

双电极焊条单弧焊的电弧特性

邹增大, 韩彬, 曲仕尧, 王新洪*

(山东大学材料科学与工程学院, 济南 250061)



邹增大

摘要: 针对双电极焊条单弧焊焊接新工艺, 作者研究了其电弧静特性和双电极焊条的熔化特性, 并用高速摄像机对双电极焊条单弧焊的电弧形态进行了研究。结果表明, 双电极焊条单弧焊具有上升的电弧静特性, 静特性曲线随两焊芯间距的增大而上移, 在两焊芯间距合适的情况下, 双电极焊条阴、阳极熔化速度可以保持一致, 故双电极焊条单弧焊可使用交、直流电源, 其熔化速度比单芯焊条的大并随焊接电流的增大和两焊芯间距的减小而增大, 双电极焊条单弧焊电弧有多种形态。

关键词: 双电极焊条单弧焊; 焊接电弧; 静特性; 熔化特性

中图分类号: TG444 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2004)01-05-04

0 序 言

电弧是电弧焊接的热源, 对焊接电弧物理性能的研究是现代电弧焊领域中的一大研究课题^[1,2], 同时对焊接电弧静特性的认识和测试也是电弧物理性能研究的基础。国内外学者对钨极氩弧焊^[3~5]和等离子弧焊^[6]的电弧现象进行了广泛而深入的研究, 近年来, 由于熔化极气体保护焊的发展, 对其电弧现象和焊丝的熔化也进行了大量研究^[7~9], 并且有文献介绍对焊条电弧焊^[10,11]和电弧喷涂的电弧现象和焊丝熔化进行了研究^[12]。

双电极焊条单弧焊是一种新的焊接工艺, 具有对被焊工件的热输入调节范围大、工件上不存在活性斑点区、熔合比可调范围广等特点, 其熔敷效率高、节约电能, 在焊接领域有广泛的应用前景。对双电极焊条单弧焊电弧特性的研究还未见报道。

作者研究了双电极焊条单弧焊电弧的静特性及焊条的熔化特性, 并用高速摄像方法, 对双电极焊条单弧焊的电弧形态进行了观察, 以期对确定和提高双电极焊条单弧焊的工艺性和焊接质量起到理论指导作用。

1 双电极焊条单弧焊

双电极焊条单弧焊所用的双电极焊条如图1所

示, 一根焊条中有两个焊芯, 两焊芯间相互绝缘。所谓双电极焊条单弧焊是焊接时双电极焊条的两焊芯用特制的焊钳夹持, 分别接电源的正、负两极, 工件不接电源。电弧在双电极焊条相互绝缘的两个焊芯的端部形成, 电弧可在离工件不同距离的空间进行引弧和燃烧, 两极性斑点分别在两焊芯上。主要利用弧柱热量和熔滴携带热量熔化母材, 改变了被焊工件的热循环。

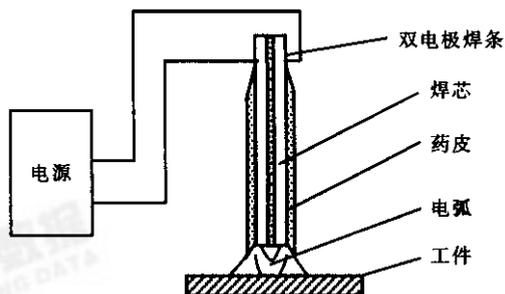


图1 双电极焊条单弧焊示意图

Fig. 1 Schematic diagram of twin electrode single arc welding

2 试 验

2.1 试验材料

试验用焊条为自制的双电极焊条, 药皮类型为钛钙型; 两焊芯材料均为 H08A, 焊芯尺寸为 $\phi 4 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$, 两焊芯间距为 $0.6 \sim 2.0 \text{ mm}$ 。采用在空中燃烧和平板堆焊方法研究电弧静特性、焊条熔化特性和电弧行为。平板堆焊时, 试验用母材为 Q235 钢, 尺寸为 $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 。焊接

收稿日期: 2003-05-30

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目(Z2002F03)

