管板全位置活性焊接法

张瑞华1, 王瑶1, 王荣2, 冷小冰3

(1. 兰州理工大学 甘肃省有色金属新材料省部共建国家重点实验室,兰州 7.
 2. 苏州工业园区华焊科技有限公司,江苏 苏州 215021;
 3. 中山职业技术学院,广东 中山 528404)

摘 要:对活性剂在管板全位置焊接中的应用进行了研究. 在不开坡口的情况下,将活 性剂刷涂到角焊缝待焊区域,依据各种焊接位置活性剂对熔池受力状态的影响和熔深 增加机理,将管板分段,对壁厚为 3 mm的低碳钢管板角伸出焊缝施焊,通过试验确定 了最佳的焊接工艺参数.所得的焊接接头性能满足相关标准,扩大了活性剂的使用范 围,突破了管板全位置焊接厚壁管时需开坡口的局限性,减少了角焊缝的焊丝填充量, 节约了焊接成本,大幅度提高了焊接效率.

关键词:活性剂;管板全位置焊接;熔深增加;工艺参数 中图分类号:^{TG}44 文献标识码:A 文章编号:0253-360^X(2011)04-0067-04 730050



张瑞华

0序 言

管壳式换热器是炼油、化工、动力、食品、轻工、 原子能、制药及其它许多工业部门广泛使用的一种 通用工艺设备,通常在化工厂的建设中,换热器约 占总投资的 10% ~20%. 在石化炼油厂中, 换热器 约占全部工艺设备投资的 35% ~40%, 一旦泄漏对 工厂安全、环境等将造成重大的损失^[1]. 换热器质 量的好坏、使用寿命的长短,在很大程度上取决于换 热器中管板与换热管之间的角接接头焊缝质量,这 种焊接接头长期承受压差对管子产生的轴向负荷、 反复加热、冷却、高压和介质腐蚀的作用、是最容易 发生泄漏的部位;因此,对焊缝质量的要求极为严 格^[2].传统焊接方法需要先开坡口用氩弧焊打底, 然后熔化焊丝填充坡口. 由于焊缝成形条件不断变 化,焊接熔池在各点受力情况不一,易出现飞溅、烧 损管口等缺点,而且填充坡口所需的焊丝量较 大^[3-5];因此,在如何改善管板全位置焊接工艺、降 低焊接成本的同时,保证获得高质量的管板焊接接 头,一直是管板全位置焊接急需解决的问题,最近 A-TG焊接法已经应用到管管、板板对接等领 域^[67],但在管板上的应用还未见报道. 文中将兰州

理工大学开发的 A-TIG焊活性剂应用到管板全位 置焊接中,在不开坡口的情况下,对壁厚为 3 mm的 低碳钢管板角伸出焊缝进行焊接工艺试验,确定了 最佳的焊接工艺方案和工艺参数.

1 管子管板焊接工艺试验

1.1 焊接设备

试验采用苏州华焊科技有限公司的管板全自动 钨极氩弧焊机,型号为 PC3000 电源为 200 kH 高 精度逆变电源,可储存 100 个程序.每个程序可划 分多达 32个区间,具有电流缓升、缓降过程控制功 能.用户可根据不同焊接位置的要求,将焊接工艺 参数进行分段,每段中可调整的焊接参数有峰值电 流、基值电流、峰值时间、基值时间、峰值转速、峰值 送丝速度等.可实现焊接过程中实时数据显示.

1.2 焊前准备及接头形式

管子管板接头采用全自动钨极氩弧焊,管口伸 出 4~5^{mm},管板厚度为 40^{mm},管子规格为 \$ 28 mm×3^{mm},材质为低碳钢,焊丝直径 0.8^{mm},其接 头形式如图 1所示.穿管前用丙酮清理管孔及管口 20^{mm}内油污及水分,用手工氩弧焊点固管板一端. 取适量活性剂粉末置于烧杯中,加入丙酮将其调成 糊状,用刷子均匀地刷涂到管板待焊区域,待丙酮挥 发后焊接.涂敷活性剂时需注意待点固焊点冷却后 才可以涂敷,涂敷活性剂的管板不允许碰撞或者划

收稿日期: 2009—11—23

基金项目: 广东省教育部产学研项目(2009^{B0}90300250);中山市科 技计划项目(20083^A244);兰州理工大学博士基金资助 项目

擦,一旦活性剂脱落允许补刷.调整好钨极位置,使 钨极端部距管子 2 ~ 3 mi,距管板约 3 mi,第一层 为涂覆活性剂后的打底焊接,第二层为填丝盖面焊.



