

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2023.11.19

造渣剂组分对507Mo型药芯焊丝脱渣及飞溅性能的影响

朱厚国, 陈波, 吉荣亮, 宋昌洪, 王禹, 刘满雨

哈尔滨威尔焊接有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150060

摘要: 通过改变药芯焊丝中金红石、镁砂、硅灰石、萤石等造渣剂的配比进行试验, 研究造渣剂在药芯焊丝中的含量变化对507Mo型药芯焊丝脱渣率及飞溅率的影响。试验表明, 在507Mo型药芯焊丝中, 金红石含量不超过6%时, 增加金红石含量能够改善焊丝的脱渣及飞溅性能; 镁砂能提升药芯焊丝的全位置焊接性, 使药芯焊丝能够进行横焊及立向上焊接, 镁砂的加入量超过1.0%时焊丝的脱渣及飞溅开始变差; 硅灰石能够改善焊丝的脱渣及飞溅性能, 随着硅灰石的增加, 熔渣在焊道表面覆盖更加均匀, 但是过量的硅灰石会使焊道表面出现压铁水现象; 萤石能够降低熔渣的熔点, 改善熔渣的流动性, 有利于熔渣在焊道表面的铺展及覆盖, 萤石电离产生的F⁻和熔池中的H⁺结合生成HF气体, 提高了熔滴的爆破力, 使焊接飞溅率增加, 萤石含量超过1.0%时会大幅增加焊丝飞溅率。

关键词: 药芯焊丝; 造渣剂; 脱渣率; 飞溅率

中图分类号: TG422.3 文献标识码: 文章编号: 1001-2303(2023)11-0119-05

Effect of Slagging Agent Components on Deslagging and Welding Spatter of 507Mo Flux Cored Wire

ZHU Houguo, CHEN Bo, JI Rongliang, SONG Changhong, WANG Yu, LIU Manyu

Harbin Well Welding Co., Ltd., Harbin 150060, China

Abstract: Through adjustment of the proportion of slagging agents such as rutile, magnesia, wollastonite and fluorite in the flux cored wire, the influence of slagging agent content in the flux cored wire on the deslagging efficiency and spatter rate of 507Mo flux cored wire was studied. The results indicate that when the content of rutile in 507Mo flux-cored wire is less than 6%, increasing the content of rutile can improve the deslagging and spatter performance of the wire. Magnesia can enhance the all-position weldability of flux-cored wire, thereby enabling the flux-cored wire to be welded horizontally and vertically. Once the magnesia content exceeds 1.0%, the deslagging and spattered efficiency of the welding wire commence to deteriorate. The wollastonite can augment the deslagging and spatter performance of the welding wire. With the increase of wollastonite, the slag covers the welding pass surface more evenly, however, excess wollastonite will precipitate the hot metal compaction phenomenon on the welding pass surface. Fluorite can reduce the melting temperature of molten slag, improve the fluidity of molten slag, and facilitate the spreading and covering of molten slag on the metallic surface. Fluorite ionization of F⁻ and H⁺ combined generation HF gas in the molten pool, increase the explosive force of molten drop, increase welding spatter rate. When the fluorite content exceeds 1.0%, the spattered rate of welding wire increases greatly.

Keywords: flux cored wire; slagging agent; deslagging rate; welding spatter rate

引用格式: 朱厚国, 陈波, 吉荣亮, 等. 造渣剂组分对507Mo型药芯焊丝脱渣及飞溅性能的影响[J]. 电焊机, 2023, 53(11): 119-123.

Citation: ZHU Houguo, CHEN Bo, JI Rongliang, et al. Effect of slagging agent components on deslagging and welding spatter of 507Mo flux cored wire[J]. Electric Welding Machine, 2023, 53(11): 119-123.

