

不平衡因子对药芯焊丝 CO_2 气体保护焊 焊缝金属韧度的影响

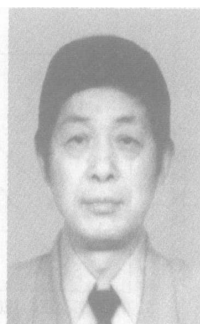
桂赤斌¹, 周红兵¹, 喻朝飞², 杜晓琪²

(1. 海军工程大学 船舶与动力学院, 武汉 430033; 2. 武汉铁锚焊接材料有限责任公司, 武汉 430084)

摘 要: 研究了由氮化物形成元素 Al、Ti 等控制的不平衡因子 B 对低合金药芯焊丝 CO_2 气体保护焊缝金属韧度的作用。结果表明, 在药芯具有氧化性的条件下, 不平衡因子 B 对焊缝金属韧度的作用仍然明显。并且相比实心焊丝 CO_2 气体保护焊而言, 不平衡因子 B 的最佳值增大了。分析表明, 药芯焊丝自身的氧化性是不平衡因子 B 增大的原因。在不平衡因子 B 由小增加到最佳值的过程中, 焊缝金属组织由粒状贝氏体+板条铁素体逐渐向以夹杂物为核心的针状铁素体组织发展, 由此其韧度逐渐改善; 而当不平衡因子 B 超过最佳值较多时, 过剩的氮化物形成元素进入铁素体固溶而导致脆化。

关键词: 药芯焊丝; CO_2 气体保护焊; 韧度; 不平衡因子

中图分类号: TG422 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2007)01-046-03



桂赤斌

0 序 言

由于 Al 具有十分优秀的脱氧、脱氮效果, 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。而非碱性药芯焊丝药芯焊缝金属通常是含 Ti 的。因此, 为取得最佳的焊缝金属韧化效果, 必然涉及 Al、Ti 含量的合理控制的问题, 在研究了保护气体与药芯本身的氧化性及 Al 对元素的过渡行为的影响^[1,2]的基础上, 研究 Al、Ti 对药芯焊丝 CO_2 气体保护焊低合金钢焊缝金属韧度的影响。

1 试验材料及方法

为考核 Al、Ti 含量的搭配对焊缝金属韧度的影响, 设计了一组屈服强度 $R_{\text{el}} \geq 440$ MPa 的 Ni-Cr 低合金试验用药芯焊丝。其制作是在药芯焊丝轧制设备上完成的。制作时的药芯填充率相同, 直径均为 $\Phi 1.2$ mm。制作焊丝所用钢带化学成分是(质量分数, %): C 0.03, Mn 0.25, Si 0.025, S 0.010, P 0.015。

在药芯配方中, 采用 TiO_2 - SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_3O_4 渣系, 除改变合金剂 Al 和 Fe_3O_4 的加入量外, 其它各组元的加入量保持不变, 以获得不同 Al 含量的熔敷金属。熔敷金属经按国家标准 GB/T 17493-1998《低

合金钢药芯焊丝》的要求检验, 其屈服强度 R_{el} 符合设计要求(460~510 MPa 之间)共有 6 种焊丝。按国家标准 GB/T 17493-1998《低合金钢药芯焊丝》的要求, 对这 6 种焊丝熔敷金属化学成分进行了分析。

按统一的工艺参数在 CO_2 气体保护下用这 6 种焊丝在平位置分别焊接对接接头试板。对接试板为含微 Nb 的连铸 12MnCrNi 钢板, 其化学成分为(质量分数, %): C 0.084, Mn 1.02, Si 0.50, S 0.007, P 0.013, Ni 1.14, Cr 0.52, Mo 0.13, V 0.03, Nb 0.031。试板尺寸为 300 mm×100 mm×16 mm, 60°坡口。预留间隙均为 1 mm; 试板由同一焊工用与堆焊相同的工艺参数焊制而成。所有对接试板的焊道布置也一致。在所有焊丝用含微 Nb 的连铸 12MnCrNi 钢板焊完后, 1 号焊丝用不含 Nb 的 12MnCrNi 再焊一对试板, 以考核 Nb 因熔合进入焊缝对韧度的影响。不含 Nb 的 12MnCrNi 的化学成分为(质量分数, %): C 0.11, Mn 1.02, Si 0.48, S 0.005, P 0.014, Ni 1.16, Cr 0.40, Mo 0.12, V 0.03。堆焊及对接焊的工艺参数为: $I = 200 \sim 220$ A, $U = 23 \sim 24$ V 及保护气体流量为 25 L/min。所有试板取焊缝中心进行-40℃却贝冲击试验。

