

文章编号:1001-5108(2022)03-0005-04

手工活性 TIG 焊修复热力管道裂纹的 成型工艺参数分析

张治国,张丹丹

(陇南师范高等专科学校机电工程学院,甘肃 陇南 742500)

摘要:手工活性 TIG 焊修复热力管道裂纹过程中,工艺参数是影响修复效果和方法适用性的关键因素。本文对手工活性 TIG 焊修复 6 mm 壁厚热力管道裂纹的工艺参数进行了分析,研究工艺参数与操作技巧对焊接修复质量的影响。结果发现:焊接过程中对熔池内陷程度的控制是决定修复焊缝内外侧成形的重要因素;焊接速度和焊接电流的匹配调节决定裂纹修复中是否发生烧穿或者熔不透现象;焊枪角度的连续调节影响焊缝内外侧成形的连续性;钨极尖端夹角和弧长大小的调节影响焊缝宽度和内侧焊缝余高的大小;在合理的工艺参数支持下,对 6 mm 壁厚热力管道裂纹实现直接高效修复。

关键词:活性 TIG 焊;热力管道;高效修复;工艺参数

中图分类号:TG444

文献标识码:A

Analysis of forming process parameters for repairing thermal pipeline cracks by manual activating TIG welding

ZHANG Zhiguo,ZHANG Dandan

(Mechanical and Electrical Engineering, Longnan Teachers College, Longnan 742500, Gansu, China)

Abstract: In the process of repairing thermal pipeline cracks by manual active TIG welding, the process parameters are the key factors that affect the repair effect and the applicability of the method. This paper analyzes the process parameters of manual active TIG welding to repair the cracks of 6mm wall thickness thermal pipes, and studies the influence of process parameters and operating skills on the quality of welding repair. It was found that the control of the degree of indentation of the molten pool during the welding process is an important factor in determining the formation of the inner and outer sides of the weld. The matching adjustment of welding speed and welding current determines whether burn-through or impermeability occurs during crack repair. The adjustment of the tungsten included angle and arc length affects the weld width and the size of the inner weld reinforcement. With the support of reasonable process parameters, it can directly and efficiently repair the cracks of the 6mm wall thickness thermal pipeline.

Key words: activating TIG welding; thermal pipeline; efficient repair; process parameters

大量集中供暖项目实施中,热力管道的安装多为地埋式,管道的焊接安装质量要求较高,焊后检测发现缺陷要及时进行返修。埋地热力管道在使用过程中发生泄漏,修复方式有开挖式和非开挖式两种,但热力管道修复环境苛刻,修复质量要求高,非开挖技术应用还不够成熟,目前仍然以开挖后补焊为主

要修复方式^[1]。不论在管道安装检测中发现缺陷,还是在使用过程中发现泄漏,进行焊接修复时,传统修复方法是先去除原有缺陷,打磨出坡口再进行焊接^[2],焊接修复效率较低,劳动强度大。活性 TIG 焊作为一种高效的焊接方法,既具有 TIG 焊成型美观优点,又能使焊接熔深明显增加,且对焊缝性能无

明显不良影响^[3],所以被广泛研究并使用于工业生产。管道活性焊的研究已取得了一定的成效^[4],将活性 TIG 焊接技术应用在热力管道修复中,可实现对 6 mm 壁厚的管道在不去除缺陷情况下直接高效焊接修复^[5],但修复效果受工艺参数的影响非常大。在大壁厚不开坡口修复时,管道内外侧焊缝的成型控制难度很大,如工艺参数匹配不当,将直接导致管道在活性剂作用下烧穿、裂纹熔不透、内侧焊缝成型不连续等现象的发生。利用活性 TIG 焊实现热力管道不去除缺陷直接修复,并保证管道内外侧焊缝成型质量,需要对焊接工艺参数和操作技巧进行研究。本文对活性 TIG 焊修复 6 mm 壁厚的低碳钢供热管道裂纹的焊接工艺参数进行系统分析,为后续活性 TIG 焊在热力管裂纹修复中的应用提供支持。

1 试验条件与方法

试验设备采用山东奥太电气有限公司的手工/氩弧两用焊机,型号为 WSM-400d。试验材料选用热力管道常用材料 Q235B 保温钢管,壁厚为 6 mm,外径为 219 mm。如图 1 所示,试验前去除钢管外侧的保护壳和保温层,并将钢管外侧的铁锈打磨干净。活性剂选用自制热力管道修复用手工 A-TIG 焊活性剂^[6],如图 2 所示。



