焊缝中

较多的氧化物夹杂不能够促进晶粒细化,反而会成为裂纹的起点,从而引起韧性降低^[2]。本次研究采用镁粉及铝镁合金共同脱氧。Mg、Al作为前期脱氧剂,脱氧能力较强,通过对配方中镁粉及铝镁合金的合理配比,能够显著降低焊缝中的氧含量。

(3) 采用钛-硼系增加韧性 研究表明,Ti可保护B不被氧化,由于B的原子半径较小,可作为原子状态偏聚于晶界,从而降低界面能,改善焊缝的低温韧性^[3]。

2.4 熔敷金属扩散氢的控制

药芯焊丝药粉易吸潮的特点导致了高扩散氢。高扩散氢在焊缝中聚集形成冷裂纹、氢气孔和白点等缺陷,在焊接生产中产生极大危害。本次研究对药粉的含水量及吸潮性进行严格控制,同时对药粉进行高温烧结,将扩散氢控制在较低水平。

3 试验结果及分析

3.1 焊接工艺性

对规格为 $\phi 1.2\text{mm}$ 的药芯焊丝进行了立向上焊角焊缝、平焊角焊缝,两种位置的工艺性试验。该焊丝的焊接电弧稳定,飞溅较小,角焊缝成形平整,如图1所示。采用汉诺威分析仪对该药芯焊丝进行焊接过程中的参数统计(见图2),得知电弧电压、焊接电流的波形密集,熔滴短路次数均匀,表明该焊接电弧稳定性较好。



a) 立向上焊



b) 平角焊

图1 焊缝成形

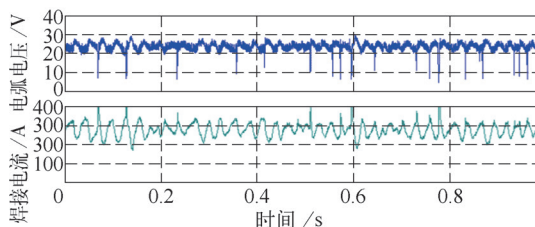


图2 药芯焊丝电弧电压、焊接电流波形图

3.2 力学性能

(1) 熔敷金属力学性能及化学成分 试板装备及取样位置按照GB/T 17493—2008《低合金钢药芯焊丝》进行,冲击试样尺寸、加工要求及试验方法按照GB/T 2650—2008《焊接接头冲击试验方法》进行。焊接设备为松下KR II-500CO₂焊机,冲击性能检测在ZBC2302-B冲击试验机上进行。取熔敷金属的横截面做金相试样,在全谱直读等离子体发射光谱仪上做化学成分分析。

调整配方中Mn、Ni的配比,同时保证其他元素含量不变,得到的熔敷金属化学成分及力学性能见表1及表2。第1组中,熔敷金属的Mn、Ni含量均较高,生成M-A组元,焊缝的强度高,冲击下降;第2组的Mn含量较低,导致焊缝脱氧不足,冲击吸收能量离散性较大。调整合理的熔敷金属成分,在-60℃的低温下得到比较优异的力学性能。

表1 熔敷金属成分(质量分数) (%)

组次	C	Si	Mn	Ni	Ti	B
1	0.035	0.192	1.45	1.98	0.054	0.0043
2	0.037	0.199	0.98	1.60	0.055	0.0039
3	0.038	0.187	1.2	1.55	0.063	0.0047

表2 熔敷金属力学性能

组次	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	断后伸长率 (%)	冲击吸收能量 /J (-60℃)
1	670	615	22.0	60、89、32
2	601	546	24.5	55、110、98
3	613	561	26.0	102、131、124

(2) 对接接头力学性能 对接接头是该药芯焊丝的焊缝金属在工程应用中的实际服役状态,是工程中考核的要点。平对接及立对接的力学性能见表3。

表3 对接接头力学性能

焊接位置	抗拉强度 /MPa	冲击吸收能量 /J (-60℃)	正、反弯 ($D=3a$, $\alpha=180^\circ$)
平对接	638	78、63、60	无裂纹
立对接	621	70、72、77	无裂纹

对该焊丝的平对接及立对接焊缝金属进行系列温度冲击试验,检测结果见表4。冲击温度下降到-60℃以下时,该焊缝出现了韧脆转变。

3.3 熔敷金属的扩散氢

将药粉中氟化钠、金红石、石英、氧化铝、固体水玻璃等易吸潮的物质进行600℃、700℃、

表4 对接接头系列冲击力学性能

试验温度/℃	冲击吸收能量/J	
	平对接	立对接
-20	120、141、120	115、130、101
-40	110、98、113	114、90、110
-60	78、63、60	70、72、77
-80	41、25、37	54、39、21

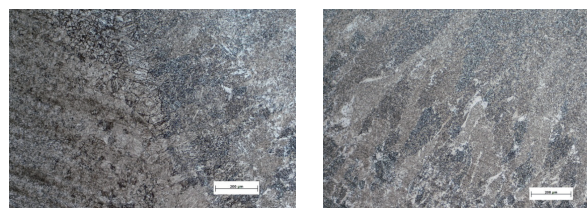
800℃高温烧结后使用。不同的烧结温度得到的药芯焊丝的熔敷金属扩散氢见表5。经过高温烧结后得到的药芯焊丝其熔敷金属扩散氢有明显下降。基于节省能耗考虑,选择600℃作为药粉的烧结温度。

表5 不同烧结温度的扩散氢

烧结温度/℃	未烧结	600	700	800
扩散氢含量/mL·(100g) ⁻¹	6.56	3.99	4.21	3.86

3.4 焊缝金属的金相组织

图3为对接接头的金相组织显微。图3a为熔合线处金相组织,左边是钢板,右边是焊缝;图3b为焊缝中心金相组织,由块状铁素体、针状铁素体及少量的粒状贝氏体组成。



a) 熔合线 b) 焊缝中心

图3 对接接头金相组织

4 结束语

经过对工艺性、力学性能及扩散氢的研制,该药芯焊丝焊接工艺性良好,可满足全位置焊接;低温韧性优异,满足-60℃要求的低温韧性;且具有较低的扩散氢水平,因此该药芯焊丝可满足LPG船用低温钢配套焊接使用。

参考文献:

- [1] 黄晓艳,刘波.舰船用结构材料的现状与发展[J].船舶,2004(3):21-24.
- [2] 于航,俞树国,王慧源,等.氧对00Cr13Ni5Mo熔敷金属组织和韧性的影响[J].焊接学报,2014,35(6):109-112.
- [3] 张文钺.焊接冶金学[M].北京:机械工业出版社,1999:153-154.