2 试验结果

如先前的报道^[2], 药芯中的 Al 对合金元素 Si、C 的还原均具有促进作用。但在该组试验焊芯 Al 含

量水平下, Si, C 的还原不大, 分别由 0.05 增加到 0.07 及由 0.23 增加到 0.30 (质量分数, %)。C, Mn, Si, Ni, Cr, S 和 P 各元素波动不大。试验用药芯焊丝

熔敷金属 Al, Ti, N 元素的质量分数、相应不平衡因子 B 的计算结果及焊缝金属-40℃ 却贝冲击吸收功值见表 1 (表中 Nb 的分析数据来自焊缝金属)。

表 1 熔敷金属化学成分(质量分数, %)
Table 1 Chemical composition of deposited metal

No	Al	Ti	N	Nb *	却贝冲击功 $A_{kv}(-40^{\circ}\text{C})/\text{J}$	不平衡因子 B (%)
1	0.003 9	0.031	—	—	26, 30, 30, 24, 28 28 / 27.7	0.008 78
1 **	0.003 8	0.032	—	0	31, 36, 38, 38, 52 68 / 44	0.005 30
2	0.006 4	0.035	0.006 5	0.015 0	28, 34, 30, 52, 53 37 / 39	0.011 24
3	0.014	0.029	—	—	58, 49, 62, 54, 50 58 / 55.2	0.013 44
4	0.032	0.030	0.006 4	0.015 3	60, 53, 62, 50, 53 58 / 56	0.023 06
5	0.040	0.036	—	—	35, 35, 31, 28, 28 29 / 31	0.028 96
6	0.045	0.041	0.006 3	0.014 8	34, 30, 26, 29, 31, 30 / 30	0.033 01

*: Nb 的分析来自焊缝金属; **: 1 号焊丝不含 Nb 焊缝金属。

试验结果表明(表 1), 熔敷金属的含 Ti 量的波动不大(0.029%~0.041%), 而 Al 含量的变化较大。随着熔敷金属 Al 含量的增加(由 0.003 9% 到 0.045%), 焊缝金属的-40℃ 的平均却贝冲击吸收功先上升然后下降。可见, 该渣系的药芯焊丝在试验焊接工艺参数且熔敷金属含 Ti 在 0.029%~0.041% 条件情况下, 熔敷金属含 Al 量对其焊缝金属-40℃ 韧度的影响是明显的。另外如表 1 所示, 不含 Nb 的焊缝金属比含微 Nb 的(Nb 由母材熔化过渡而来)韧度要提高许多。还有, 熔敷金属的 N 含量几乎处于同一水平, 即大约 0.006% 左右, 这与钛型药芯焊丝的 N 含量水平是一致的^[3]。焊缝的 Nb 含量(由熔化母材扩散而来)也波动不大, 处于 0.015% 左右。

3 分析讨论

N 对焊缝金属缺口韧度有着不利的影响, Rittiger 和 Fehervar 曾提出不平衡因子 B 的概念, 用以衡量 Ti, Al 脱 N 对焊缝金属缺口韧度的影响^[4], 即

$$B = \frac{14}{27}\text{Al} + \frac{14}{48}\text{Ti} - \text{N}, \tag{1}$$

或
$$B = \frac{14}{27}\text{Al} + \frac{14}{48}\text{Ti} + \frac{14}{51}\text{Nb} - \text{N}, \tag{2}$$

式中各元素均取质量分数(%)。

当 B 大于 0 或小于 0, 必有一部分微合金元素(Ti, Al 或 Nb)或者一部分 N 处于固溶体中。而这两种情况都对焊缝金属的韧度不利。而实际上在 CO₂ 气体保护焊中, 由于氧化的作用等, $B \approx 0.01\%$ 时, 可以获得最好的韧度(图 1)^[4]。