图 1 6 mm 壁厚热力管道

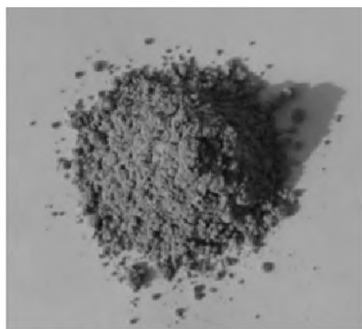


图 2 自制活性剂

以修复周向裂纹为研究对象,试验前采用适量有机溶剂与活性剂混合搅拌成糊状,沿管道圆周方向均匀涂抹,实际应用过程中,活性剂可以沿裂纹进行涂覆。为了便于观察焊道,采用从下往上的推焊法进行焊接。焊接完成后用等离子枪将管道焊切割成两半,通过内外侧焊缝成型情况,调整、优化工艺参数并记录操作要点。以活性剂在 6 mm 厚板材上发挥最大熔深效果的工艺参数为基础,经多次试验,根据焊缝成型效果和操作过程中熔池状态的变化等

因素,由主到次逐个调整主要的影响参数,实现 6 mm 壁厚的热力管道裂纹在不去除缺陷的情况下高效修复,试验过程设计如图 3 所示。焊接工艺参数对成型效果影响非常大,工艺参数不合理,一方面导致管道裂纹熔不透,达不到裂纹修复的目的;另一方面管道容易被烧穿,反而适得其反。壁厚达到 6 mm 的管道,要保证裂纹熔透、避免管道被烧穿,且使内外侧焊缝成形良好,实现难度非常大,需通过多次试验匹配、优化工艺参数,才能获得良好的修复成型效果。

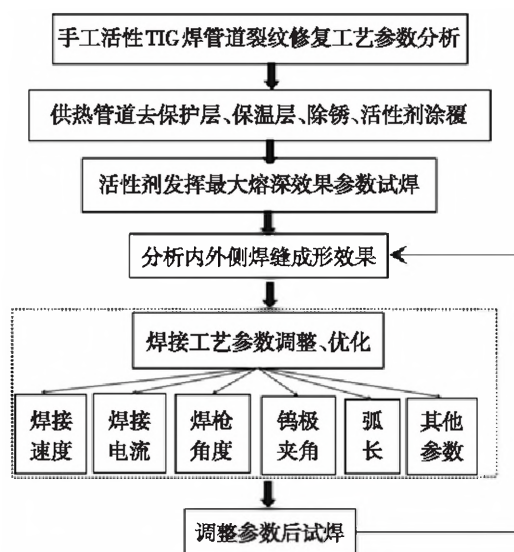


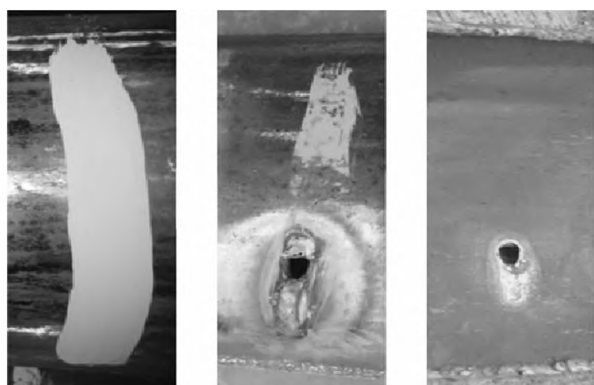
图 3 试验过程设计

2 试验过程与分析

2.1 采用 6 mm 厚板材焊接工艺参数试焊

采用活性剂在 6 mm 厚钢板上发挥最大熔深效果的工艺参数,在钢管上施焊的结果如图 4 所示,可以看出,在焊接开始部位管道已经被烧穿,焊缝正面烧穿部位附近有明显的下沉现象,焊缝背面烧穿部位有铁水下坠,部分铁水有掉落现象。通过对焊接过程的观察发现,在管道被烧穿前存在一个明显的变化过程:焊接熔池出现轻微的下沉——熔池下沉程度加剧——出现孔洞——铁水下坠——产生大的孔洞。经多次试验发现,焊接过程中一旦出现类似熔孔的孔洞,熔池很快下塌,发生烧穿现象,所以在利用活性 TIG 进行裂纹修复时,不能通过熔孔来保证管道背面的成型。对于一定壁厚的管道,要在不去除裂纹的情况下实现单道焊接修复,保证内外侧焊缝的成型,且在实际操作时不能形成熔孔,实现单面焊双面成型,根据多次试验分析,要依靠控制焊接

