

A 对药芯焊丝 CO_2 气体保护焊熔敷金属成分的作用桂赤斌¹, 吴平安², 王安立³

(1 海军工程大学, 武汉 430033 2 武汉铁锚焊接材料有限责任公司, 武汉 430084)

3 沧州市电焊丝厂, 河北 沧州 061001)

摘要: 研究了 A 对药芯焊丝 CO_2 气体保护焊熔敷金属成分的作用。结果表明, 在 CO_2 气保护条件下的焊接过程中, 药芯中的 A 对合金元素 Si C 的还原均具有极大的促进作用。并且随着药芯中 A 的含量增加, 其 Si C 的还原加强。A 虽然促进 Mn 的过渡, 但不能完全抑制其氧化损失。分析表明, 含 A 药芯焊丝 Si 的还原在熔滴反应区与熔池反应区几乎具备同样的热力学条件, 而 C 的还原则主要发生在熔池反应区。因此, 延长熔滴反应区的时间, 一方面, 将加强 Si 的还原。另一方面, 由于 A 向熔滴过渡得以加强, 也将促进随后熔池反应区 C 的还原。

关键词: 药芯焊丝; CO_2 气体保护焊; 熔敷金属成分; A 的影响

中图分类号: TG422 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2005)06-54-03

桂赤斌



0 序 言

气保护药芯焊丝的熔敷金属成分通常受各种因素的影响, 如保护气体与药芯本身的氧化性对 C、Mn 元素的过渡行为影响较大^[1] 等。由于 Al 具有十分优秀的脱氧、脱氮效果, 加上焊缝金属适量的氧化铝可让氧化钛在其表面形成薄膜而促进韧性组织针状铁素体的生长^[2] 等, 因此, 在进行药芯焊丝的药芯配方设计时, Al 常常作为重要的药芯成分来考虑。然而, 由于 Al 是铁素体形成促进元素, 过量的 Al 将促进焊缝金属形成粗大铁素体组织而使得其塑、韧性恶化。在这种情况下, 需要奥氏体形成促进元素来平衡。药芯中 Al 的加入, 对熔敷金属的奥氏体形成促进元素如 C、Mn 和铁素体形成促进元素 Si 等的最终含量影响甚大。文中就这种影响进行分析。

1 试验材料及方法

试验用气保护药芯焊丝在药芯焊丝轧制设备上制造, 直径为 1.6 mm。制作焊丝所用钢带化学成分见表 1。

表 1 制作焊丝所用钢带化学成分(质量分数, %)

Table 1 Chemical composition of strip steel used in flux cored wire

C	Si	Mn	S	P	Fe
0.03	0.025	0.25	0.010	0.015	余量

综合考虑药芯配方与实测填充率, 所得试验用 4 种气保护药芯焊丝成分见表 2。其中 No. 1 是药芯不含 A 的焊丝, No. 2 为含 A 的钛型焊丝、而 No. 3

表 2 药芯焊丝成分(质量分数, %)

Table 2 Composition of flux cored wire

No	CaF_2	SiO_2	CaO	Al_2O_3	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	TiO_2	CO_2	Mn	Al	Si	Ti	$\text{Ni} + \text{Cr}$	C	Fe
1	4.50	1.63	1.55	—	0.13	—	—	1.98	—	0.13	0.30	1.61	0.048	88
2	0.56	1.26	0.14	1.95	0.12	4.46	—	2.37	0.50	0.076	—	1.23	0.050	87
3	2.91	0.88	0.87	1.50	0.11	—	0.68	1.31	0.88	0.022	—	0.93	0.040	89
4	3.52	1.29	0.87	0.10	0.13	—	0.68	1.49	5.08	0.022	—	—	0.026	87

No. 4 是为研究 Al 的影响而设计的含不同 Al 量的药芯焊丝。

收稿日期: 2004-07-26

根据表 2 假设在焊接过程中不发生任何氧化还原反应, 也不发生明显的元素过渡损失, 所得的熔敷金属的 C、Si Mn 和 Al 应该如表 3 所示, 可称之为“理想”的成分。

表3 “理想”熔敷金属化学成分(质量分数, %)

Table 3 “Ideal” chemical composition of deposited metal

No	C	Si	Mn	Al
1	0.055	0.147	2.25	0
2	0.057	0.087	2.72	0.57
3	0.045	0.025	1.47	0.99
4	0.030	0.025	1.71	5.84

按 GB/T 17493—1998《低合金钢药芯焊丝》标准的要求, 焊丝熔敷金属化学分析试块在平焊位置多层堆焊而成。堆焊用试板为连铸 12MnNi钢板, 其化学成分(质量分数, %)为 C 0.11、Mn 1.02、Si 0.48、S 0.005、P 0.014、Ni 1.16、Cr 0.40、Mo 0.12及 V 0.03。焊丝在 CO₂气体保护下堆焊。其统一的堆焊工艺参数是 I=200~220 A, U=23~24 V及保护气体流量为 25 L/min。每个堆焊试块的尺寸为 80 mm×30 mm×16 mm, 堆焊熔敷金属厚度为 17~20 mm。按标准要求对熔敷金属取样并进行化学分析。取样处至堆焊金属母材面的距离至少 10 mm。