收稿日期: 2022-09-06 修回日期: 2023-05-21

作者简介: 朱厚国(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事耐磨堆焊药芯焊丝研制及应用工作。E-mail: 190403216@qq.com。

0 引言

507Mo 药芯焊丝熔敷金属合金成分符合堆焊焊条 D507Mo 的合金标准(D507Mo 标准为 GB/T 984 EDCr-A2-15),该合金是 1Cr13 型马氏体不锈钢,堆焊层具有空淬特性,堆焊金属具有较高的中温硬度、良好的热稳定性和抗冲蚀性,多用于 510℃ 以下的中温高压截止阀密封面堆焊。因其良好的热稳定性及较高的中温硬度也应用于钢厂的夹送辊及助卷辊的硬面层堆焊。药芯焊丝熔敷金属的化学成分可根据需求灵活、快速地调整,堆焊效率高,因为有渣的保护,气保护药芯焊丝能够实现全位置堆焊,因此药芯焊丝比焊条拥有更广泛的市场。气保护药芯焊丝造渣剂组分灵活多变,造渣剂组分的变化可能会导致焊接时脱渣变得困难,飞溅量增加,飞溅颗粒增大,使焊丝焊接操作工艺性变差,本试验的目的是通过改变药粉中的造渣剂部分药粉的含量,研究造渣剂组分对 507Mo 型药芯焊丝的脱渣及飞溅工艺性能的影响,研制合适的粉料配比,使焊接时焊缝脱渣更好、飞溅更小,提升该系列气保护药芯焊丝产品的焊接工艺性能。

1 试验材料及试验方法

1.1 试验材料

507Mo 型药芯焊丝添加的粉末包括两部分:金属粉及造渣粉。试验中焊丝的熔敷金属成分不变,507Mo 型药芯焊丝的熔敷金属成分见表 1;507Mo 型药芯焊丝添加的主要造渣剂包括:金红石(TiO_2)、镁砂(MgO),硅灰石(CaSiO_3),萤石(CaF_2),造渣剂成分见表 2。

表 1 试验焊丝的熔敷金属成分(质量分数,%)

Table 1 Chemical compositions of deposited metal(wt. %)

元素	C	Cr	Ni	Mo	W	Si	Mn
含量	0.13	12.6	3.90	1.58	1.55	0.30	0.50

表 2 造渣剂成分(质量分数,%)

Table 2 Slagging agent composition(wt. %)

造渣剂	金红石	镁砂	硅灰石		萤石
主要成分	TiO ₂	MgO	CaO	SiO ₂	CaF ₂
含量	>95	>95	>40	>50	>95

1.2 试验方法

保持 507Mo 型药芯焊丝药粉中金属粉质量分数不变,通过改变造渣粉组分的添加比例,在相同的焊接试验条件下研究造渣粉组分变化对脱渣率及飞溅率的影响。本试验前期已经对造渣粉的添加含量进行了充分的试验研究,确定了焊丝中各种造渣粉量的适量范围,因此,试验中分析某一种矿物粉对 507Mo 型药芯焊丝焊接时脱渣率及飞溅率工艺性能的影响时,为了减少试验次数及明确试验效果,其他造渣粉料的加入量均在适宜范围内。

试验参数:采用 80%Ar+20% CO_2 混合气体进行试验,气体流量 18~20 L/min,焊接电流 260~300 A,电压 28~30 V。

1.3 分析方法

参照 GB/T 25776—2010《焊接材料焊接工艺性能评定方法》进行脱渣率和飞溅率的统计统计^[1]。

1.3.1 脱渣率测量方法

在尺寸 400 mm×100 mm×16 mm 的两块试板对接 V 形坡口内焊接,坡口角度 $70^\circ \pm 1^\circ$,根部不留间隙;采用单道焊,焊道约长 200 mm。焊后将焊道朝下置于锤击平台上,焊接完成 1 min 后,将 2 kg 铁球置于 1.3 m 高的支架上,以初速度为零的自由落体状态锤击试板中心位置,连续锤击 5 次后根据标准要求测量数据,根据脱渣率公式计算脱渣率。

1.3.2 飞溅率测量方法

将尺寸为 200 mm×100 mm×20 mm 的试板立放在厚度大于 3 mm 的紫铜板上;在紫铜板上放置一个约 1 mm 厚的紫铜薄板,防止飞溅散失,将此薄板围成高 400 mm、周长 1 600 mm 的圆筒。焊前在试板表面涂上防飞溅液,称出焊丝质量;将飞溅收集装置放置在水平工作台上,焊枪枪头水平移动。在水平位置施焊,收集紫铜板上的飞溅颗粒称重,同时测量焊后焊丝质量。同一焊接参数下重复试验三次。