图 1 管板全位置焊接示意图 Fg 1 Diagram of all position welding of tube sheet

1.3 管子管板焊接工艺参数的确定

全位置管板焊的焊接过程包括平焊、上坡焊、下 坡焊、仰焊等过程. 第一层焊接过程中, 在不同的焊 接位置熔池受力情况不一(图 2).图 2中 (为外表 面张力, ¹为内表面张力, F_a和 F_b分别为电弧吹力 和电磁力、G为重力、N为工件对熔池的反作用力、 这个反作用力是电弧压力、大气压力和熔池自身的 部分重力作用于固体工件上引起的. 由图 2可知, 当焊枪位于"12点"平焊位置时,在垂直方向上,工 件对熔池的反作用力 N抵消部分重力 G焊缝成形 主要受 Fa和 Fa以及熔池的表面张力 f和 f的共 同作用,如图 2^b所示.在活性剂的作用下,如图 2^f 所示,外表面张力 〔的方向改变,从熔池四周流向 中心,使熔池宽度减小,熔深增加,熔池所受的合力 方向偏向管子,容易造成液态金属往管口内流淌,烧 损管口,这时要减小焊接电流或加快焊接速度.当 焊枪处干"3点"下坡焊位置时,工件对熔池的反作 用力 N在垂直方向上的分力与重力 G相平衡,如 图 2 °示. 在活性剂的作用下,外表面张力 f的方向 改变,与工件对熔池的反作用力 N在水平方向上的 分力、电弧吹力 Fa和电磁力 Fa 一起形成合力指向 焊缝中心 图 2 说 使电弧能量均匀地分布在管子和 管板上, 熔深增加明显. 但液态金属的流淌方向与 电极的行走方向相同,使电弧不能很好地接近母材 表面,不利于熔深增加,这时可以加大焊接电流或减 小焊接速度以增加熔深. 当焊枪处于"6点"仰焊位 置时,根据 A-TG焊时熔池液态的流动方向,外表面 张力的方向依然从熔池四周指向中心 图 2 h) 使熔 池宽度减小,熔深增加,在垂直方向上,工件对熔池

的反作用力 N与重力 G方向相同,易使熔池偏离焊缝,造成未熔合等焊接缺陷,所以仰焊位置要采用较



图 2 管板全位置焊接时熔池受力分析示意图

Fig 2 Force diagram in molten pool of all position weld_ ing of tube sheet 大的焊接电流或较小的焊接速度. 当焊枪处于"9 点"上坡焊位置时,熔池的受力状态与"3点"下坡焊 位置时相似,如图 2⁸所示. 熔深的增加主要是靠工 件对熔池的反作用力 ^N在水平方向上的分力、外表 面张力 ^f 电弧吹力 ^F 和电磁力 ^F,随着焊接过程 的进行,工件温度逐渐上升,熔深略有增加. 为了减 少熔池受重力因素的影响,全位置管板焊采用脉冲 自动 TE焊方法,焊接过程脉冲式加热,熔池金属高 温停留时间短,金属冷却快,电弧挺度好,能量集中, 适用于全位置焊接,有利于调整焊接能量和控制熔 池形状,使焊缝的成形均匀,焊接过程稳定.根据熔 池的受力情况,对管板进行分段,每一段采用不同的 焊接参数.通过工艺试验,确定最佳的焊接工艺参 数,如表 1和表 2所示.

