

全位置自保护药芯焊丝工艺性能分析

朱珍彪, 姚润钢

(中国船舶重工集团公司第七二五研究所, 河南 洛阳 471023)

摘要: 自保护药芯焊丝多为高碱性渣系焊接材料, 焊接工艺性较差。药芯组分对自保护药芯焊丝的全位置焊接性、电弧稳定性、飞溅性等工艺因素有重要影响。本文分析了 Fe_2O_3 、 CaCO_3 、 Al-Mg 、 BaF_2 及 Fe 粉等药芯组分对工艺性的影响。研究表明: Fe_2O_3 、 CaCO_3 、 Al-Mg 、 BaF_2 及 Fe 粉的质量分数分别为 9% ~ 13%、8% ~ 12%、10% ~ 20%、5% ~ 10%、40% ~ 50% 时, 工艺性良好。此外, 药芯组分的预处理、钢带的清洗以及填充率的控制等加工制造过程对工艺性也有重要的影响, 要严格控制各个环节。

关键词: 自保护药芯焊丝; 焊接工艺性; 电弧稳定性; 飞溅性

中图分类号: TG 422.3 文献标识码: A

Analysis on All-position Operational Performance of Self-shielded Flux Cored Wire

ZHU Zhen-biao, YAO Run-gang

(Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471023, China)

Abstract: Most of self-shielded flux cored wires are high alkalinity slag welding consumables, so their operational performance is poor. The composition of flux has an important influence on operational performance such as all position operational performance, arc stability, spatter etc for self shielded flux cored wires. Effect of cored compositions of Fe_2O_3 , CaCO_3 , Al-Mg , BaF_2 and Fe powder on operational performance was analyzed in this paper. Research shows that such a composition of 9% ~ 13% Fe_2O_3 , 8% ~ 12% CaCO_3 , 10% ~ 20% Al-Mg , 40% ~ 50% BaF_2 and 5% ~ 10% Fe powder (mass percentage) brings the flux cored wires good operational performance. In addition, pretreatment on core component, strip cleaning and controlling on filling ratio etc fabrication processes also have an important effect on operational performance. So these fabrication processes should be strictly controlled.

Keywords: self-shielded flux cored wire; operational performance; arc stability; welding spatter resistance

自保护药芯焊丝是一种跨世纪的新型焊接材料, 1959 年公开的美国专利 2909778^[1] 首次提出了自保护药芯焊丝的概念, 经过了近 50 多年的发展, 已经出现了一些工艺性能和力学性能都比较令人满意的优质产品。自保护药芯焊丝以其优良的抗风能力和便捷的操作方式, 广泛应用于油气管道、高层建筑、海洋平台、桥梁等气体和辅助设备不容易运送到的场合^[2], 是一种节能型焊接材料。近年来, 我国也加强了对自保护药芯焊丝的研究工作, 并取得了一定成果^[3-5]。

但是自保护药芯焊丝在应用上仍然有一些不足之处, 如焊接电弧不稳定、飞溅大、烟尘较

多; 立、仰焊时有淌渣现象, 造成熔池的不清晰、焊工不易操作; 抗气孔性能差等。

因此, 本试验拟采用强碱性渣系的设计理念, 利用碱性焊接材料具有的低氢、高韧性、高抗裂性和优异的力学性能, 以期提高碱性渣系自保护药芯焊丝的操作工艺性能。

1 实验

1.1 实验材料

采用高碱性渣系设计思想, 通过调整药芯中 LiF 、 Fe_2O_3 、 CaCO_3 、 Al-Mg 、 Mn-Fe 、 Fe 粉和 BaF_2

收稿日期: 2012-08-24

作者简介: 朱珍彪, 男, 1985 年生, 中国船舶重工集团公司第七二五研究所, 在读硕士。E-mail: zhen66biao_6@163.com。

的含量,自制自保护药芯焊丝。选取渣系中几个主要组分为变量因子,分别做这几个变量因子对工艺性的影响规律试验;焊丝外皮采用普通低碳钢带制作,钢带规格为 0.6 mm×12 mm;焊丝药芯填充比为 (22.5±0.5)%,焊丝直径为 1.6 mm。药芯组分如表 1。