2 试验结果

2.1 金红石加入量对焊丝脱渣率及飞溅率的影响

金红石在焊丝中的添加比例分别为 2%、4%、6%、8% 进行试验,结果如图 1 所示。

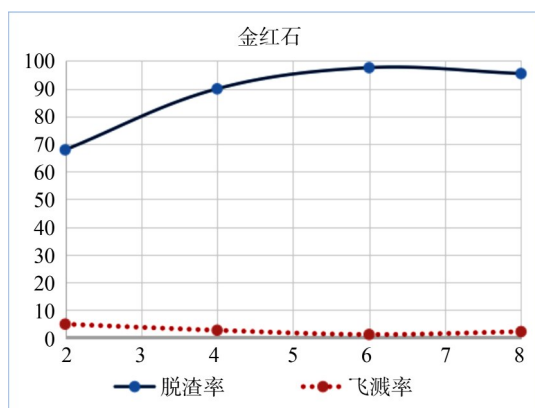


图 1 金红石加入量对脱渣及飞溅的影响

Fig. 1 Effect of rutile addition on deslagging rate and spatter rate

由图 1 可知,金红石加入含量由 2% 增加到 6% 时,随着金红石的增多,脱渣率增加,飞溅率减小,焊丝的脱渣率和飞溅率提升到试验的最佳水平。金红石含量增加时,强酸性氧化物 TiO_2 与熔池中的碱性氧化物 CaO 发生造渣反应,复合盐 CaTiO_3 的生成量增多,这种钛酸盐稳定性高,有利于形成短渣,从而使渣壳脱渣性提高^[2-4]。当金红石含量继续增加至 8% 时,金红石含量过量,导致熔渣熔点升高、渣壳板结、透气变差,致使脱渣率下降、飞溅率上升,当金红石含量达到 8% 时,熔渣还会出现压铁液现象,致使焊道出现明显的凹坑。故 507Mo 药芯焊丝金红石的加入最佳含量在 4%~6%,在此范围内的脱渣率为 95%~97%,飞溅率为 1.0%~1.5%。

2.2 镁砂加入量对焊丝脱渣率及飞溅率的影响

镁砂在焊丝中添加比例分别为 0.5%、1.0%、1.5%、2.0% 进行试验,结果如图 2 所示。

由图 2 可知,镁砂含量由 0.5% 增加到 1% 时焊

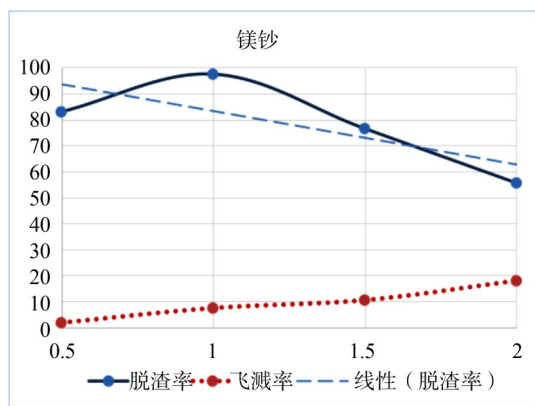
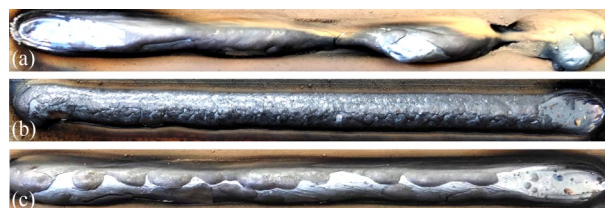