过程中熔池内陷的程度来实现,熔池内陷程度的控制需要严格的工艺参数和操作技巧来支撑。

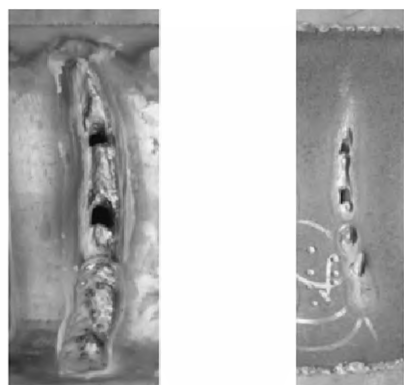


活性剂涂覆 外侧焊缝成型 内侧焊缝成型

图4 采用活性剂发挥最大熔深效果工艺参数的焊接效果

2.2 焊接速度调整

根据前期试验结果,利用活性剂发挥最大熔深效果的工艺参数施焊,管道非常容易被烧穿,另外考虑到修复效率,试验中通过不同程度地提高焊接速度来控制焊接成形效果。将焊接速度调整到 90 mm/min,其他工艺参数保持不变的焊接效果如图 5 所示。可以看出焊接速度调整后,管道烧穿的现象有明显改善,但实际成形效果并不好,出现部分位置被烧穿、部分位置焊不透的情况。根据成形情况和焊接操作观察分析,认为大幅提升焊接速度后,焊接操作时熔池内陷的程度不容易被控制,内陷程度大则管道容易被烧穿,内陷程度小或者无内陷,就出现焊不透的情况。另外,焊枪角度调整不及时也容易出现焊缝成形不连续的现象。



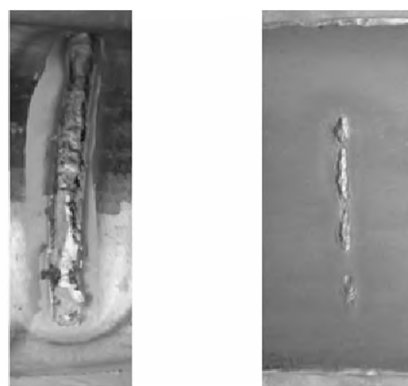
外侧焊缝成型 内侧焊缝成型

图5 焊接速度调整效果

2.3 焊接电流与焊接速度匹配调整

总结先前试验的经验,通过适当提升焊接速度,

减小焊接电流的方式,进行工艺参数的匹配调整。通过多组参数匹配焊接效果分析,发现将焊接速度调整为 70 mm/min,焊接电流调整为 160 A 的焊接成形效果较好,如图 6 所示。焊接过程中,熔池轻微内陷,焊枪匀速运动,可以看出焊缝外部成形较好,没有烧穿现象,表面相对平整。从内部成形上看,焊缝熔透效果较好,但内部焊缝不连续,对多组试验结果对比分析和施焊操作分析,认为焊缝成形的不连续是由于在焊接操作中,焊枪的角度没有及时随着管道壁的弯曲进行调整。焊枪相对于焊缝切线的角度对焊接成形的影响非常大。



外侧焊缝成型 内侧焊缝成型

图6 焊接电流、焊接速度匹配调整效果

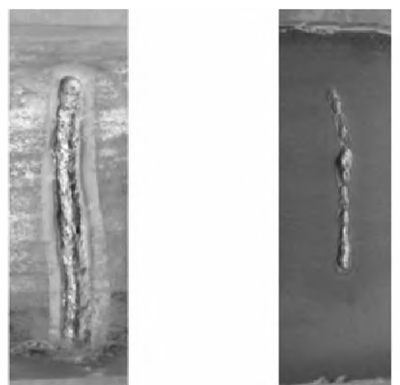
2.4 焊枪角度调整

手工活性 TIG 焊修复管道周向裂纹时,焊枪的角度时刻要随着焊接位置的变化调整,使焊枪在焊接点处与焊缝的夹角保持合理的角度。工艺参数调整试验中,多次出现焊缝内部成形不连续情况,及时调整焊枪角度后,焊缝内部连续成形有了很好的改善。如图 7 所示,当焊枪与焊接点处焊缝切线夹角始终保持在 $70^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 之间时焊缝成形连续,成形效果良好。但焊枪角度与焊缝夹角成 90° 时,焊接过程中对熔池的观察受到影响,所以焊接操作时将夹角控制在 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 即可。当焊枪与焊缝角度大于 90° 时,熔池在电弧力的作用下容易下塌产生孔洞。通过图 8 可以看出,焊缝的外侧成形宽度相对较窄,而内侧成形余高较大,分析后认为是钨极的端部夹角过小,电弧横截面积小,能量密度大、电弧压力大所导致。