表 1 配方主要成分

| Table 1 Flux additions in flux core(w) % | | | | |
|---|-------|-------------------|--------------------------------|------|
| BaF ₂ | Al-Mg | CaCO ₃ | Fe ₂ O ₃ | Fe |
| 20~60 | 5~25 | 0~20 | 5~21 | 0~20 |

1.2 实验设备及方法

焊接使用林肯 KR II-500 型直流焊机,用自制焊丝在管线钢上进行焊接工艺性能评定试验。焊管规格为 φ650 mm×1 000 mm,厚 10 mm。焊接工艺参数如表 2。

表 2 熔敷金属焊接工艺参数

| Table 2 Welding parameters for deposited metal | | | |
|--|-------------|---|----------|
| Voltage U/V | Current I/A | Wire Feed Rate /(cm · s ⁻¹) | Polarity |
| 19~26 | 230~280 | 3.5 | DCEN |

1.3 工艺性能评定

利用自制焊丝在管线钢环焊缝上进行全位置焊接性、飞溅性、电弧稳定性等工艺性能评定。

焊接全位置的评价:由专业焊接技师不断地变换操作手法进行综合评价。

焊接飞溅率测试:飞溅收集装置如图 1。

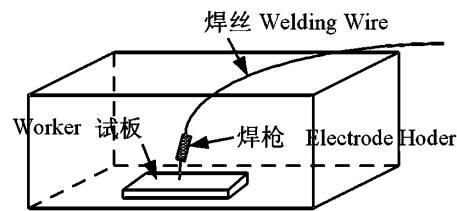


图 1 飞溅收集装置示意图

Fig. 1 Welding spatter test equipmen

2 试验结果分析与讨论

工艺性能实验结果见表 3。

表 3 试验结果
Table 3 Test results

| Ingredients | | Test results | | | | |
|---|----------------------------|--------------|---------------|---------------|-----------|------------|
| BaF ₂ | mass ratio | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| Fe ₂ O ₃ | operational performance | poor | poor | good | good | no-forming |
| | welding spatter resistance | small | slightly more | slightly more | much | very much |
| | arc stability | abnormal | abnormal | good | abnormal | poor |
| | mass ratio | 5 | 9 | 13 | 17 | 21 |
| | operational performance | poor | very good | good | poor | no-forming |
| CaCO ₃ and LiCO ₃ | welding spatter resistance | small | slightly more | much | much | very much |
| | arc stability | good | good | good | poor | very poor |
| | mass ratio | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 |
| | operational performance | poor | good | good | good | poor |
| | welding spatter resistance | small | much | much | very much | very much |
| Al-Mg | arc stability | poor | good | very good | abnormal | poor |
| | mass ratio | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| | operational performance | poor | good | very good | good | abnormal |
| | welding spatter resistance | abnormal | abnormal | slightly more | much | very much |
| | arc stability | abnormal | good | good | good | poor |
| Iron Powder | mass ratio | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| | operational performance | abnormal | 良好 | good | poor | no-forming |
| | welding spatter resistance | abnormal | small | small | small | very small |
| | arc stability | poor | good | good | abnormal | poor |

2.1 全位置焊接性

管线钢接头对接时,要求在焊接规范不变的情况下,焊工能相继完成平焊、立向下焊、仰焊等多个焊接位置。立焊时,熔滴在重力作用下不易向熔池过渡,熔池金属和熔渣易下淌,甚至焊缝不能成形。为满足这一要求,熔渣应具备短渣的特点以及熔渣在电弧区内粘度适中,流动性好,铺展的开,有利于冶金反应的充分进行和气体、熔渣能及时浮出。而当电弧移开后,熔渣粘度要迅速增大并快速凝固,有利于防止熔渣下淌,从而有效的托住铁水防止下淌。

改善全位置焊接性的方法有两种:一是适当增加电弧和气流的吹力,以便把熔滴送向熔池并阻止金属和熔渣下淌;另一种方法是调整熔渣的物理性质(粘度、表面张力、熔点等),防止熔渣和金属下淌,并使熔渣在较高的温度和较短的时间凝固。碱性焊材药芯组分所用氟化物大多为 CaF_2 ,本试验采用的氟化物为 BaF_2 。自保护药芯焊丝中随着 BaF_2 含量的增加,立焊性能提高,结果见表3。