图 2 镁砂加入量对脱渣及飞溅的影响

Fig. 2 Effect of magnesia addition on deslagging rate and spatter rate

丝的脱渣率增加,飞溅率增加;镁砂含量从 1% 增加到 2% 过程中,507Mo 药芯焊丝的脱渣率呈持续大幅下降趋势,同时焊丝的飞溅率随镁砂含量的增加而增大;镁砂含量为 1% 时,焊丝的脱渣率最佳,达到 95% 以上。继续增加镁砂含量至 2.0%,焊丝的脱渣率大幅度降低,呈沾渣状态,脱渣率低于 60%。镁砂中主要成分是 MgO ,属于碱性氧化物, MgO 的熔点高、粘度大,适量的加入可提升药芯焊丝的全位置焊接性,使焊丝能够进行横焊及立向上焊接,但同时也会增加熔滴和熔渣的表面张力,增大熔滴尺寸,使熔滴呈大颗粒过渡^[5-6],导致焊接电弧稳定性下降,飞溅增大。焊丝横焊焊道如图 3 所示,图 3a 焊丝中镁砂含量为 0.5%,铁水有流淌现象;图 3b 焊丝中镁砂含量为 1.0%,焊道饱满、熔渣覆盖率高,能够很好地保护焊道,可以进行横焊;图 3c 焊丝中镁砂含量达到 2.0%,铁水无流淌现象,熔渣聚集在一起,对焊道覆盖率低,对焊道保护差。试验表明,镁砂在 507Mo 药芯焊丝中加入量为 0.7%~1.0% 时,可改善焊丝的全位置焊接性,有利于脱渣,对焊丝的飞溅率影响较小。



(a) 镁砂含量 0.5%; (b) 镁砂含量 1.0%; (c) 镁砂含量 2.0%

图 3 镁砂含量对焊丝横焊的影响

Fig. 3 Transverse weld of welding wire with different content of magnesia

2.3 硅灰石加入量对焊丝脱渣及飞溅的影响

硅灰石在焊丝中添加比例分别为 1.0%、2.0%、3.0%、4.0% 进行试验,结果如图 4 所示。

由图 4 可知,硅灰石含量从 1.0% 增加到 3.0% 时,熔渣的脱渣率明显增加,飞溅率降低的同时,飞溅颗粒的粒度也在变小;继续增加硅灰石的含量至 4.0% 时,脱渣率及飞溅率变化不明显。硅灰石中的碱性氧化物 CaO 在熔池中易电离出 O^{2-} , O^{2-} 能够破坏 Si-O-Si 的离子键,使硅酸离子结构变得简单、尺寸变小,熔滴表面张力降低,熔滴尺寸减小,从而降低焊接飞溅率^[7-8]。试验表明,随着硅灰石含量的

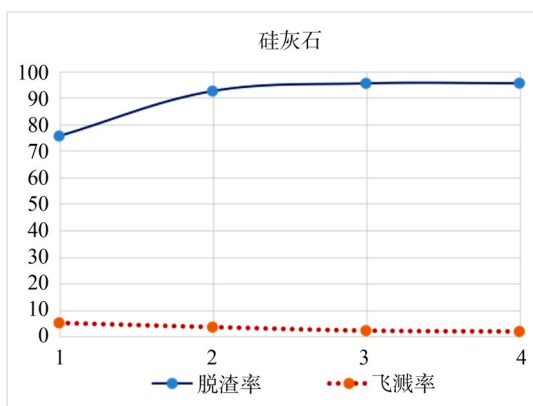


图4 硅灰石加入量对脱渣及飞溅的影响

Fig. 4 Effect of wollastonite addition on deslagging rate and spatter rate

增加,熔渣在焊道表面覆盖更加均匀,但是过量的硅灰石会使焊道表面出现如图5所示的压铁液现象,因此应适当控制硅灰石的加入量。硅灰石加入量为3.0%~4.0%时,焊道表面渣壳能够全覆盖,脱渣容易,飞溅率低。