表 1 全位置焊接工艺参数

Tahle 1	Pa ram e ters	for all position we w	ing
Tabbel	I a faile tero	pruffrootpn "ch	P-0

名称	参数	名称	参数	名称	参数	名称	参数
焊接起始点	5	送丝角度 θ/(°)	360	停送角度 $\theta_2/(°)$	725	反抽时间 ‡/s	04
电流方式	脉冲	行走方式	恒速	行走方向	顺时针	预通气时间 ţ/s	4 5
滞后气体时间 t/s	5	预熔电流 I/A	130	预熔时间 ½/s	1 5	上升时间 t/s	0 1
衰减时间 ½/s	6.0	熄弧电流 【/A	130	行走角度 θ ₃ /(°)	725	钨极角度 $\theta_4/(°)$	27
分段数	5						

表 2 不同位置焊接工艺参数

Table 2 Parameters for different we king position

分段点位置	峰值电流 Į/A	基值电流 Լ/A	峰值时间 [;] / ^s	基值时间 ^t / ^s	段间电流 变化模式	焊接速度 _{V/(} mm。s⁻1)	是否 送丝	送丝速度 v _{1/(} mm。s ⁻¹)
分段点 1(0°)	185	70	300	200	渐变	80	否	_
分段点 2(60°)	180	70	300	200	渐变	85	否	—
分段点 3(180°)	175	70	300	200	渐变	85	否	—
分段点 4(240°)	170	70	300	200	渐变	80	否	—
分段点 5(360°)	180	70	200	200	跳变	100	是	900

2 焊接结果与分析

在做好焊前准备工作、装配、清理的前提下,按

照表 1,表 2的焊接参数进行施焊,其焊接结果如 图 3 图 4和图 5所示.

图 3为第一层打底焊时加活性剂与未加活性剂 的熔池形貌照片,从中可明显对比出不同条件下的



(a) 12点位置熔深 (未加活性剂)



(e) 6点位置熔深 (未加活性剂)



(b) 9点位置熔深 (未加活性剂)



(f) 3点位置熔深(未加活性剂)



(c) 12点位置熔深 (加活性剂)



(g) 6点位置熔深 (加活性剂)

图 3 打底焊后熔池形貌 Fg 3 Weld pool shape of backing weld



(d) 9点位置熔深 (加活性剂)



(h) 3点位置熔深 (加活性剂)

熔深. 由图 3可见, 打底焊时, 在活性剂的作用下, 各点的熔深均明显比未加活性剂时增加 1.5~2 mm, 在"12点"平焊位置时, 熔池略微偏向管口, 熔 池形状宽而浅, 在活性剂的作用下, 熔池发生收缩现 象, 宽度减小, 熔深增加. 在"3点"下坡焊位置和"9 点"上坡焊位置时, 在活性剂的作用下, 熔深增加较 为明显, 焊缝的宽度和高度均匀. 在"6点"仰焊位 置时, 熔池略微偏向管板, 熔池形状宽而浅, 在大的 焊接电流和活性剂的作用下, 熔池宽度减小, 熔深增 加, 熔池形状深而窄.

图 4 为填丝盖面焊后的焊缝外观形貌,从中可 看出,焊缝表面成形均匀、美观光滑,带有均匀的鱼 鳞纹,未发现未熔合、裂纹、气孔等缺陷.将焊接接 头从中心对称十字剖开进行宏观检查,焊缝根部熔 合良好,均未发现未熔合、裂纹、气孔等缺陷,各点的 焊缝厚度 H值均大于 1.4倍的管子壁厚,如图 5,ª b c 所示,满足 GB(51-1999《管壳式换热器》的要求.



图 4 盖面后焊缝外观形貌 F g 4 Appearance of we h



(a) 12点位置

(b) 6点位置

(c) 3点位置

图 5 盖面焊后熔池形貌

Fg 5 Weld poolshape of finish welding

3 结 论

(1)将活性剂应用到管板全位置焊接过程中, 对壁厚为 3 mm的低碳钢角伸出焊缝在不开坡口的 情况下施焊,所得到的焊接接头成形良好,未发现未 熔合、裂纹、气孔等缺陷,满足焊缝质量要求.