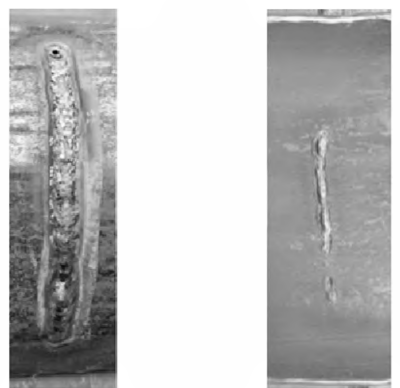
2.5 钨极尖端夹角调整

要实现裂纹的高质量修复,除了保证深度方向的熔合,还要保证宽度方向的熔合,焊缝宽度不能太窄,通过增加钨极尖端夹角可以增加焊缝的宽度,

在必要时,还可通过摆动焊枪来增加焊缝宽度,从而保证裂纹的熔合。本组试验将钨极端部夹角由原来的 45° 提高到 $60^\circ \sim 90^\circ$ 进行焊接,结果发现钨极端部夹角增加后焊缝变宽,内侧焊缝余高也有一定的降低,这是由于电弧截面积增加,熔池变大,熔池单位面积上受到的电弧力减小,熔池内陷程度相对减小所致。当钨极夹角在 90° 左右时焊接熔深减小,不利于裂纹深度方向的熔合;当钨极夹角在 60° 左右时外侧焊缝变宽,且熔合效果较好,如图 8 所示。



外侧焊缝成形 内侧焊缝成形
图 7 焊枪角度调整效果



外侧焊缝成形 内侧焊缝成形
图 8 钨极尖端夹角调整效果

2.6 弧长的调整

对于内侧焊缝余高的控制,除了调整钨极尖端夹角之外,还可以通过调整弧长来实现。如图 9 所示,将焊接弧长由原来的 $3 \sim 4$ mm 提高到 $4 \sim 5$ mm,焊缝内侧余高明显下降,焊缝外侧成形也相对更宽、更平整。如果将焊接电弧调整在 $2 \sim 3$ mm,焊缝外侧的平整成型将变的很差,且熔池状态不容易控制,很容易出现焊不透、焊穿等缺陷。

2.7 其它工艺参数调整

考虑到户外作业的影响,往往通过增加保护气

体流量的方式来消除自然风对焊接过程的影响。但通过试验发现保护气体的流量过大在焊接过程会影响涂覆在焊道表面的活性剂,所以在特殊情况下保护气体流量适量增加,可以采用其它方式避免自然风对焊接过程造成的影响,否则会影响活性 TIG 焊的焊接质量。活性剂涂覆厚度对焊接成形也存在一定影响,一般情况下活性剂涂覆层厚度以完全覆盖焊道为准,不宜过厚或者露出焊道金属。焊枪与焊道两侧尽量保证 90° 夹角,否则焊缝外部成形不平整,裂纹的熔合也会受到影响。焊枪可以根据裂纹的形状、尺寸进行适当的摆动。



外侧焊缝成形 内侧焊缝成形
图 9 弧长调整效果

2.8 工艺参数综合调整后焊接效果

综合调整后的工艺参数如表 1 所示,焊接效果如图 10 所示,可以看出,对于 6 mm 壁厚的热力管道裂纹,可以在不去除原有缺陷的情况下直接修复。外侧焊缝成形均匀、美观,未出现下淌、咬边、驼峰焊道等缺陷,由于活性剂的存在,表面存在一些氧化渣。内侧焊缝平整连续,未出现烧穿、熔池严重下坠、焊不透等焊接缺陷。

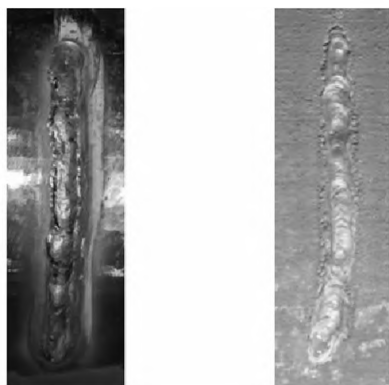
表 1 综合调整后的工艺参数

电源极性	直流正接
焊接电流(A)	160
焊接速度(mm/min)	70
弧长(mm)	3~4
保护气体流量(L/min)	10
钨极直径(mm)	2.4
钨极尖端角度($^\circ$)	60
钨极伸出长度(mm)	3~4
焊枪角度(与试件两侧)($^\circ$)	90
焊枪角度(与焊缝切线)($^\circ$)	70~80
焊接方向	向上推焊