2 试验结果

试验用 4 种药芯焊丝熔敷金属化学成分见表 4。

表4 熔敷金属化学成分(质量分数, %)

Table 4 Chemical composition of deposited metal

No	C	Si	Mn	S	P	Al
1	0.050	0.25	1.11	0.008	0.015	—
2	0.061	0.22	0.92	0.001	0.015	0.032
3	0.084	0.36	1.27	0.012	0.015	0.065
4	0.16	0.58	1.54	0.010	0.016	0.88

为便于分析, 以参数 K 来衡量元素的过渡行为

$$K = \frac{X_1}{(X_1 - X_2)},$$

式中: X₁ 为焊丝熔敷金属某元素的“理想”含量(质量分数, %)(表 3); X₂ 为 CO₂ 气保护焊熔敷金属该元素的实际含量(质量分数, %)(表 4)。

显然, 参数 K 只可能 ≥ 1 和 ≤ 0 。参数 K ≥ 1 时, 发生元素过渡损失, 其数值越接近 1, 损失也就越大(若 K=1 为元素 100% 烧损的极端情况); 而参数 K ≤ 0 则说明在电弧气氛中发生了还原反应, 且越接近 0 还原反应越显著(若参数 K=0 则某元素完全

由还原反应产生)。试验各焊丝的 C、Si、Mn、Al 元素的参数 K_C、K_{Si}、K_{Mn}、K_{Al} 见表 5。

表5 各焊丝的 K_C、K_{Si}、K_{Mn}、K_{Al}

Table 5 Transfer parameters of C, Si, Mn and Al

No	K _C	K _{Si}	K _{Mn}	K _{Al}
1	10	-1.43	1.97	—
2	-14.25	-0.65	1.51	1.06
3	-1.15	-0.075	7.35	1.07
4	-0.23	-0.045	10.06	1.18

试验结果表明, 焊丝药芯中的 Al 对熔敷金属的合金元素含量有如下影响。

(1) 对 C、Mn 的作用(见表 5)。焊丝中的 Al 促使熔敷金属产生增 C。并且随着焊丝中的 Al 含量增加, 其增 C 越来越显著, 表现为 K_C 越来越接近 0。C 是奥氏体形成促进元素, C 的增加, 对平衡熔敷金属中过量的 Al 是有益的。Mn 也是奥氏体形成促进元素, 而由表 5 可知, 随着焊丝含 Al 量的增加, K_{Mn} 越来越大, 这表明 Al 对 Mn 的过渡有促进作用, 但还不能完全抑制 Mn 的氧化损失。

(2) 对 Si 的作用(见表 5)。对于无 Al 的 No. 1 焊丝, 在焊接过程中发生了一定程度的还原。而对于含 Al 的 No. 2、No. 3、No. 4 焊丝, 其熔敷金属发生了不同程度的渗 Si, 尤其是随着焊丝含 Al 量的增加, Si 的还原越来越显著, 表现为 K_{Si} 越来越接近 0。经估算, No. 3、No. 4 焊丝的药芯中分别有 78% 和 89% 的 SiO₂ 发生了还原。

顺便指出, 焊丝中 Al 的 K_{Al} 均接近 1, 表明其烧损极其显著。

3 分析讨论

由试验结果, 在 CO₂ 气体保护的条件下, 通过焊接过程, 药芯焊丝药芯中 Al 极大地促进了 C、Si 的还原。由相关氧化物生成自由能—温度图^[3](图 1)可知: (1) 在任何温度条件下, Al 均可作为 Si 的还原剂。因此, 无论是在熔滴反应阶段, 还是在熔池反应阶段 Al 均促进 Si 的还原, 而且几乎具有同样的反应推动力。然而, 从动力学的观点出发, 温度越高, 物质扩散加剧。所以, 相比之下, 在熔滴阶段 Al 更能促进 Si 的还原; (2) 对于 C 来说, 低于 2 000 °C 才具备 Al 作为 C 的还原剂的热力学条件。一般认为, 熔滴反应区的平均温度在 1 800~2 400 °C, 而熔池反应区的平均温度在 1 600~1 900 °C^[4]。因此,

有理由认为, Al 促进 C 的还原主要发生在熔池反应区。然而, 在熔滴反应区, Al 的过渡将是关键, 如果在这个反应区没有足够的 Al 的过渡, 在随后的熔池反应区将不能有足够的 Al 来促进 C 的还原。换句话说, 如果熔滴的存在时间延长或温度提高, 将加强 Al 的过渡, 在随后的熔池反应区也就能加强 C 的还原。而这样做按照上面的分析对 Si 的还原也将有促进作用。

