

氟化物对自保护药芯焊丝的影响

牛全峰 溫家伶

(武汉理工大学材料科学与工程学院, 湖北 武汉 430063)

摘要: 通过改变自保护药芯焊丝药芯中氟化物的种类及加入量, 系统的研究了氟化物对碱性熔渣的熔点、粘度、表面张力、流动性及其电弧稳定性的影响, 采用排液法进行测氢, 研究分析了氟化物对焊缝中扩散氢的影响。

关键词: 自保护药芯焊丝; 氟钛钙渣系; 焊接工艺; 扩散氢

中图分类号: TG422.3 **文献标识码:** A

药芯焊丝是一种新型的焊接材料, 分为气保护药芯焊丝和自保护药芯焊丝两大类。自保护药芯焊丝概念是 1959 年由美国专利 2909778^[1]首先提出的。早期自保护药芯焊丝的设计是为了获得较好的全方位焊接的能力和美观的焊缝成形, 此时对焊缝力学性能的要求比较低。后来由于许多焊接结构, 特别是海洋平台, 对连接部位有一定的力学性能要求, 才开始重视焊缝的韧性和 COD 特性。但是自保护药芯焊丝与其他的较为成熟的药皮焊条、埋弧焊丝和焊剂相比, 存在许多化学冶金问题, 如过量的扩散氢引起焊缝氢脆、氢气孔以及氢致裂纹等。一般认为焊丝表面残留的润滑剂、药芯吸潮是增加焊缝中扩散氢含量的主要原因, 但成盘供应的药芯焊丝难以像焊条、焊剂一样进行有效的焊前烘干, 因此采用化学冶金处理方法降低焊缝扩散氢含量就显得尤为重要。

1 试验方法

试验用的钢带规格为 $0.5\text{mm} \times 10\text{mm}$, 化学成分见表 1。试验用自保护药芯焊丝为自制氟钙钛渣焊丝, 药芯以 CaF_2 为基, 并加入其他的氟化物, 药芯成分见表 2。焊丝填充率为 20%~22%, 焊丝直径为 $\phi 1.6\text{mm}$ 。

试验设备为 PANA-AUTO K500 焊机, 焊接参数见表 3, 焊接过程及焊接工艺参数是按照美

国标准 AWS A5.29 的规范进行的。

表 1 钢带的化学成分(%)

C	Mn	Si	S	P
0.04	0.20	≤ 0.01	0.009	0.008

表 2 药芯中氟化物含量(%)

编号	氟化物	含量
1	CaF_2	10
2	CaF_2	16
3	CaF_2	21
4	CaF_2	23
	CaF_2	18
5	MgF_2	2
	Na_2ZrF_6	3
	CaF_2	15
6	Na_2ZrF_6	3
	LiF	2
	CaF_2	20
7	Na_2ZrF_6	3
	BaF_2	3

表 3 焊接参数

焊接电流 /A	电弧电压 /V	送丝速度 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	极性
220 ± 10	24 ± 1	0.045	DCEN

试验中采用天津大学研制的排液法测定仪进行测氢, 该方法与 ISO3690—(76) 和新国标指定的水银法和色谱法测试结果相当, 详细步骤见文

献[2]。扩散氢含量计算公式为:

$$[H]_{PY} = 15.065 \frac{PV_{h_2-h_1}}{W} \quad (1)$$

式中 $[H]_{PY}$ —每 100g 熔敷金属中扩散氢在标准状况下的体积, $\text{mL}/100\text{g}$

P —空气压力, Pa

$V_{h_2-h_1}$ —扩散氢的测定读数, mL

W —熔敷金属的质量, g

2 试验结果及分析

2.1 氟化物对焊接工艺性能的影响

氟化物的加入量对药粉的熔点影响很大, 表 4 是通过半球法测得的 7 种配方药粉的熔点。可以看出, 随着药粉中氟化物含量和种类的增加, 药粉的熔点在降低, 这对焊接工艺性能会产生一定影响。药粉熔点降低, 粘度、表面张力降低, 熔渣变稀, 流动性增加, 焊接飞溅变化不明显。 CaF_2 影响电弧的稳定性, 试验表明, 随着 CaF_2 含量的增加, 电弧的稳定性逐渐变差, 渣的流动性增加, 当 CaF_2 的含量继续增加时, 熔渣严重变稀, 进行立焊时渣会向下流淌, 使立焊工艺严重变坏, 甚至无法实现立焊。但是, 加入多种氟化物, 如: 氟化钡、氟化锂、氟锆酸钠等, 具有稳定电弧、降低含 N 量和细化晶粒的作用。当药芯中上述特殊氟化物的含量超过 1% 时, 熔敷金属含氮量明显下降, 在加入量为 7% 时, 可获得最高的冲击功。但特殊氟化物, 如 MgF_2 加入量不应超过 10%, 防止焊缝的塑性和韧性下降^[3]。

表 4 氟化物对预处理药粉熔点的影响

编号	熔点 $T/^\circ\text{C}$
1	960
2	920
3	850
4	800
5	750
6	720
7	640

2.2 多种氟化物对焊缝扩散氢含量的影响

试验结果见表 5 和图 1。从中可以看出, 随着 1 号到 4 号配方药芯中萤石含量的增加, 焊缝扩

散氢含量逐渐减少。相对于单独加入萤石的 4 号配方而言, 5 号配方中加入 3% 的 Na_2ZrF_6 和 2% 的 MgF_2 作为替代物, 虽然氟化物含量不变, 但扩散氢含量明显降低。对比 3 号和 6 号两种配方, 尽管 6 号配方氟化物总量有多降低, 焊缝中扩散氢含量反而减少, 说明了多种氟化物有利于降低焊缝中的扩散氢含量。

表 5 药芯中氟化物含量与 $[H]_{PY}$ 的关系

编号	氟化物	含量/%	$[H]_{PY}/\text{mL} \cdot (100\text{g})^{-1}$
1	CaF_2	10	9.53
2	CaF_2	16	8.64
3	CaF_2	21	5.31
4	CaF_2	23	4.97
	CaF_2	18	
5	MgF_2	2	4.51
	Na_2ZrF_6	3	
	CaF_2	15	
6	Na_2ZrF_6	3	4.82
	LiF	2	
	CaF_2	20	
7	Na_2ZrF_6	3	4.23
	BaF_2	3	

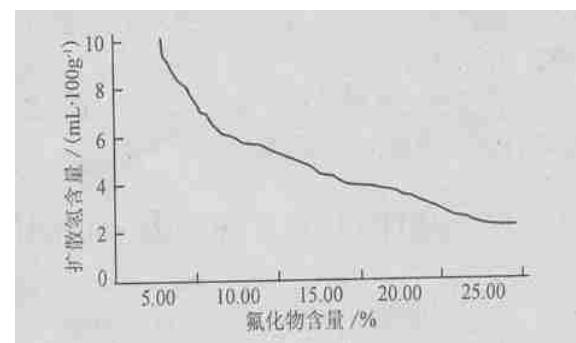
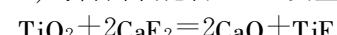


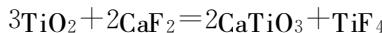
图 1 氟化物含量对扩散氢含量的影响

2.3 萤石的作用

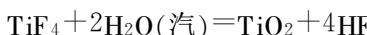
萤石加入焊条药皮的降氢作用已经得到肯定^[3], 从表 4 可以看出, 萤石加入氟钛钙型自保护药芯焊丝同样具有降氢效果。

从文献[4]提出的几种萤石降氢机理分析, 由于萤石与大量金红石共同存在, 在熔渣中, 萤石 (CaF_2) 与自由氧化物 TiO_2 发生下列反应:





反应产物 TiF_4 可与电弧气氛中氢原子及水蒸汽发生二次反应：



反应物形成不溶于钢液的稳定氢氟化物 HF ，从而降低了电弧气氛中的氢分压，因此氢在金属中的溶解量减少，达到降低焊缝含氢量的目的。

另外，萤石具有改善熔渣覆盖性的作用，可以减少液态金属同电弧中氢原子的直接接触机会，降低金属的吸氢量。

2.4 多种氟化物的作用

在药芯中加入 CaF_2 的同时，加入其他氟化物，主要是起到造渣和稀渣的作用，同时也可提高其冶金去氢能力。这是因为各种氟化物在高温下有不同的分解度（如图 2），这些氟化物在高温下都比 CaF_2 易于汽化，产生大量的氟蒸汽而大大降低了电弧气氛中的氢分压，从而提高了去氢能力。多种氟化物的加入，如配方中的氟化钡（ BaF_2 ）可以支持很短的电弧，全方位焊接时降低了电弧能量和焊丝燃烧速度，更容易控制熔池；电弧电压低、电弧短、减少了自保护药芯焊丝焊接时熔滴吸收氮和氢的机会；多种氟化物的加入，还有利于提高焊丝的电弧稳定性，因为它们分解出的锂、钾、钠等电离势小于钙。同时分解出来的 Zr 可使熔敷金属的晶粒细化。

另外，加入的特殊氟化物，如 LiF 因可形成 LiF_2 ，还可以有效的降低焊缝中的含 N 量。

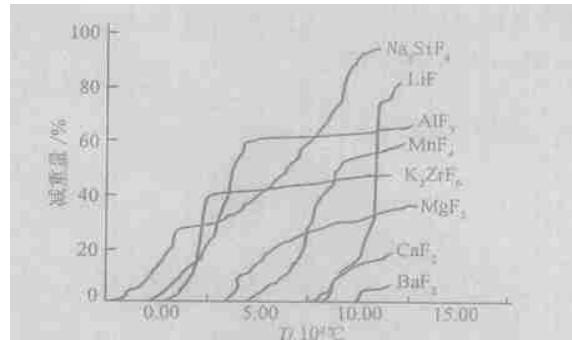


图 2 各种氟化物的热分析曲线

3 结论

(1) 在一定范围内，随着药芯中氟化物含量的增加，熔渣的熔点、粘度和表面张力降低，熔渣的流动性增加。

(2) 焊接时产生的 HF 有利于降低电弧气氛中氢的分压，从而起到去氢作用。多种氟化物的作用更明显，不但可以完全抑制氢气孔，而且有稳定电弧、降低含 N 量和细化晶粒的作用。

参考文献：

- [1] Landis G G, Patton D M. Method and mean of bare electrode welding [P]. US, 2909778, 1959-10-20.
- [2] 陈邦固, 张文锐, 杜则裕, 等. 排液法测定熔敷金属中扩散氢的研究 [J]. 焊接学报, 1984, 5(4): 178~202.
- [3] 唐伯钢, 严士科, 王玉荣, 等. 低碳钢与低合金高强钢焊接材料 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [4] 侯杰昌, 侯永和, 杨建东. 新型高韧性全位置用自保护药芯焊丝的研制 [J]. 机械工人, 2003, 10, 23~24

Effect of Fluoride on Self-Shielded Flux-Cored Wire

NIU Quan-feng, WEN Jia-ling

(School of Materials Science and Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

Abstract: The effect of fluoride on melting point, viscosity, surface tension, mobility of alkaline slag and electric arc stability was investigated through changing the kind and the amount of fluoride powder in the flux core. The effect of fluoride on diffusible hydrogen in welding seam were detected and analyzed with the liquid law.

Keywords: Self-shielded flux-cored wire; $\text{CaF}_2\text{-TiO}_2\text{-MgO}$ slag system; Welding technology; Diffusible hydrogen