

环保焊枪吸烟对小电流 CO₂ 气体保护电弧焊的影响

黄 勇^{1,2}, 张佳杰^{1,2}, 冉小龙^{1,2}, 毛 宇³

(1. 兰州理工大学 省部共建有色金属先进加工与再利用国家重点实验室, 兰州 730050; 2. 兰州理工大学 有色金属合金及加工教育部重点实验室, 兰州 730050; 3. 济南诺斯焊接辅具有限公司, 济南 250000)

摘 要: 采用环保焊枪进行了小电流二氧化碳气体保护电弧焊平焊位置焊接, 通过分析焊接过程中电弧形貌、电流电压和熔滴过渡方式变化以及焊缝成形、焊缝金属拉伸力学性能和 X 射线探伤结果, 评估了吸烟功率变化时的吸烟效果以及吸烟行为对于焊接过程和焊缝质量的影响规律. 结果表明, 使用环保焊枪可以显著降低小电流二氧化碳气体保护电弧焊时飘散在周围空间中的焊接烟尘. 吸烟过程虽然使得短路过渡熔滴频率略有增加, 悬挂熔滴和电弧的稳定性略有变差, 但对焊缝成形和焊接缺陷都无影响, 焊缝金属屈服强度略有减小, 抗拉强度略有增加.

关键词: 环保焊枪; 二氧化碳气体保护电弧焊; 短路过渡; 焊接过程; 焊接品质

中图分类号: TG 433 **文献标识码:** A **doi:** 10.12073/j.hjxb.2019400315

0 序 言

近年来, 人们对于环保与健康的问题越来越重视, 因焊接而引起的健康问题也是其中之一. 而作为被广泛使用的焊接方法, 熔化极电弧焊接所产生的烟尘处理问题一直广受关注^[1]. 焊接烟尘是由焊接过程中产生的金属蒸气向周围空气扩散经冷凝、氧化等一系列反应生成. 焊接烟尘中含有包括 0.1 ~ 1 μm 在内的一次粒子与二次粒子, 很容易被人体吸收并积聚^[2]. 焊接烟尘中含有大量对人体有害的金属元素, 如铁、锰、镍、铬、铜、铅、钼、钴、镉、铝等^[3], 占烟尘含量最多的铁元素会在人体中诱发多种疾病, 如肺含铁血黄素沉着症与肺损伤以及大叶性肺炎等, 六价的铬和镍元素会引起鼻粘膜损伤以及肺癌, 镉元素不仅会导致肺癌, 还会引发肾和骨头的病变, 锰元素会引起帕金森病、精神病以及运动障碍等^[4-6]. 因此, 在保证熔化极电弧焊接作业高效实施同时, 也必须保障施焊现场人员健康以及保护环境.

针对焊接烟尘所产生的问题, 目前主要有以下几种治理方案. (1) 个人防护: 通过佩戴面罩来保护劳动者健康, 该方法具有一定局限性, 只能保护单一工人个体, 不能改善车间整体环境, 车间空

气中的烟尘浓度依然维持较高水平. 另外, 还需根据实际工况选择合适的面罩, 否则并不会对佩戴者提供有效保护^[7]; (2) 工位吸烟: 针对焊接烟尘高浓度排放区域进行治理, 可有效减少烟尘在空气中的扩散, 取得良好治理效果, 但在狭小工位进行焊接作业时, 如在造船、人孔等环境, 受周围空间限制, 将影响方案实施和吸烟效果^[8-9]; (3) 车间整体治理: 对于整体厂房还可以采用置换通风或分层送风方式来处理烟尘, 通过自然送风或者机械送风稀释或置换烟尘. 自然通风受室外温度影响, 由于自然进气效率的差异, 自然通风装置的位置和高度对焊接烟尘的控制有较大的影响. 而机械送风的方式又有从底部送风和水平送风两种, 底部送风过程会使烟尘在上升的过程中通过工人呼吸的区域, 水平送风方式对于设备和能量的消耗都比较大^[10].