然而, 在药芯焊丝 CO₂ 气保护焊时情况怎样呢? 按式(2)计算试验的各焊丝焊缝金属的不平衡

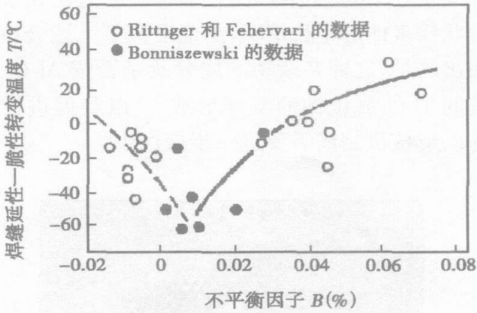


图 1 实心焊丝 CO₂ 气体保护焊焊缝金属
不平衡因子对却贝冲击转变温度的影响
Fig. 1 Effect of weld metal unbalance factor B on Charpy V impact transition temperature in CO₂ arc welding with solid wire

因子 B (表 1, N 取平均值约 0.006 4%, Nb 取平均值约 0.015%) 与-40℃ 的平均却贝冲击吸收功的关系见图 2。

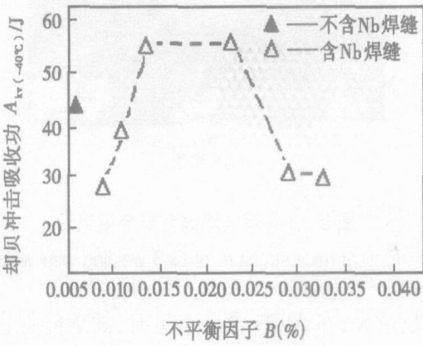
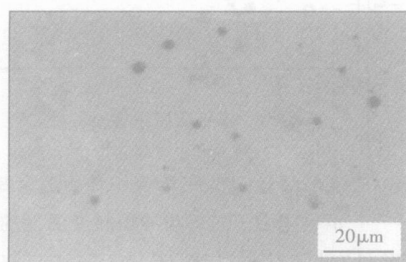
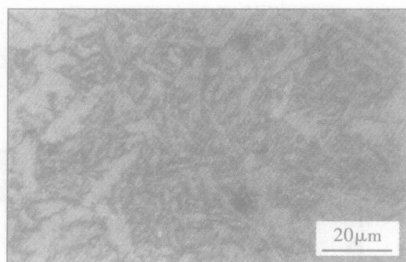


图 2 药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊焊缝金属
不平衡因子对却贝冲击韧度的影响
Fig. 2 Effect of weld metal unbalance factor B on impact absorbing energy in CO₂ arc welding with flux-cored wire

由图可见, 此渣系药芯焊丝在 CO_2 气体保护条件下焊接, 不平衡因子 B 值在 $0.013\% \sim 0.023\%$ 范围时, 焊缝金属韧度较好, 这与上述实心焊丝的 CO_2 气体保护焊的情况有所不同, B 的最佳值增大了。即由实心焊丝的 0.01% 增加到 $0.013\% \sim 0.023\%$ 的一个范围内的某个值。这个值值得进一步的深入研究。由此说明, 药芯焊丝药芯中 Fe_3O_4 的加入增加了合金元素的脱氧负担, 使得没有与 N 结合的所谓“过剩” Al, Ti 增加, 以用来脱氧。有关研究表明, 当焊缝金属夹杂物尺寸大于 $0.2 \mu\text{m}$ 时, 将促进针状铁素体的生长^[5]。因此, 为满足在焊接极短的时间内夹杂物长大到足够尺寸, 必须伴随比较激烈的脱氧过程。图 3 为 3 号焊丝焊缝金属内夹杂物促进针状铁素体组织生长的照片, 其中, 图 3a 为焊缝金属含夹杂物的情况, 尺寸大于 $0.2 \mu\text{m}$ 夹杂物比较多; 图 3b 为在夹杂物周围针状铁素体的生长情况, 由此证实了上述分析。需要指出的是, 这种夹杂物的成分及是否按 Al_2O_3 表面生长的 Ti 的氧化物的顺序形成^[3], 以及促进针状铁素体的形核机制尚需要进一步探讨。