(2)活性剂在管板全位置焊接过程中的应用, 不仅扩大了活性剂的使用范围,保证了焊接质量,且 突破了管板全位置焊接厚壁管时需开坡口的局限 性,节约了劳动时间,减小了焊丝填充量,节约了焊 接成本,提高了生产效率.

参考文献:

[1] 丁玉龙 王 娟. 管壳式换热器设计相关问题的分析研究
 [.]. 广东化工, 2008 35(10), 133-137
 Ding Yulong Wang Juan The analysis and research of shell and ubular heat exchanger s design problems J. Guangdong Chem.

ical Industry 2008 35(10): 133-137.

- [2] 汪东明,高增福 谭 笠,等.国内外换热器管子管板焊接 技术综述[J.压力容器, 1995, 12(2): 138-143.
 Wang Dongming Gao Zeng 和 Tan Li et al. The technical summary of tube-sheet welding of heat exchangers in China and out of China J. Pressure Vessel Techno (2019), 12(2): 138-143.
- [3] 倪丞舜. 换热器与管板焊接结构的比较和选择[J]. 化工装备技术, 2007 28(1): 42-46
 Ni Chengshun The comparison and selection of the welding structure between heat exchanger and tube sheet J. Chemical Equipment Technology 2007 28(1): 42-46
- [4] 陈国宇,董文宁. 全位置自动管板焊系统在电建冷凝器制造中的应用[.j. 电焊机, 2005 35(8): 5-6 Chen Guoyu DongWenning Application of whole position auto matic tube & board welding system in condenser manufacture in electric power construction[J]. Electric Welding Machine 2005, 35(8): 5-6
- [5] 蒋文春, 巩建鸣 陈 虎, 等. 换热器管子与管板焊接接头 残余应力数值模拟[]. 焊接学报, 2006 27(12): 1-4.

[下转第 74页]

弧焊(SMAW)、钨极氩弧焊(TIG)、熔化极氩弧焊 (MIG)、CQ保护焊等多种焊接方法.在这里选择 SMAW,TIGMIG进行优化选择.

4.2 指标与权值赋值

不锈钢焊接的主要问题是接头的耐蚀性、热裂 纹和焊缝的脆化问题.这 3个质量指标二级评价指 标均为定性指标.根据经验,TG和 MIG较 SMAW 保护较好,焊缝表现出更优的耐蚀性,经专家讨论 3 种方法质量指标的最终值分别为 70 85 87.5

估算 SMAW, TE, ME所消耗成本分别为 20 273, 15 906 14 906^[5]. 给定理想成本为 12 000 接受成本为 25 000 经无量纲化后得到 SMAW, TE ME的成本指标值分别为 75 88 91.

估算 SMAW, TG MG所消耗时间分别为 50 000, 30 000, 30 000 ^{min} 给定理想完成时间为 25 000 ^{min}可接受时间为 60 000 ^{min} 经无量纲后得 到 SAW, TG MIG的时间指标值分别为 71, 94 94

在此次技术评价中,由于质量、成本、时间都具 有较高的重要性,对时间指标赋予权值 0.3 成本指 标赋予权值 0.3 质量指标赋予权值 0.4 得到权值 矢量 $\omega = \{0.3, 0.3, 0.4\}.$

4.3 综合评价

按照加权综合评价可以得到 SMAW, TG MIG 的评分值分别为 71.8 88 6 90 5 因而 MIG焊为最优的焊接方法.

由于在此次评价中, MG焊的成本指标值 91、 时间指标值 94、质量指标值 87.5均为最大值, 所以 MIG焊为此次距离综合评价的最优样本.

5 结 论

(1)完善了推理规则,不仅考虑了结构因素,而 且对于组合焊接方法,系统在数据库完善的情况下 也能进行较正确的推理.

[上接第 70页]

Jiang Wenchun, Gong Jianming Chen Hu, et al. Numerical simulation of welding residual stress of tube to tubesheet joint in heat exchangens J. Transactions of the China Welding Institution, 2006, 27(12), 1-4.