为了更好解决焊接烟尘的影响以及优化现有治理方案, 采用济南诺斯焊接辅具有限公司所提供的环保焊枪及配套系统, 进行 CO₂ 气体保护电弧焊试验. 吸烟系统与环保焊枪连接使用, 由吸烟系统提供吸取烟尘的动力, 烟尘产生后被焊枪上的同轴吸口所吸取, 从而达到烟尘处理效果. 该套系统以工位吸烟的方式工作, 但与同类型吸烟设备相比, 可以做到跟随焊接过程实时保证吸烟除尘效果, 并且除尘装置集成在焊枪上, 避免了其它同类产品受空间的限制, 保证了在多种位置焊接的烟尘处理.

文中将试验检测环保焊枪的吸烟效果及其对焊接过程和焊接质量的影响,这对于推动这种新型焊接烟尘治理方式及装备的理论研究和推广具有重要意义。

1 试验方法

试验材料为 Q235 碳钢板,板厚 6 mm. 焊丝为二氧化碳气体保护焊实芯焊丝 ER50-6, 直径为 $\phi 1.2$ mm.

焊接方法为二氧化碳气体保护电弧焊,采用实芯焊丝进行平焊位置的小电流焊接试验,焊接参数见表 1. 环保焊枪为济南诺斯焊接辅具有限公司提供环保焊枪 7XE, 配套高强吸烟系统为 Clear O2, 见图 1. 与普通焊枪相比,该类焊枪在喷嘴周围均匀分布了多个吸烟口. 烟尘产生后,向周围扩散过程中被吸烟口所产生的吸力捕捉收集,达到烟尘治理效果. 吸烟系统与环保焊枪连接使用,由吸烟系统提供吸取烟尘的动力,见图 2 吸烟工作示意图及图 3 吸烟口. 在焊接过程中分别采用 4 种不同的吸烟功率 0, 5, 7, 10 挡,其中 0 挡是不采取吸烟的普通 CO₂ 气体保护电弧焊. 为了分析环保焊枪吸烟对于焊接过程的影响,分别记录四种吸烟功率下的焊接电流与焊接电压变化,并运用高速摄像技术分析吸烟及吸烟功率变化对于熔滴过渡的影响. 高速摄像机为 OLYMPUS 公司生产的 i-SPEED3, 滤光

表 1 焊接参数

Table 1 Welding parameters

焊接电流 I/A	焊接电压 U/V	焊接速度 v/(mm·min ⁻¹)	焊丝伸出长度 l/mm	气体流量 Q/(L·min ⁻¹)
150	22.4	100	15	15



图 1 吸烟设备及环保焊枪

Fig. 1 Fume extraction equipment Clear O2 and environment protection welding torch

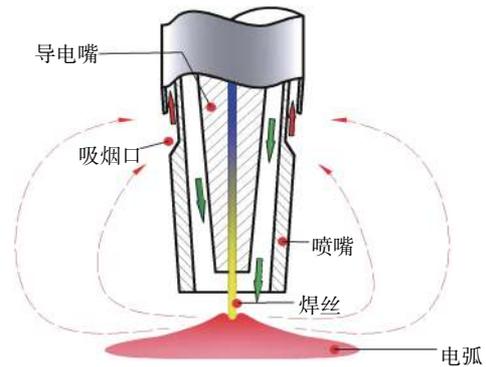


图 2 吸烟工作示意图

Fig. 2 Fume extraction schematic



图 3 吸烟口

Fig. 3 Fume extraction openings

片波长 660 nm, 快门速度为 7 500 fps. 整个焊接过程中焊枪固定,且与焊接试板相垂直,焊后记录焊缝表面形貌并进行对比分析.

为了解吸烟过程对于焊缝质量的影响,按照标准 NB/T03.2—2015 进行焊缝 X 射线探伤试验,来检查吸烟对于焊接缺陷的影响. X 射线探伤机型号为 XXG-3005, 焦点尺寸 3 mm × 3 mm, 焦距 600 mm, 管电压 180 kV; 胶片为爱克发 C7, 尺寸为 300 mm × 80 mm, 底片黑度为 2.0 ~ 4.5. 随后将焊缝进行机械加工,根据标准 GB2651—89《焊接接头拉伸试验方法》进行焊缝拉伸性能测试,以评估吸烟对焊缝拉伸强度的影响. 试验装置为 DW-300J 型号微机控制电子万能材料试验机,拉伸试件厚度为 2 mm.