(a) 夹杂物



(b) 组织

图 3 3 号焊丝焊缝金属金相组织

Fig. 3 Optical microstructure of No3 welding wire weld metal

反过来, 在 Al, Ti 含量不足时, 缺乏能促进针状铁素体组织生长的 Al, Ti 复合氧化物, 针状铁素体组织不发达, 图 4 所示照片为 1 号焊丝焊缝金属比较多见的组织形貌, 粒状贝氏体组织及板条铁素体比较发达, 焊缝金属韧度也就不理想。但是当焊缝金属的不平衡因子 B 太大, Al, Ti 严重过剩, 除形成

氧化物以外, 还将出现 Al, Ti 进入铁素体基体固溶, 这在强化焊缝金属的同时也恶化了韧度。

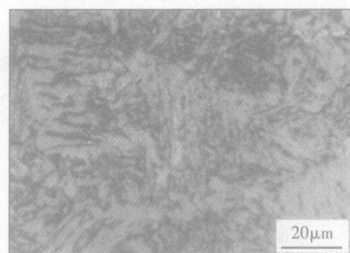


图 4 1 号焊丝焊缝金属金相组织

Fig. 4 Optical microstructure of No1 welding wire weld metal

需要特别指出的是, 1 号焊丝的不含 Nb 焊缝, 不平衡因子去掉 0.00348% 后, 偏离 0.01% 更远了, 按理其韧度应进一步恶化, 但相反却得到明显改善, 因此, Nb 对焊缝金属韧度的影响需要进一步深入研究。

4 结 论

(1) 在药芯焊丝 CO_2 气体保护焊过程中, 由焊缝金属中的氮化物形成 Al, Ti 等元素控制的不平衡因子 B 对焊缝金属韧度作用明显。

(2) 由于药芯焊丝自身具有氧化性, 使得在实心焊丝中对韧度最为有利的不平衡因子 B 的最佳值增大。

(3) 在不平衡因子 B 由小增加到最佳值的过程中, 焊缝金属组织由粒状贝氏体+板条铁素体逐渐向针状铁素体发展, 其韧度逐渐改善; 而当不平衡因子 B 超过最佳值较多时, 过剩的 Al, Ti 等元素对基体的固溶, 从而导致脆化。

参考文献:

- [1] 桂赤斌, 曾海斌, 吴平安, 等. 气保护药芯焊丝合金元素 C, Mn 过渡行为[J]. 焊接学报, 2003, 24(2): 86—88.
- [2] 桂赤斌, 吴平安, 王安立. Al 对药芯焊丝 CO_2 气体保护焊熔敷金属成分的作用[J]. 焊接学报, 2005, 26(6): 54—56.
- [3] 田志凌, 潘川, 梁东图. 药芯焊丝[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999.
- [4] Masumoto. 微合金成分对焊缝金属韧度的影响《IIW DOC》XII—E—38—79 [J]. 陈序, 译. 钢铁研究情报, 1983, 27(1): 114—130.
- [5] Liu S, Olson D L. The role of inclusions in controlling HSLA steel weld microstructures[J]. Welding Journal, 1986, 65(6): 139s—149s.

作者简介: 桂赤斌, 男, 1949 年出生, 工学博士, 教授, 博士生导师。中国焊接学会金属焊接性与焊接材料委员会委员。主要从事船舶焊接材料与工艺方面的科研和教学工作。发表论文 40 余篇。

Email: cbgui@sohu.com

DENG Cai-Yan (School of Material Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China). p37—40

Abstract: This research measures the residual stress of high frequency electric resistant welded pipe using the central-hole method and analyses the transient state of deformation and residual stress of the weld with ANSYS nonlinear finite element program. The experimental results show conformity compared with the FEA results. And the distributing of residual stress of high frequency resistant welded pipe compared with the that of normal arc welding, but the numerical values are smaller. This result is important to weld project.