(1) Ba 的化合物在焊接过程中可以支持很短的电弧,对于 $\text{BaF}_2\text{-Al}$ 系药芯焊丝电弧电压仅为 13 ~ 14 V 时即能顺利燃烧^[6],焊接时较短的电弧具有两个方面的优点:一是在全位置焊接时,在某一给定电流下降低了电弧能量和焊丝熔化速度,熔池相对较小,便于控制;另外,由于电弧较短,缩短了熔滴穿过弧柱所需时间,从而降低了空气中有害气体的侵害。

(2) 以 BaF_2 为主渣系的熔渣,凝固温度区间较小,则意味着当电弧移开后熔渣能迅速凝固,即能够形成短渣,这一特点对焊丝在立下向焊或仰焊位置焊接具有重要意义,有助于实现焊丝的全位置焊接。实验发现,药芯粉中的 BaF_2 在 40% ~ 50% 时有利于全位置焊接。

熔渣的粘度是焊接熔渣重要物理性质之一,粘度对渣的保护效果、飞溅、焊接操作性、焊缝成形、熔池中气体的外逸、合金元素在渣中的残留损失、全位置焊接能力、化学反应活泼性等都有显著的影响。因此控制熔渣的粘度是保证焊接过程正常进行的重要条件。 BaF_2 过多时,超过 50% 时会降低渣的熔点,全位置性变差。本实验通过增加 CaCO_3 来提高渣的粘度,大理石分解后

的 CaO 能够提高渣的表面张力。焊接材料的全位置焊接性除了与熔渣的粘度有关外,还与熔渣的表面张力有关。氧化物的表面张力和其内离子间的键能有关。高熔点氧化物 CaO 、 MgO 、 ZrO_2 、 MnO 是具有离子键的物质, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 和 Zr^{4+} 阳离子的综合距较大,与综合距较大的阴离子相结合时,结合力较强,所以随着这些物质占熔渣成分的增加,表面张力增加,有助于阻止液态金属和熔渣下淌。实验发现,药芯粉中的 CaCO_3 在 8% ~ 12% 时有利于全位置焊接。其他组分对全位置焊接性的影响结果见表3。

2.2 飞溅性

自保护药芯焊丝的造气、造渣、脱氧固氮等药粉包在焊丝内部,在焊接过程中,造气剂在焊丝内部产生气体,使电弧内部气体压力过大,将金属熔滴推向外侧,增大飞溅。自保护药芯焊丝这种特殊的结构决定其飞溅的产生机理与其它焊接材料差别较大,焊接过程中飞溅较严重。飞溅是自保护药芯焊丝在焊接过程中普遍存在的现象,增大熔滴表面张力(碱性氧化物 CaO 、 MgO 、 BaO) 的物质以及增大气体动力的物质(碳酸盐、氧化物)都促使飞溅性增加。

(1) 氟化物对飞溅的影响

氟化物的含量对飞溅性的影响见表3。

在碱性药芯焊丝配方中用一部分氟硅酸钠代替 BaF_2 ,可提高焊接电弧的稳定性,降低熔渣表面张力,细化熔滴,减少焊接飞溅。氟硅酸钠分解形成 Na^+ 可以稳定焊接电弧、细化熔滴,而加入量过多时,在焊接冶金过程中氟硅酸钠生成大量 AlF_3 、 SiF_4 气体,增加熔滴的爆破力,反而会使焊接飞溅率增加^[7]。 BaF_2 的含量超过 60% 后,飞溅明显增加。

(2) 碳酸盐对飞溅的影响

焊丝中碳酸盐的含量对飞溅性的影响见表3。

在药芯焊丝中加入碳酸锂和碳酸钾能够降低熔滴的表面张力,使熔滴质量减小,并且缩短熔滴在电弧区存在的时间,从而减小飞溅。同时钾、锂元素的电离电位很低,使电弧中气体的有效电离电位降低,促使弧根扩展,使电磁收缩力的轴向分力变成推动熔滴过渡的作用力。但是由于碳酸盐在电弧空间分解形成大量的 CO_2 气