2 试验结果及分析

2.1 对焊接过程的影响

实际焊接情况如图 4 所示. 未吸烟时,烟尘扩散,在焊枪周围积聚成淡蓝色雾. 开启吸烟后,烟尘在上升过程中被吸口捕捉,可清晰观察到烟尘流入吸口,被吸烟系统吸走. 施焊结果表明,开启吸烟功能,扩散到周围空间中的焊接烟尘显著减少.

图 5 为不同吸烟功率下焊接电流和电压的变



(a) 未吸烟 (b) 吸烟

图 4 环保焊枪焊接试验吸烟效果对比

Fig. 4 Fume extraction effect comparison of environment protection welding torch

化以及吸烟功率对焊接电流和电压平均值的影响规律. 吸烟使得焊接电流波动略有增加, 而电压变化则不明显. 造成这种现象的原因, 可能是环保焊枪在工作时会些许影响熔滴过渡, 导致电流及电压的变化. 从表 2 焊接时电流与电压的方差值也发现, 虽然加入吸烟后焊接的稳定性稍差, 但吸烟及其功率变化对焊接电流电压平均值的影响都几乎可以忽略.

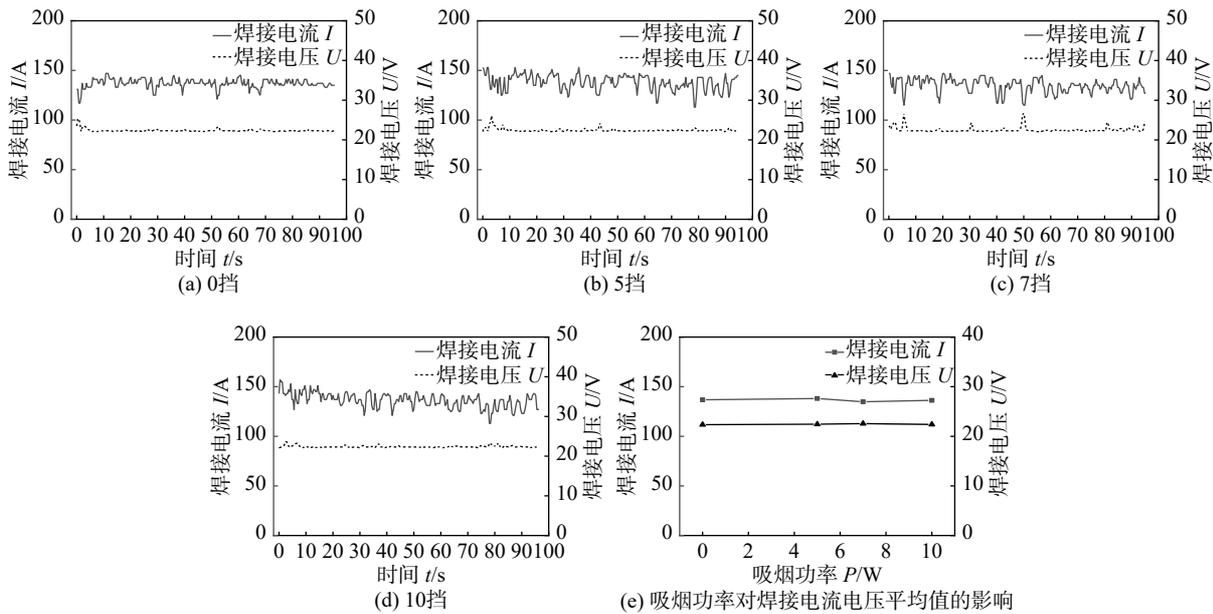


图 5 不同吸烟功率下焊接电流和电压变化及焊接电流和电压平均值变化

Fig. 5 Change of welding current and voltage and their average value under different fume extraction

表 2 吸烟对焊接电流与电压变化方差的影响

Table 2 Effect of fume extraction on variance of welding current and voltage

吸烟功率档位	焊接电流方差 D_I	焊接电压方差 D_U
0	4.637	0.384
5	7.747	0.462
7	7.144	0.731
10	7.442	0.274

图 6 为不同吸烟情况下熔滴过渡过程中一个周期的高速摄像截图. 在试验焊接条件下, 焊接时的熔滴过渡都为典型的短路过渡, 熔滴过渡过程相对稳定, 周期规律性强. 电弧起弧后, 焊丝端部逐渐熔化, 液态熔滴逐渐增大, 电弧从焊丝端部向下移动到熔滴底部. 随着熔滴逐渐长大, 电弧被压缩成倒三角状, 体积逐渐缩小, 最终电弧消失形成短路过渡, 而后金属液柱过热发生爆断, 电弧瞬间在焊