* 参加此项研究工作的还有李立英, 王育福

以前,用砂轮将试板表面打磨干净,防止铁锈、油污影响焊接质量。焊条经过 $100 \sim 150 \text{ }^{\circ}\text{C} \times 2 \text{ h}$ 烘干。

2.2 试验设备和方法

试验用焊机为 ZX7-400S IGBT 逆变焊机,外特性为恒流带外拖。所用焊接电流 $I = 100 \sim 240 \text{ A}$ 。用 Agilent 54624A 示波器测试双电极焊条单弧焊时的电压和电流波形。电弧形态测试采用 FASTCAM Super-10KC 型高速摄像设备,该设备由主机、摄像头、电源、显示器、计算机和打印机等部分组成。

3 试验结果和讨论

3.1 双电极焊条单弧焊电弧静特性

电弧静特性是指一定间距的双电极焊条在电弧稳定燃烧状态下,电弧电压与电弧电流之间的关系。

双电极焊条单弧焊,同一焊条内两焊芯相互平行且绝缘,电弧电压主要取决于药皮组分和焊芯间距。当电弧稳定燃烧时,双电极焊条单弧焊电弧电压 U 与焊接电流 I 之间的关系曲线如图 2 所示。

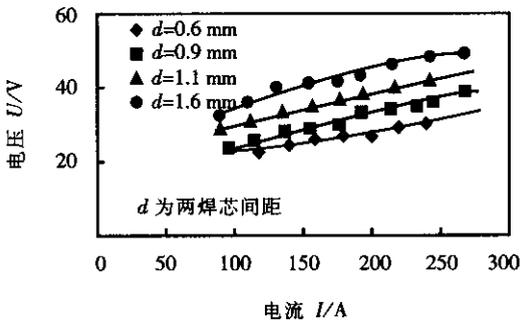


图2 双电极焊条单弧焊电弧静特性曲线

Fig.2 Static characteristic of twin electrode single arc welding

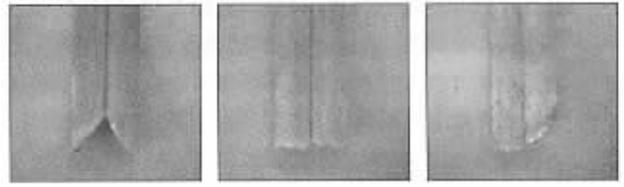
可以看出,双电极焊条单弧焊为上升的电弧静特性。另一方面,从双电极焊条单弧焊电弧静特性曲线可以看出,双电极焊条两焊芯间距发生变化时,电弧静特性曲线也随之变化,随两焊芯之间距离的增大,电弧静特性曲线位置将上移,即电流一定时,电弧电压随两焊芯间距增大而升高。众所周知,一般的单芯焊条电弧焊电弧的静特性处于水平段,因此,双电极焊条单弧焊电弧静特性与一般单芯焊条电弧焊电弧静特性不同,而与气体保护焊和等离子弧焊的电弧静特性类似^[13,14]。

3.2 双电极焊条的熔化特性

众所周知,通常在采用直流电源进行焊条电弧焊时,阴、阳极的熔化速度是不相等的,主要由于阴极发射电子消耗能量而使之熔化速度低于阳极,所以在相同条件下,焊条接正极时熔化速度较快。双

电极焊条的两焊芯一个接电源正极,一个接电源负极,在电弧作用下,熔化速度能否保持一致将是焊接能否稳定进行的关键。

当双电极焊条两焊芯间距较小即两焊芯外侧的药皮厚度相对比两焊芯之间的药皮厚度大时,两焊芯中间药皮熔化较快,而两焊芯外侧的药皮熔化较慢,电弧在较小的空间内燃烧,并且双电极焊条焊芯两边药皮对电弧的压迫作用,使电弧更趋于集中,形成如图 3a 所示的套筒。双电极焊条两焊芯阴、阳极熔化速度不一致的情况不存在。