体,对焊接熔滴产生气垫作用,托住熔滴,阻碍熔滴过渡,使熔滴尺寸增大,焊接区气体动力增大,飞溅增大。 CaCO_3 含量超过 10% 后,由于分解形成大量的 CO_2 气体,飞溅明显增加。

(3) 氧化物的影响

自保护药芯焊丝中加入的氧化物主要是氧化铁,其作用是为了改善渣的物理性能,增强渣保护效果。氧化铁的加入量对预处理药粉的熔点影响较大,预处理药粉的熔点直接影响药芯的熔点,药芯的熔点随着预处理药粉熔点的提高而提高。随着预处理药粉中氧化铁量的增多,预处理药粉熔点提高^[8],药芯的熔点也随之提高,药芯滞熔严重,影响焊丝的导电性并使电弧不稳定,从而增大飞溅。 Fe_2O_3 过高时渣的熔点升高飞溅增大。

(4) 铁粉的影响

随着铁粉含量的增加,飞溅随之减少,但是当铁粉的含量大于 15% 时,熔滴出现下淌现象,立向下焊接过程受到影响。

2.3 电弧稳定性

自保护药芯焊丝电弧燃烧是一个复杂的电弧物理和化学冶金过程。影响药芯焊丝焊接电弧稳定性的因素很多,对于自保护药芯焊丝,影响焊接电弧稳定性的因素主要是药芯焊丝的配方,各组分的影响结果见表 3,表 3 表明, Fe_2O_3 、 CaCO_3 、 Al-Mg 、 BaF_2 等组分含量过高时电弧稳定性较差,而 Fe 粉却相反。

(1) 渣系中的氟化物,氟化物在焊接电弧高温的作用下分解放出 F^- ,易与电弧气氛中自由电子结合形成氟离子 F^- ,减少了电弧气氛中的自由电子,降低电弧的导电性,使焊接电弧的稳定性变差。

(2) Ba 和 Ca 元素都是电离电位较低的元素,在电弧空间有助于电弧的稳定燃烧。 Ba 元素的电离电位值为 5.21 V,小于 Ca 元素的电离电位 6.11 V, Ba 比 Ca 在电弧空间更容易电离,能够使电弧更加稳定。

(3) Al-Mg 、 Ti-Fe 、 Mn-Fe 、 Fe 粉等金属或合金对降低飞溅有一定作用。其机理是金属提供电子,增加电弧稳定性。

(4) 氧化物 Fe_2O_3 以及锰砂等氧化物对降低飞溅有一定作用,其机理是这些氧化物提供氧离子,降低熔滴表面张力,细化熔滴。另外,渣系中

的碱性氧化物能增加熔滴和熔渣的表面张力,粗化熔滴,使熔滴呈大颗粒过渡,导致焊接电弧的稳定性下降。

(5) 加入适当数量的稳弧剂,如 K 、 Na 、 Sr 、 Cs 、 Ca 、 Li 等^[9]。 Na 盐与 K 盐以及含 Li 的化合物对降低飞溅有一定作用。其机理是 Li 、 Na 、 K 提供电子,提高电弧稳定性。

(6) 碳酸盐在焊接冶金过程中易分解出 CO_2 气体,增加焊接飞溅,例如 LiCO_3 、大理石。因此自保护药芯焊丝药芯粉中应尽量少加或不加碳酸盐。

2.4 碱性药芯焊丝生产工艺对工艺性的影响

(1) 本自保护焊丝药芯中加入的 BaF_2 、 LiF 、 Fe_2O_3 等均为 140 ~ 200 目的细颗粒粉末,药粉发粘,流动性极差,药粉十分容易与加粉装置粘结,不能均匀落下,使得轧制焊丝时送粉不流畅,导致焊丝药芯填充不均匀,严重影响了电弧的稳定性。另外,矿物粉的松装密度较低,在加粉过程中易与合金粉及金属粉发生分离,严重影响药芯焊丝的工艺性。因此焊丝制造过程中必须对这些较细的药粉进行预处理。经过预处理后提高了药粉的均匀性,减少药粉的吸潮性,增大了药粉的密度,提高了药粉流动性,从而提高了药芯粉填充过程的均匀性与稳定性。此外,药粉预处理能够除去药粉中有害化学成分。总之,通过对药粉预处理后,使药粉中高熔点的物质与其它低熔点物质混合形成熔点较低的物质,降低了药粉的熔点,避免了高熔点物质的熔化滞后,改善了药芯的熔滴过渡特征,改善了焊丝的工艺性能。