(下转第 20 页)

- [4] 余海燕. 金属薄板应变硬化模型比较分析[J]. 锻压技术, 2012, 37(5): 1—6.
- [5] 金飞翔, 钟志平, 李凤娇, 等. 不同硬化模型对铝合金板冲压成形模拟结果的影响[J]. 机械工程学报, 2017, 53(22): 57—66.
- [6] ZHUANG X C, HUA X, TAO W, et al. Determination of Flow Curve and Plastic Anisotropy of Medium-thick Metal Plate: Experiments and Inverse Analysis[J]. 钢铁研究学报: 英文版, 2015(6): 7.
- [7] BRIDGMAN P W. Studies in large plastic flow and fracture[M]. Harvard University Press, 2013: 41—78.
- [8] 李宏辉, 庄新村, 赵震. 材料常用流动应力模型研究[J]. 模具技术, 2009(5): 1—4+48.
- [9] 崔伟强, 尹斌, 赖兴华. 基于不同硬化准则下车用钢板数值仿真研究与对比分析[C]// 第 13 届国际汽车交通安全论坛论文集. 2016: 133—137.
- [10] H, J, Kleemola, et al. On the strain-hardening parameters of metals[J]. Metallurgical Transactions, 1974, 5(8): 1863—1866.
- [11] 程超, 牛超, 陈新平. IF 钢硬化模型试验[J]. 精密成形工程, 2017, 9(6): 11—15.
- [12] 董伊康, 齐建军, 孙力, 等. 车用钢板材料硬化模型的适用性[J]. 机械工程材料, 2020, 44(10): 81—86.
- [13] DZIALLACH S, BLECK W, BLUMBACH M, et al. Sheet Metal Testing and Flow Curve Determination under Multiaxial Conditions[J]. Advanced Engineering Materials, 2007, 9(11).
- [14] 李宏辉. 中厚板材料流动应力模型研究及其在精冲成形模拟中的应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [15] 刘国承, 王超, 宋燕利, 等. 各向异性材料流动应力模型研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(8): 45—49.

(上接第 8 页)



外侧焊缝成形 内侧焊缝成形
图 10 工艺参数综合调整后焊接效果

3 结论

(1) 手工活性 TIG 焊具有良好的成形特征, 且操作非常灵活, 对于供热管道裂纹的修复具有独特的优势。供热管道裂纹修复工艺过程繁琐, 将活性 TIG 焊应用到管道裂纹修复中, 可以在不处理原有裂纹的情况下直接进行修复。

(2) 对于 6 mm 壁厚的管道, 在修复焊接中要实现单面焊接双面成形, 这对焊接工艺和操作技巧提出了很高的要求。影响活性 TIG 焊焊接修复效果

的参数很多, 通过试验匹配、优化参数, 实现高质量的焊接修复效果, 是利用活性 TIG 焊修复热力管道裂纹的关键步骤。

(3) 手工活性 TIG 焊修复热力管道裂纹过程中, 深度方向的熔合主要依靠调节焊接速度与焊接电流实现; 宽度方向的熔合与焊缝内侧余高的控制主要通过调节弧长与钨极的尖端夹角来实现, 必要时进行焊枪摆动控制; 长度方向连续均匀的熔合主要通过调节焊枪角度实现。

参考文献:

- [1] 陈杰, 李以通, 张成昱, 等. 我国集中供热管网维护修复技术发展现状分析[J]. 节能, 2020, 39(02): 115—118.
- [2] 赵芳. 热力管道焊接裂纹产生原因分析及修复工艺[J]. 河北建筑工程学院学报, 2018, 36(02): 106—108.
- [3] 吴其右. 不锈钢和碳钢 A-TIG 焊活性剂的研制及其焊缝组织性能研究[D]. 衡阳: 南华大学, 2019.
- [4] 王海涛. 活性焊法在管子焊接中的应用[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2009.
- [5] 张治国, 张丹丹. 热力管道裂纹高效修复工艺研究[J]. 材料保护, 2021, 54(05): 176—179+183.
- [6] 张治国, 张丹丹. 热力管道裂纹修复用 A-TIG 焊活性剂研制[J]. 焊管, 2021, 44(01): 9—13.