(a) 两焊芯间距较小 (b) 两焊芯间距中等 (c) 两焊芯间距较大

图3 双电极焊条套筒形状

Fig.3 Mantle scope of twin electrode

很明显,由于双电极焊条单弧焊电弧在双电极焊条的两焊芯端部燃烧,电弧直接加热两焊芯间的药皮,随着两焊芯间距的增大,电弧电压升高,焊接电弧热功率增加,使用于熔化两焊芯外测药皮的热量增多,套筒变短。当两焊芯间药皮厚度与两焊芯两边的药皮厚度比例合适时,即两焊芯间距(电弧电压)一定时,可出现较平的套筒形状,如图 3b 所示。因此调整适当的两焊芯间距,可使正、负极熔化速度一致,故双电极焊条单弧焊可用交、直流电源。

当双电极焊条两焊芯间距较大时,电弧电压较高,双电极焊条两焊芯熔化速度不一致的问题才表现得比较明显,阳极比阴极熔化速度快,如图 3c 所示。当双电极焊条两焊芯间距很大时,两焊芯熔化速度不一致使引弧后难以稳定燃烧,随两焊芯熔化速度差别的增大,电弧电压迅速升高,电流降低,导致断弧而不能施焊。

普通单芯焊条焊接时,焊芯的直径和焊接电流的大小是影响焊条熔化速度即焊接熔敷效率的主要因素,电弧电压的影响比较小。但在双电极焊条单弧焊中,焊条熔化速度除了与电流有关外,还与两焊芯之间的距离即电弧电压有关,如图 4 所示。

可以看出,双电极焊条熔化速度随焊接电流增大而增大,这与普通单芯焊条类似,其原因是随电流增大电弧的热功率增大而且电阻热也增大。在相同焊接电流情况下,双电极焊条比普通单芯焊条的熔化速度快。双电极焊条熔化速度随焊接电流增大和两焊芯间距的减小而增大。电弧电压对普通单芯

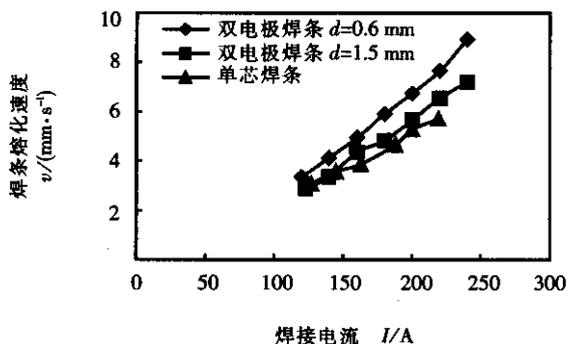


图4 焊条熔化速度与焊接电流的关系

Fig. 4 Relationship of melted rate and welding current

焊条的熔化速度影响不大。一般认为电弧电压随弧长增长而增大主要是因为弧柱电压发生了改变,而阴、阳极压降几乎不变。所以虽然随弧长增长电弧的功率增大,但由于弧长的增长增大了电弧的热损失,总体效果电弧弧长的变化对焊条熔化速度影响不大。而对双电极焊条单弧焊,两焊芯间距即电弧电压对焊条熔化速度却有一定的影响。电弧电压越小即焊条两焊芯间距越小,焊条熔化速度越快。这主要是因为双电极焊条单弧焊中电弧弧柱对两焊芯的加热作用较强和电弧热损失较少,这是由双电极焊条单弧焊这种工艺的本质决定的,即双电极焊条单弧焊电弧对焊条本身的热输入较大,并随两焊芯间距的减小损失于周围环境的能量减少。

3.3 双电极焊条单弧焊电弧形态

由于工件不接电源,双电极焊条单弧焊电弧在双电极焊条相互绝缘的两焊芯之间产生,电弧可在空间任何位置引燃并燃烧,如图5a、b、c所示。当两

电极间距很小时,电弧如图5a所示,为聚合态;当两焊芯间距在一定的范围内,电弧可能处于聚合与分散交替状态,如图5b所示;当两焊芯间距较大时,为分散状态,如图5c所示。虽然双电极焊条电弧形态不同,但电弧仍是在双电极焊条两极之间产生的单弧。