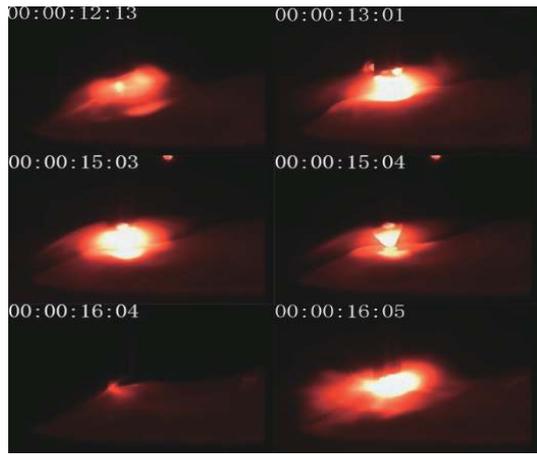
丝端部重燃.

当开启吸烟功能后, 熔滴频率略有加快. 根据高速摄像结果发现, 吸烟使得燃弧和过渡的时间都变短, 其中燃弧时间缩短近半, 短路时间缩短并不明显, 熔滴最大体积比未使用吸烟的状况要小, 悬挂熔滴和电弧的稳定性都略差. 总体而言, 在试验焊接条件下, 开启吸烟功能, 将对电弧稳定性和熔滴过渡过程产生一定影响, 但不明显.

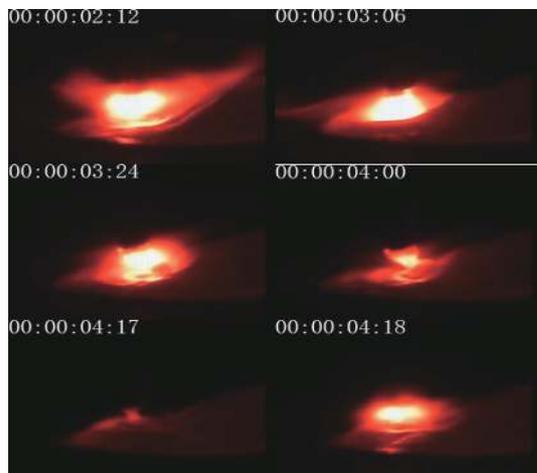
开启吸烟功能, 将加快电弧周围气体流动, 使电弧和熔滴受冷, 电弧略有收缩, 熔滴过渡频率加快. 同时, 收缩的电弧还使得熔池前端下凹增加, 熔池后端液态金属表面倾斜程度增加, 尤其是吸尘功率为 10 挡时, 从而一定程度上使得弧长缩短, 这也使得熔滴过渡周期缩短, 熔滴过渡频率略有加快.

2.2 对焊接质量的影响

图 7 是不同吸烟功率下的焊缝表面成形. 可以



(a) 未吸烟



(b) 吸烟

图 6 吸烟对电弧形貌及熔滴过渡行为的影响
Fig.6 Effects of fume extraction on arc shape and droplet transfer behavior

看到, 吸烟对于焊缝表面成形没有影响, 焊缝表面均匀一致, 未出现成形缺陷和表面缺陷, 且飞溅和粘附于试板表面的焊接烟尘都较少.

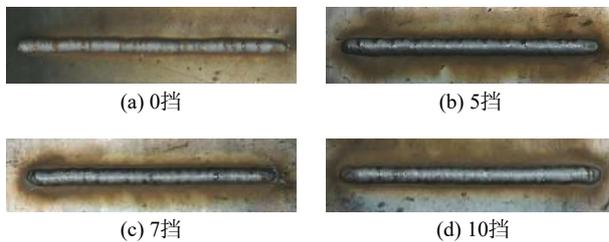


图 7 焊缝表面成形
Fig.7 Weld surface forming

焊缝 X 射线探伤结果如图 8 所示, 无论是否使用吸烟, 焊缝中均未发现气孔夹杂等焊缝缺陷. 而 10 挡时焊缝末端出现的密集气孔, 可能是由于焊接结束后, 没有及时关闭吸烟系统, 致使末端焊缝液态金属冷却加速, 焊接时高温熔池内的气体未能及

时逸出所形成.