[6] Zhang Ruihua, Fan Ding, Numerical simulation of effects of activating flux on flow pattens and weld penetration in A-TIG welding
[J. Science and Technology of Welding and Joining 2007, 12 (1), 15-23.

[7] 张瑞华, 尹 燕, 樊 丁, 等. A-TG焊熔深增加机理的数

(2) 在权值的赋予上, 增加了 CBR推理过程.

(3)提出了各个指标模糊预测及无量纲化的模型,改进了以往的焊接方法选择中对于指标赋值的 主观性.

(4)系统采用增量式的开发,随着系统不断的 使用,系统的推理规则也随着经验的累积更加完善.

参考文献:

- 方宇洞,陈圣鸿. 一个用于选择焊接方法的模型及其计算机 专家系统[J]. 焊接学报, 1989 10(4): 245-261.
 Fang Yudong Chen Shenghong Themodel and expert system for selection of welding processes [J]. Transactions of the China Welding Institution, 1989 10(4): 245-261.
- [2] 倪志伟、蔡庆生、范例推理中的知识发现技术[J.小型微型 计算机系统, 2002 23(2): 159—163.
 Ni Zhiwe, i Cai Qingsheng Knowledge discovery techniques in case based reasoning J. MNLmicro System, 2002 23(2): 159—163
- [3] 尹长华,隋永莉,冯大勇,等.长输管道安装焊接方法的选择
 [].焊接,2004(6):31-35.
 Yin Changhua, Sui YongJi Feng Dayong et al Welding process choice of long distance transport pipeline J. Welding & Joining 2004(6):31-35.
- [4] Khabbaz R S A simplified fuzzy logic approach formaterials selection in mechanical engineering design J. Materials and Design 2009 (30): 687-697.
- [5] 黎 巍,曾向东.城市污水处理厂的技术经济综合分析与评价[J.工业安全与环保,2009 35(1):16-20 LiWej Zeng X jangdong Technical and economic comprehensive assessment and analysis on urban sewage treatment Plant J. Industrial Safety and Environmental Protection, 2009, 35(1): 16-20

作者简介:魏艳红,女,1965年出生,博士,教授、博士生导师.主要从事焊接过程数字化与模型化、焊接软件设计等工作.发表论文 100余篇. Bnail Yhwei@nuaa edu cn

值模拟[J. 机械工程学报, 2008 44(5): 175-180. Zhang Ruhua Yin Yan, Fan Ding et al Numerical simulation of the mechanism for penetration increasing of A-TG welding [J. Chinese Journal of Mechanical Engineering 2008 44(5): 175-180

作者简介:张瑞华男,1970年出生,博士后,教授,主要从事活性 焊接法、焊接过程数值模拟和激光加工等研究工作.发表论文 50余 篇. Email zrt@ lut on teristic through manual welding operation methods was poor accuracy only was qualitative not quantitative and further limited to enhance the level of flux cored wire Hannover Arc analyzer was used to quantitatively analyze the arc physical characteristics and the performance parameters of vertical welding with four kinds of stain less steel flux cored wire. Through analyzing the relation of the probability density distribution of arc voltage current short circuit time their standard deviation and metal transition, the experimental results showed that the standard deviation of current woltage and short circuit time were smaller the effective transition ratio of the larger short circuit was bigger the uniform. it and stability of wire droplet transition became better, splash became smaller the characteristics of vertical welding became better, so the optimizing design of all position flux cored wire formulation had great practical significance

Keywords Hanover analyzer stainless steel flux cored wire verticalwelling welling arc physics

BGA so Her joint inspection algorithm based on $_{3}$ D X-ray and Fisher criterion ZHANG Ru'H iu ZHANG X ianm in CHEN Zhong (School of Mechanical and Automotive Engineer ing South China University of Technology Guangzhou 510640 China). P 59-62