图5 焊道表面压铁液现象

Fig. 5 Weld bead surface indentation

2.4 萤石加入量对焊丝脱渣及飞溅的影响

萤石在焊丝中添加比例分别为0.5%、1.0%、1.5%、2.0%进行试验,结果如图6所示。

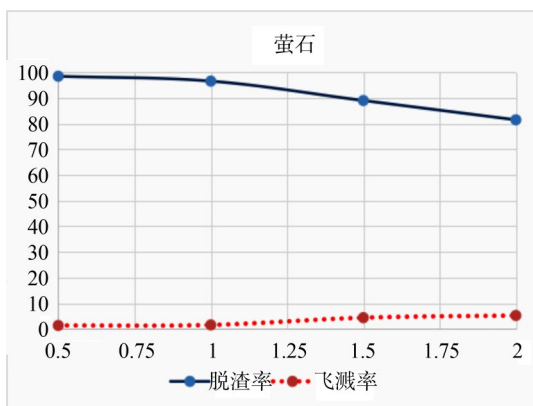


图6 萤石加入量对脱渣及飞溅的影响

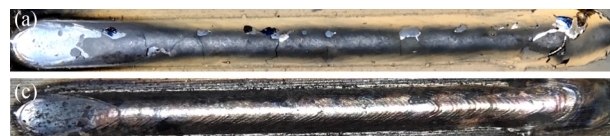
Fig. 6 Effect of fluorite addition on deslagging rate and spatter rate

由图6可知,萤石在药芯焊丝中的含量由0.5%增加到1.0%时,试验焊丝的脱渣率变化较小,持续增加萤石在焊丝中占比,脱渣率大幅下降,接近

80.0%,出现沾渣现象。脱渣性变差是因为萤石大幅降低了熔渣的熔点,使熔渣的流动性增加。当焊丝中萤石含量超过1.0%,萤石对熔渣流动性产生明显的影响,致使焊道两侧渣壳较厚而中间渣壳薄,薄的渣壳位置对焊道熔敷金属保护较差,熔敷金属表面发生氧化,金属表面的氧化物和熔渣中的复合盐形成网状结构,致使脱渣变差。随着萤石在药芯焊丝中的含量从0.5%增加到2.0%,焊接时飞溅的颗粒尺寸逐步增大,数量增加,飞溅率大幅上升。这是因为萤石中的 CaF_2 在电离时产生 F^- 与电弧气氛中的 H^+ 反应,形成不溶于铁液的稳定氢氟化物 HF ,在去氢的同时,增加了熔滴的爆破力,使焊接飞溅率增加^[9-11]。因此在507Mo型焊丝中萤石加入量要控制在0.3%~0.5%,在此范围内对飞溅影响不大,能够适当降低熔渣的熔点,有利于熔渣在金属表面的铺展及覆盖,有利于脱渣。

2.5 507Mo型药芯焊丝焊道成形及熔敷金属性能

以4%~6%金红石、0.7%~1.0%镁砂、3.0%~4.0%硅灰石、0.3%~0.5%萤石作为主要熔渣组分制作药芯焊丝,焊丝直径1.6 mm,采用80%Ar+20% CO_2 混合气体进行试验,气体流量18~20 L/min,焊接电压28 V,焊接电流260 A,试板为16Mn。焊后焊道成形如图7所示。经试验检测,该焊丝脱渣率为98.6%、飞溅率为0.78%。



(a)脱渣前;(b)脱渣后

图7 507Mo型药芯焊丝焊道外观

Fig. 7 Weld appearance of 507Mo flux-cored wire

使用该焊丝堆焊硬度件样式如图8所示,试板尺寸200 mm×120 mm×16 mm,堆焊5层,堆焊厚度10~13 mm。将堆焊试样底面的母材进行加工,第5层堆焊层沿焊道方向用磨床加工出宽5 mm的平面,该平面与底面平行,在该平面进行硬度检验,硬度取点位置避开起弧区和收弧区,测量5个点后取平均值。使用HRD-150电动洛氏硬度计测量5个点硬度后取平均值,焊后及热处理(550℃×6 h、炉冷)后硬度值如表3所示。

堆焊试件经着色探伤检测无裂纹。

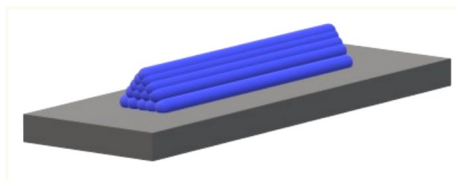


图 8 堆焊试样

Fig. 8 Surfacing sample

表 3 熔敷金属硬度值

Table 3 Surface hardness

类别	硬度值/HRC	均值/HRC
焊后	43.5 43.8 43.5 44.2 43.8	43.8
550 °C×6 h	39.5 39.2 40.0 39.6 39.8	39.6