图5d、e、f是同一根焊条在试板上焊接时的电弧形态,可以看出,电弧形态也是变化的,对熔池有强烈的搅拌作用,这主要是受自身电磁场及熔滴过渡的影响。

试验发现,除了两焊芯间距是影响双电极焊条单弧焊电弧形态最重要的因素外,熔滴过渡、焊接电流及其产生的自磁场也是影响电弧形态的因素,这方面的问题有待进一步研究。

4 结 论

(1) 双电极焊条单弧焊具有上升的电弧静特性,并随两焊芯间距的增大而上移。

(2) 在两焊芯间距合适的情况下,双电极焊条可以保持阴、阳极熔化速度一致。

(3) 在同一焊接电流下,双电极焊条的熔化速度比单芯焊条的熔化速度大,并随焊接电流的增大和两焊芯间距的减小而增大。

(4) 双电极焊条单弧焊电弧能在空间任意位置引燃和燃烧并有多种形态。

参考文献:

- [1] 安藤弘平,长谷川光雄. 焊接电弧现象(增补版)[M]. 北京:机械工业出版社,1985.
- [2] Lancaster J F. The physics of welding(first edition)[M]. Oxford: Pergamon Press, 1984.
- [3] Milner D R, Sallter G R, Wilkinson J B. Arc characteristics and their significance in welding[J]. British Welding Journal, 1960, 7(2): 73~88.
- [4] Hsu K C, Etemadi K, Pfender E. Study of the free burning high-intensity argon arc[J]. Journal of Applied Physics, 1983, 54(3): 1293~1301.
- [5] Allum C J. Power dissipation in the column of a TIG welding arc[J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 1983, 16(11): 2149~2165.
- [6] 常云龙,陈德善,肖纪云. 磁控等离子弧的基本特性[J]. 焊接技术, 2001, 30(4): 29~30.
- [7] Wang W, Liu S, Jones J E. Flux cored arc welding: arc signals, processing and metal transfer characterization[J]. Welding Journal, 1995, 74(12): 369s~377s.
- [8] Kang M J, Rhee S. Arc stability estimation and fuzzy control for

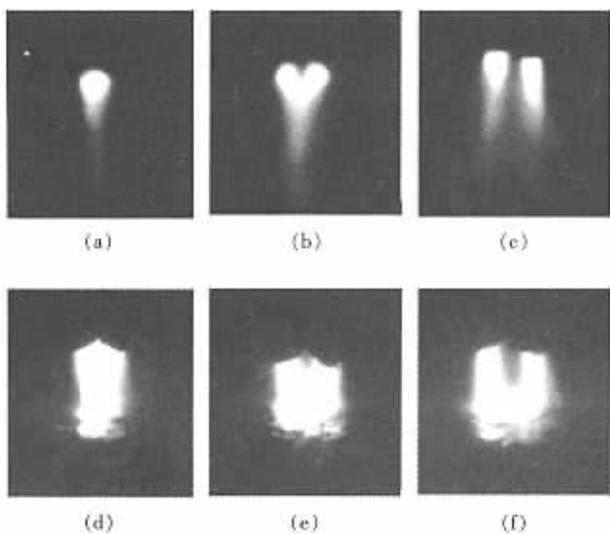


图5 双电极焊条单弧焊电弧形态(右边焊芯接负)

Fig. 5 Arc scope of twin core electrode single arc welding (right electrode core is negative)

(图中的 $E-T$ result 为式(1)的均匀材料和式(18)的焊接接头裂端主应力的估算值)。从图中各种方法所计算的裂端韧带上主应力的比较结果可以看出,不同载荷水平作用下,新建立的双参数断裂参量式(18)与有限元的应力解结果符合程度较好,并且大多数情况下,估算值要略高于有限元的应力解,说明应用上文所提出的断裂参量和其各因子的估算法来计算裂纹驱动力 J_M 并将其用于实际工程结构的缺陷评定,结论是偏安全的。

4 结 论

(1) 作者建立了在平面应变条件下,适合于不同裂纹深度的焊接接头的 $J \sim Q$ 双参数断裂准则。

(2) 为了使新的断裂参量能够应用于工程实际,断裂准则计算式中各因子及其断裂临界状态值给出了工程估算方法。

(3) 以上两点经过与 HRR 场解对照,证明新的断裂参量较好地反映了焊接接头应力场的实质,解决了单参数 J 积分参量不能完全反映平面应变均匀材料及焊接接头应力应变场这一困难,其估算方法对工程实际应用具有重要的意义。