A bstract In order to improve the precision of BGA (ball grid array) solder part inspection a BGA solder joint inspection algorithm is proposed based on 3D X-ray and Fisher criterion BGA solder image segmentation is implemented according to the Fisher criterion to obtain the accurate image and the features such as area feature continual area feature position feature circle feature and hole feature of BGA solder joint defects are extracted. Then the BGA solder joint inspection a gorithm based on Fisher criterion is presented. Experimental results show that the short circuit shift lacking solder void and broken circuit defect can be inspected by the proposed algorithm. The proposed algorithm has high precision and can meet the requirement of application

Keywords 3D X-av BGA solder joints Fisher criterion

EBSD analysis of m icrostructure and texture of T_j Al a loy laser welled pints WANG Guoqing², SONG Zhhua, WUAPing, ZHAO Yif¹, ZOU Guisheng, REN Jialie⁴ (1. Department of Mechanical Engineering Tsinghua University Beijing 100084 China, 2 China Academy of Launch Vehicle Technology Beijing 100076 China). P63-66

A b stract The technique of electron back scatter diffraction (EBSD) was used to investigate the microstructure grain size grain shape and texture of Ti-23Al-17Nb (at%) alloy laser welded joints which include weld heat affected zone (HAZ) and base material. The results indicated that the microstructure of the weld and HAZ consisted of B2 phase. The base material consisted primarily of B2 and a small quantity of α_2 phase. The grain size became gradually larger from the base material to HAZ and weld. The base material was composed of fine equaxial grains and the grain size of B2 phase was larger than that of α_2 phase. The B2 phase in the weld had the highest density of (001) [5 – 7 0] texture component while it in base material was emained.

terial and HAZ was dominated by (001) [0-1 0] texture component The_a phase in the base material was dominated by (10-10) [-12-110] texture component. The HAZ had a high density of two angle boundaries. There were certain relations between the texture of well and the texture of HAZ and base material.

K ey words Ti23Al17Nb laser welding electron backs scatter diffraction microstructure texture

A ll position welding with activating fluxes for tube sheet

ZHANG Ruhua, WANG Yao, WANG Rong, IENG Xi aobing (1. State Key Laboratory of Gansu Advanced Non. ferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology Lanzhou 730050 China, 2. Suzhou Industrial Park A-hand Technology Co, Ltd, Suzhou 215021, China, 3. Zhongshan Polytechnic Zhongshan 528404, China), P 67-70, 74

A b stract The app lication of activating fluxes in all position welding for tube sheet was studied The activating fluxes were deposed on the metal surface of the bw-carbon steel tube of 3 mm thick by a brusher without the groove preparation According to the impact of activating fluxes on the force state of the pool in all kinds of positions and the analysis in penetration increase mechanism the tube sheet was divided into several sections. The optimal welding parameter was obtained by the experiments The welding point quality met the relevant standards By this process it was no need for groove preparation. As a result, the demand for welding wire was decreased. Consequently, the efficiency of welding was improved substantially. The application field of activating fluxes can be extended.

Keywords activating flux all position welding of tube sheet penetration increase welding parameter

Expert system for selecting welding Processes based on fuzzy comprehensive judgment model WEI Yanhong², TANG Bin, LIANG Ning, LEI Danggang (1 Material Science and Technology College Nan jing University of Aeronautics and As tronautics Nan jing 200016 China, 2 State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology Harbin Institute of Technology Harbin 150001 China, 3 The 38 th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Hefei 230031 China, P 71-74

Abstract To assist welding engineers to select welding processes an expert system of comprehensive evaluating index is designed for selecting welding processes based on the quality cost and efficiency of welding processes A fuzzy method is developed to collect and predict the index the methods to get the non-dimensional indicators for the index according to benefit efficiency factors are presented two fuzzy comprehensive evaluating models on benefit of welding processes are established and the expert system based on themodels has been designed. The incremental development model and Browery Server structure are used in the system, which achieves function of selecting welding processes in a scientific way and makes selection of welding processes more close to reality

K ey words selecting welding processes fuzzy comprehensive evaluation expert system