(2) 焊丝在轧制前钢带要进行严格的清洗去污,如果钢带表面留油或水则会增加焊丝的飞溅率以及气孔,严重影响药芯焊丝的工艺性。

(3) 焊丝表面残留的润滑剂的含量。焊丝表面残留润滑剂过多不仅会影响焊丝的送丝性能,而且会使焊丝的飞溅率显著增加。因此焊丝在拉拔时应做好对接合口处理,以免在焊丝的对接口处夹带过多的润滑剂。

(4) 严格限定药芯焊丝填充率的精确度,填充率控制在 ± 0.5 的范围内。

3 结论

(1) Fe_2O_3 、 CaCO_3 、 Al-Mg 、 BaF_2 及 Fe 粉含量

(w) 分别为 9% ~ 13%、8% ~ 12%、10% ~ 20%、5% ~ 10%、40% ~ 50% 时,工艺性良好。

(2) Fe_2O_3 、 CaCO_3 、 Al-Mg 、 BaF_2 等药芯组分含量超过一定的量时,电弧全位置焊接性、电弧飞溅性以及电弧稳定性将会恶化,含量过低时,焊缝成形较差;但是铁粉对工艺性的影响呈相反的趋势。

(3) 药粉预处理可以提高药粉的均匀性、流动性、松装密度,并能够降低药粉的吸潮性。

参考文献:

- [1] Lincoln Electric Company. Method and means for bare electrode welding: US, 2909778 [P]. 1959—10—20.
- [2] 田志凌,潘川,梁东图. 药芯焊丝[M]. 北京:冶金工业出版社,1999:6—8.
Tian Zhiling Pan Chuan Liang Dongtu. Flux Cored Wire [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1999:6—8.
- [3] 天津大学. 高碱度自保护药芯焊丝,中国, 1152490A [P]. 1997—06—25.
Tianjin University. High basicity self-shielded flux cored wire CN 1152490A [P]. 1997—06—25 (in chinese).
- [4] 武汉铁锚焊接材料股份有限公司. 管线钢全位置自保护药芯焊丝,中国, 1943965A [P]. 2007—04—11.
Wuhan temo welding consumables company limited. all-position self-shielded flux cored wire for pipe-line, CN, 1943965A [P]. 2007—04—11 (in Chinese).
- [5] 安泰科技股份有限公司. 全位置焊接用高韧性自保护药芯焊丝,中国, 101073863A [P]. 2007—11—21.
Advanced technology and materials company limited. all-position high toughness self-shielded flux cored wire: CN, 101073863A [P]. 2007—11—21 (in chinese).
- [6] 喻萍. 自保护药芯焊丝冶金过程研究[D]. 西安:西安交通大学,2005.
Yu P. Study on metallurgical process of self-shielded flux-cored wire [D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 2005.
- [7] 余圣甫,李志远,石仲堃,等. 氟化物对碱性药芯焊丝焊接工艺性能的影响[J]. 焊接,2000,44(12):30—33.
Yu Sh F, Li Zh Y, Shi Zh K *et al.* Influence of fluoride compounds on welding technicality of basic flux cored wire [J]. Welding 2000 44(12):30—33.
- [8] 喻萍. X70 管线钢焊接用自保护药芯焊丝的研究[D]. 北京:钢铁研究总院,2007.
Yu P. Study of self-shielded flux cored wire for X70 pipe-line steel [D]. BeiJing: Central Iron & Steel Research Institute, 2007.
- [9] 孙咸. 碱性渣系气保护药芯焊丝立向上焊接工艺[J]. 焊接,2003,47(9):16—19.
Sun X. Vertical-up welding procedure for gas shielding flux cored wire of basic slag system [J]. Welding 2003 47(9):16—19.

(编辑:房威)