参考文献:

- [1] Lee M M, Luxmoore A R, Sumper J D G. A numerical and experimental study on defect assessment of plain and welded bars with shallow crack geometries [J]. International Journal of Fracture, 1993, 62(3): 245 ~ 268.
- [2] Sharm S M, Aravaw N. Determination of higher-order terms in asymptotic elasto plastic crack tip solution [J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1991, 39(8): 1043 ~ 1072.
- [3] Xia L, Warg T C. Higher order analysis of crack tip fields in elastic power-law hardening materials [J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1993, 41(4): 665 ~ 687.

- [4] Al-Ani A M, Hancock J W. J-dominance of short crack in tension and bending [J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1991, 43(1): 81 ~ 102.
- [5] Schwalbe K H. Effect of weld metal mis-match on toughness requirements: some simple analytical considerations using the Engineering treatment mode (ETM) [J]. International Journal of Fracture, 1992, 56(3): 257 ~ 277.
- [6] Schwalbe K H. Welded joints with nonmatching weld metal crack driving force consideration on the basis of the engineering treatment method (ETM) [J]. International Journal of Fracture, 1993, 62(1): 1 ~ 24.
- [7] Kanninen M F, Popelar C H. Advanced fracture mechanics [M]. New York: Oxford University Press, 1995.
- [8] O'Dowd N P, Shih C F. Family of crack-tip fields characterized by a triaxiality parameter fracture application [J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1991, 40(8): 939 ~ 963.
- [9] Ma F S, Kuang Z B. Stresses deformation and porosities in standard fracture specimens [J]. Acta Metallurgica Material, 1995, 42(2): 497 ~ 507.
- [10] O'Dowd N P. Applications of two parameter approaches in elastic-plastic fracture mechanics [J]. Engineering Fracture Mechanics, 1995, 52(3): 445 ~ 465.
- [11] O'Dowd N P, Shih C F. Family of higher-order terms in asymptotic elastoplastic crack tip solutions [J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1991, 39(8): 989 ~ 1015.
- [12] Shih C F, German M D, Kumar V. An engineering approach for examining crack growth and stability in flawed structure [J]. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 1981, 9(2): 159 ~ 196.
- [13] Zhang M, Shi Y W, Zhang X P. Influence of strength mismatching on crack driving force and failure assessment curve of weldment [J]. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 1997, 70(1): 33 ~ 41.

作者简介:张敏,男,1967年7月出生,工学博士,副教授。主要从事焊接结构断裂强度及焊接工程结构方面的研究,发表论文12篇。

Email: zhmmn@263.net

[上接第 7 页]

- arc stabilization in short circuit transfer mode of CO₂ arc welding [J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2001, 6(2): 94 ~ 102.
- [9] Choi S K, Yoo C D, Kim Y-S. Dynamic simulation of metal transfer in GMAW part 1: globular and spray transfer modes [J]. Welding Journal, 1998, 77(1): 38s ~ 44s.
- [10] Niagaj J. An assessment of arc stability during welding with basic shielded electrode [J]. Welding International, 2002, 16(8): 593 ~ 598.
- [11] 王宝. 焊接电弧物理与焊条工艺性设计 [M]. 北京:机械工业出版社, 1997.

- [12] Kawase R, Kureishi M, Maehara K. Arc phenomenon and wire fusion in arc spraying - study on arc spraying (report 2) [J]. Welding Research Abroad, 1986, 32(67): 36 ~ 41.
- [13] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册(第一卷)(第2版) [M]. 北京:机械工业出版社, 2001.
- [14] 郑宜庭, 黄石生. 弧焊电源. 北京:机械工业出版社, 1988.

作者简介:邹增大,男,1941年出生,教授,博士生导师。主要从事焊接冶金及金属焊接性、陶瓷与金属连接等方面的研究工作,发表论文120余篇。

Email: zengdaz@sdu.edu.cn