3 结论

(1) 507Mo 型药芯焊丝中金红石含量不超过 6% 时, 增加金红石含量能够改善焊丝的脱渣及飞溅性能; 镁砂能够改善焊丝的全位置焊接性, 镁砂含量超过 1.0% 时焊丝的脱渣变差及飞溅增大; 增加硅灰石的含量能够改善焊丝的脱渣及飞溅性能, 但过量的硅灰石会出现压铁液现象; 萤石能够改善熔渣的流动性, 萤石含量超过 1.0% 时, 焊接时药芯焊丝飞溅率明显增加。

(2) 507Mo 型药芯焊丝中造渣剂添加比例为: 金红石 4%~6%、镁砂 0.7~1.0%、硅灰石 3.0~4.0%、萤石 0.3~0.5% 时, 药芯焊丝的脱渣率为 98.6%, 飞溅率为 0.78%。

参考文献:

- [1] GB/T 25776-2010, 焊接材料焊接工艺性能评定方法[S].
- [2] 熊永家, 杜学铭, 宋昌宝. 金红石对耐热钢焊条 R307 工艺性能的影响[J]. 热加工工艺, 2017, 46(01): 203-204.
XIONG Y J, DU X M, SONG C B. Effect of rutile on welding properties of electrode R307 of heat resistant steel[J]. Hot Working Technology, 2017, 46(01): 203-204.
- [3] 孙咸. 钛型气保护药芯焊丝焊接飞溅与气孔的关系[J]. 电焊机, 2015, 45(10): 11-16.
SUN X. Relation between welding spatter and porosity of titanium type gas shielded flux cored wire[J]. Electric Welding Machine, 2015, 45(10): 11-16.
- [4] 王清宝, 刘景凤, 沈凤刚. 钛钙型自保护药芯焊丝工艺性能的研究[J]. 焊接, 2005(04): 20-23.
WANG Q B, LIU J F, SHEN F G. Study on processing property of self-shielded lime titania type of flux cored wire[J]. Welding & Joining, 2005(04): 20-23.
- [5] 张平, 汪虎, 吴健. MgO 对碱性气保护药芯焊丝熔滴过渡行为的影响[J]. 焊管, 2008(02): 27-30+94.
ZHANG P, WANG H, WU J. Effects of MgO on drop-let transfer formations of flux cored wire[J]. Welded pipe and Tube, 2008(02): 27-30+94.
- [6] 栗卓新, 陈邦固, 雷万钧. 药芯组成对碱性自保护药芯焊丝脱渣性影响的研究[J]. 机械工程学报, 2001(10): 75-78+92.
LI Z X, CHEN B G, LEI W J. Study on the effects of the flux-cored composition on the slag detachability of basic self-shielded flux-cored wire[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2001(10): 75-78+92.
- [7] 杨可, 余圣甫, 李延娜. 自保护硬面药芯焊丝药芯成分对焊接飞溅的影响[J]. 机械工程材料, 2007(06): 19-21+29.
YANG K, YU S F, LI Y N. Effect of flux composition of self-shielded hardfacing flux-cored wire on Spatter[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2007(06): 19-21+29.
- [8] 栗卓新, 蒋建敏, 魏琪. 熔渣成分对气保护不锈钢药芯焊丝脱渣性影响的研究[J]. 材料工程, 2003(01): 30-33.
LI Z X, JIANG J M, WEI Q. Study on effects of composition and microstructure of slag on the slag detach ability of gas-shielded flux cored wire for stainless steel[J]. Journal of Materials Engineering, 2003(01): 30-33.
- [9] 陈伯鑫. 焊接冶金原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1991: 100-110.
- [10] 朱厚国, 许立宝, 宋昌洪. 几种组分对堆焊药芯焊丝用烧结焊剂工艺性能的影响[J]. 焊接, 2015(10): 49-52+70.
ZHU H G, XU L B, SONG C H. Effects of several components on the technological properties of sintered flux for surfacing flux-cored wire[J]. Welding & Joining, 2015(10): 49-52+70.
- [11] Krivchikov S Y, Zhudra A P, Petrov V V. et al. Influence of fluorides on the welding-technological properties of self-shielded flux-cored wires[J]. Автоматическая Сварка, 1998, 10(7): 26-28.