Key words: high frequency electric resistance welded pipe; residual stress; ANSYS

Current waveform control system of high-speed CO₂ arc welding

CHEN Huan-ming¹, ZENG Min², CAO Biao² (1. Department of Welding Engineering, Nanchang Institute of Aeronautical Technology, Nanchang 330063, China; 2. College of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China). p41—45

Abstract: A new control method of welding current waveform was investigated to solve the problem of bad weld appearance and much spatter in high-speed CO₂ arc welding, which controlled the short circuit current and its rising rate in short circuit period, and adopted the two-step constant current method of big constant current and small constant current to adjust the arc energy in arc period. According to the control principle, the system based on a single chip computer and the software of the waveform control were developed. The effect of waveform control parameters on weld appearance was analyzed, and the parameters were optimized. The results show that this system can precisely control the arc energy with the two-step constant current method, and obviously improves the performance of welding process, and meets the needs of high-speed CO₂ arc welding.

Key words: current waveform control; high-speed welding; CO₂ arc welding; single chip computer

Effect of unbalance factor on toughness of weld metal by CO₂ arc welding with flux cored wire

GUI Chi-bin¹, ZHOU Hong-bin¹, YU Chao-fei², DU Xiao-qi² (1. Navy University of Engineering, Wuhan 430033, China; 2. Wuhan Anchor Welding Material Limited Liability Company, Wuhan 430084, China). p46—48

Abstract: The effects of unbalance factor B controlled by nitride forming elements Al, Ti etc on the impact toughness of weld metal by CO₂ arc welding with flux cored wire were studied. The experimental results showed that as the B increases, the impact toughness increases at first and then decreases. Because of the fluxes oxidability, the optimal value of B raised as compared by CO₂ arc welding with solid wire. As the increases from the first to optimal value, the main microstructure of the weld metal changed from gran-

ular bainite and ferrite side-plate to acicular ferrite, so the impact toughness was improved. But in case of the B over the optimal value very much, the toughness decreased because the surplus nitride forming elements resided in the parent of ferrite.

Key words: flux cored wire; CO₂ arc welding; toughness; unbalance factor

Effects of N₂ protection on wettability of Sn-Cu-Ni-Ce lead-free solder

WANG Jian-xin¹, XUE Song-bai¹, HUANG Xiang¹, HAN Zong-jie¹, YU Sheng-lin^{1,2} (1. College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. The 14th Research Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing 210013, China). p49—52

Abstract: The wettability of Sn-Cu-Ni-Ce solder on Cu substrate was investigated by wetting balance testing method under the conditions of different temperatures and atmospheres, and the effects of atmosphere, temperature and small amount of rare-earth element Ce added to the solder on the wettability of Sn-Cu-Ni solder were also studied respectively. The results indicate that wetting time of the lead-free solder is reduced by 20%-50%, and the wetting force is also increased in N₂ atmosphere because of the surface tension increase of the Cu substrate and the surface tension decrease of the Sn-Cu-Ni-Ce solder. With temperature increasing, the surface tension of the Sn-Cu-Ni-Ce solder decreases, so wetting time is observably reduced. rare-earth element Ce could lead to decrease evidently the surface tension of the Sn-Cu-Ni solder as well as the interfacial tension between solder and Cu substrate, so the wettability of Sn-Cu-Ni-Ce solder is better than that of Sn-Cu-Ni solder.

Key words: Sn-Cu-Ni-Ce solder; lead-free solder; wettability; Ce

Molten pool image gathering and processing of aluminum alloy twin-wire MIG welding

WANG Ke-hong, JIA Yang, QIAN Feng, SHEN Ying-ji (Department of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China). p53—56, 60

Abstract: A passive vision sensing system for the image of twin-wire MIG welding molten pool of aluminum alloy has been set up. Near-infrared CCD and compound filters system are used to eliminate the arc disturbance, and the best filter window of aluminum alloy is obtained, from which good images can be acquired. By using image enhancement, threshold partition, boundary extraction, the molten pool boundary and the molten pool geometric parameters are extracted through image processing.

Key words: twin-wire metal inert-gas welding; molten pool; near infrared vision sensing; image processing

Transition control between two tele-teaching points based on force sensing in remote welding

LIU Li-jun^{1,2}, GAO Hong-