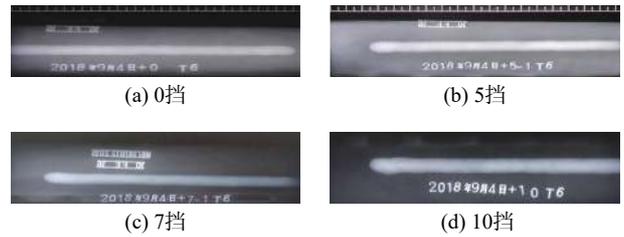


图 8 焊缝 X 射线探伤
Fig. 8 X-ray flaw detection of welds

图 9 是焊缝的拉伸试验结果, 表 3 是焊缝金属拉伸强度. 可以看出, 焊缝均断裂在母材热影响区, 吸烟使得焊缝金属的屈服强度降低约 15%, 而使抗拉强度略有增加. 吸烟功率变化对焊缝拉伸强度的影响不明显.



图 9 焊缝拉伸试验结果
Fig. 9 Tension test results of welds

表 3 吸烟功率对焊缝金属拉伸强度影响
Table 3 Effect of fume extraction power on tensile strength of weld metals

吸烟功率挡位	屈服强度 R_{eL} /MPa	抗拉强度 R_m /MPa
0	382.5	495.0
5	336.0	510.0
7	328.5	500.0
10	336.0	500.0

3 结 论

(1) 使用环保焊枪可以显著降低小电流 CO₂ 气体保护电弧焊时飘散在周围空间中的焊接烟尘.

(2) 吸烟过程将会影响小电流 CO₂ 气体保护电弧焊时的短路过渡过程, 使得短路过渡频率加快, 悬挂熔滴和电弧的稳定性变差, 但其影响并不显著.

(3) 试验条件下吸烟对小电流 CO₂ 气体保护电

弧焊焊缝成形、焊缝缺陷都没有影响,但会使焊缝屈服强度略有降低,抗拉强度略有增加。

参考文献:

- [1] Zhang H W, Su J H, Chen J. Status and development trend of the welding consumables industry in China[J]. *China Welding*, 2017, 26(2): 23 – 31.
- [2] 肖诗祥, 施雨湘, 杨世柏. 焊后焊接烟尘粒子的凝并 [J]. *武汉交通科技大学学报*, 1997, 21(4): 414 – 419.
Xiao Shixiang, Shi Yuxiang, Yang Shibo. Aggravation of post-weld fume particle[J]. *Journal of Wuhan Transportation University*, 1997, 21(4): 414 – 419.
- [3] Hassani H, Golbabaei F, Ghahri A, *et al.* Occupational exposure to manganese-containing welding fumes and pulmonary function indices among natural gas transmission pipeline welders[J]. *Journal of Occupational Health*, 2012, 54(4): 316 – 322.
- [4] Koh D, Lee S W, Ye B, *et al.* Grouping schemes of welding fume exposure in shipyard welders[J]. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2018, 15(5): 413 – 421.
- [5] Floros N. Welding fume main compounds and structure[J]. *Welding in the World*, 2018, 62(2): 311 – 316.
- [6] Donoghue A M, Wesdock J C. Pneumococcal vaccination for welders: global deployment within a multi-national corporation[J]. *American Journal of Industrial Medicine*, 2019, 62(1): 69 – 73.
- [7] Golbabaei F, Khadem M. Air Pollution in welding processes-assessment and control methods [M]. Rijeka: Intech Open, 2015.
- [8] Smith L K. Fume exposures from welding with low hydrogen electrodes[J]. *Annals of Occupational Hygiene*, 1967, 10(2): 113 – 121.
- [9] Flynn M R, Susi P. Local exhaust ventilation for the control of welding fumes in the construction industry-a literature review[J]. *Annals of Occupational Hygiene*, 2012, 56(7): 764 – 776.
- [10] Chen S. Research status of ventilation method in welding workshop[C]//*Proceedings of the 2017 International Conference on Society Science (ICoSS 2017)*, Shenyang: Atlantis Press., 2017: 17–19.

第一作者简介:黄勇,男,1972年出生,博士,教授。主要从事焊接 EHS、焊接物理、高效焊接技术和功能材料连接技术研究。发表论文 90 余篇。E-mail: hyorhot@lut.cn