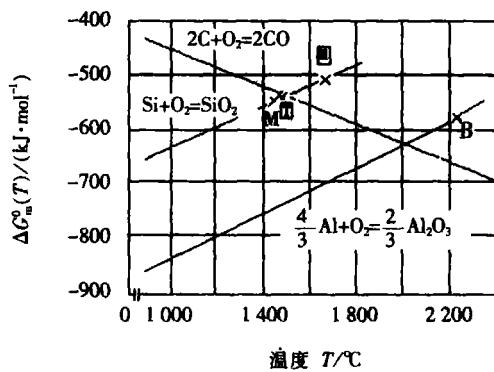


图 1 氧化物 ΔG_m^0 与温度 T 的关系

Fig. 1 Relationship between ΔG_m^0 and T

为了证实这一点, 将一药芯含 Al 的直径为 1.2 mm 的 $\text{TiO}_2 - \text{CaF}_2$ 型药芯焊丝在同样的 CO_2 气保护条件下以两种不同焊接参数堆焊后取样进行 C、Si 元素分析。两种不同的焊接参数分别是 $I = 280\text{A}, U = 24\text{V}$ 与 $I = 240\text{A}, U = 28\text{V}$, CO_2 气体流量统一为 25 L min^{-1} 。显然, 在焊接速度相同的情况下, 两者的热输入量一样, 然而, 后者的电弧长度比前者长, 熔滴的存在时间得以延长。试验结果是, 前者的含 C 量为 0.045, 含 Si 量为 0.17 (质量分数, %), 而后者的含 C 量为 0.072, 含 Si 量为 0.25

(质量分数, %), 后者的含 C 量、含 Si 量比前者均明显提高。证实了前面的分析。

4 结 论

(1) 药芯中的 Al 对合金元素 Si、C 的还原均具有极大的促进作用。并且随着药芯中 Al 的含量增加, 其 Si、C 的还原加强。Al 虽然促进 Mn 的过渡, 但不能抑制其氧化损失。

(2) 含 Al 药芯焊丝 Si 的还原在熔滴反应区与熔池反应区几乎具备相同的热力学条件。而 C 的还原主要发生在熔池反应区。故延长熔滴反应区的时间, 一方面, 将加强 Si 的还原。另一方面, 由于 Al 向熔滴过渡得以加强, 也将促进随后熔池反应区 C 的还原。

参考文献:

- [1] GuiChibin, Zeng Haibin, Wu Ping'an, et al. Transfer behaviors of carbon and manganese of flux cored wire in gas shielded arc welding [J]. Transactions of the China Welding Institution 2003 24(2): 86-88.
- [2] 田志凌, 潘川, 梁东图, 等. 药芯焊丝 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999: 99-100.
- [3] 邵光杰, 王锐, 董红星, 等. 物理化学 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002: 121.
- [4] 张文铖. 焊接冶金学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1995: 25-26.

作者简介: 桂赤斌, 男, 1949 年 1 月出生, 工学博士, 教授, 中国焊接学会金属焊接性与焊接材料委员会委员。主要研究方向为船舶焊接材料与工艺。

E-mail: cbgui@sohu.com

2005 年度《焊接学报》被《EI》收录的论文目次

2005 年第 1 期

- 高速电弧喷涂雾化熔滴传热过程数值分析 I 朱子新 等
 Ti/Al 焊接头应力的数值模拟 曹健 等
 纳米 WC-Co 经激光烧结后的晶粒再细化 沈以赴 等
 微合金钢焊缝组织中针状铁素体形核与长大驱动力 张德勤 等
 热作模具钢表面激光熔覆 Stellite X-40 钴基合金 张春华 等
 铝合金薄壁圆锥体结构的焊接变形 张建强 等
 铝合金电子束焊接特征区域特征参数的确定 吴庆生 等
 铜基钎料钎焊 SiC/Nb 的接头组织及强度 吕宏 等
 焊接接头断裂抵抗力工程估计方法的数值研究 张敏 等
 等离子弧堆焊镍基复合粉末涂层材料 董丽虹 等
 超音速火焰喷涂镍基合金层的腐蚀失效过程 赵卫民 等

- 数控焊接变位机示教再现控制系统 石群 等
 大容量储能点焊机放电回路计算机辅助优化设计 王敏 等
 以临界 $CTOA$ 为参量的含裂纹管道极限压力有限元模拟 李红克 等
 激光熔覆立铣刀的熔覆层微观结构和性能 黄永攀 等
 电弧传感器小波信号处理系统 洪波 等
 基于多场耦合的车门铰链凸焊过程有限元仿真 朱文峰 等
 虚拟焊接制造系统集成仿真方法 孔亮 等
 基于 PMAC 的椭球封面头接管自动焊接装置 霍孟友 等
 电子束扫描对 $\text{Ti}-\text{Al}-\text{V}$ 合金焊缝金属组织的影响 赵晖 等