



核电站主回路管道窄间隙自动焊接工艺的研究

张岩 冯英超

【摘要】 TIG+TOCE焊接工艺，采用TIG焊接工艺打底，结合了手工焊和自动焊的优点，在焊接安全性和可靠性、焊缝性能、焊接经济性等方面具备显著优势，可以解决由于组对间隙较大TOCE焊接工艺无法打底焊接的问题，并从试件组对时就实行全面控制，保证了后续TOCE工艺的顺利实施。

关键词： TIG+TOCE；焊接工艺；组对间隙；自动焊

1. 概述

在核电站领域，主回路管道是连接核电站主系统三大设备（压力容器、蒸汽发生器和主泵）的重要的部件，是核电站建造的关键环节，直接关系到整个核电站建造的质量和进度。主回路管道的焊接具有焊接质量要求高，施工环境复杂的特点。从2010年开始，主回路管道已经逐步采用了窄间隙自动焊技术，与原有的手工焊相比，窄间隙自动焊具有焊接质量好、焊接效率高、焊接周期短的优势，同时也降低了对焊接操作人员技能的要求。

2. 主回路焊接工艺

目前，在我国核电安装领域，主管道焊接主要有两种焊接方法，一种是钨极氩弧焊+焊条电弧焊；另外一种窄间隙自动焊（以下简称TOCE，法语对自动焊的简称）。TIG+SMAW具

有设备简单、价格便宜、适应性强的特点，但随着核电建设规模不断扩大，核电标准更高要求的提出，以及主管道焊接工程量的增加，核电机组批量化建造过程中TIG+SMAW焊接效率低、劳动强度大、对焊工技能要求高的缺点越来越突显出来。

而TOCE是在主管道中采用直流脉冲钨极氩弧焊的焊接工艺，焊接过程中有惰性气体保护，能够有效地隔绝熔池周围的

空气，且焊丝本身不通过电流，避免了焊接过程飞溅的产生，恰恰解决了焊工的劳动强度大和施工环境差的问题。同时，直流脉冲的供电方式可方便对焊接参数调整，产生稳定的电弧，可以得到成形好的焊缝。

以核电项目 $\phi 873\text{mm} \times 69\text{mm}$ 管道为例，TIG+SMAW方法下采用的坡口尺寸如图1所示；TOCE方法下采用的坡口尺寸如图2所示。

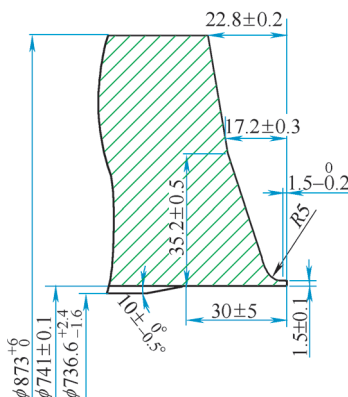


图1 $\phi 873\text{mm} \times 69\text{mm}$ 管道TIG+SMAW坡口

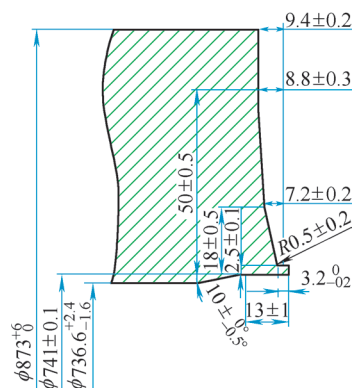


图2 $\phi 873\text{mm} \times 69\text{mm}$ 管道 TOCE坡口

(1) TIG+SMAW组合焊接工艺 组对间隙一般为1.0~4.0mm,采用直流正接TIG焊进行打底(一般为3层)焊接,进入填充焊道后,采用SMAW焊进行填充、盖面焊接,且有药皮保护,也可显著提高焊接效率。在焊接过程中,由于坡口钝边很薄,采用TIG焊可以确保钝边不被熔穿而产生缺陷。

但从TIG+SMAW工艺的特点、坡口尺寸可以看出,TIG+SMAW工艺存在着如下的不足:①工作量大:坡口的整体尺寸较大,需要较多的焊接工作。②受人工因素影响较大:整个焊缝的焊接全部采用人工作业。③焊接周期长:工作量过大及人工的疲劳因素,使得焊接周期较长。

(2) TOCE焊接工艺 组对间隙理想值为0mm,最大上限值为1.0mm,从打底至焊缝填充、盖面完成,都采用自动焊方法。TOCE为单层单道焊,在正常的TOCE焊接中,都以焊缝的根部宽度作为参数选择、设置的依据。一般而言,其根部宽度最大值与最小数值的差别不宜超过0.5mm,最大不超过1.0mm,否则正常的TOCE焊接参数无法保证焊缝两壁实现较好的熔合。

但从TOCE的工艺特点、坡口尺寸可以看出,TOCE存在着如下的不足:

第一,坡口组对精度要求高,组对间隙在1.0mm以内,若是组对间隙大于1.0mm,则不能采用TOCE方法进行焊接,否则就存在着打底焊接烧穿的风险。组对间隙过大,使得焊缝的根部

宽度过大,电弧将集中在根部钝边上,使得钝边因受热过大而烧穿。

第二,TOCE工艺下的焊缝也不能采用TIG+SMAW方法进行焊接:由于TOCE工艺下的坡口属于窄间隙坡口,其试件组对完之后的坡口宽度也仅在6.5~22.0mm,手工焊枪以及手臂无法进入到其中。

第三,TOCE工艺为单层单道焊,若是根部宽度偏差超过1.0mm,则无法正常施焊,需要采用特殊的方式进行焊接。

目前国内外应用厚壁管道自动焊方法的国家均采用了预防措施,主要从提高坡口加工精度及组对精度的方面给予控制。

3. TIG+TOCE焊接工艺

融合两种工艺的优点,解决这两种焊接工艺存在的不足,开发出TIG+TOCE的焊接工艺,可以有效地解决当前核电站主管道焊接过程中因坡口组对间隙要求精度高而无法使用TOCE的问题。TIG+TOCE焊接工艺指的是在TOCE焊接工艺条件下(主要是坡口加工及组对工作已经完成),因组对间隙超差而不能施焊的情况下,采用的组合焊接方法。

(1) 设备组成 TIG+TOCE工艺主要采用加拿大LIBURDI GOLD TRACK VI,焊接机头主要采用H型机头,H2-FV/H2-F1C3,其是一种全位置焊接机头。保护气体采用正背面 $Ar \geq 99.999\%$,而背面保护气体用于15mm填充厚度之前背面焊缝的保护。

(2) 焊接工艺 TIG+TOCE

工艺主要由两部分组成:一是TIG手工打底焊工艺;二是TOCE焊接工艺。

TIG手工打底焊具有如下特点:① TIG打底焊接工艺将改变以往正面焊接的方式,焊接操作人员将在管道内部从背面进行焊接。② 焊接参数也需要进行单独的评定,因为焊缝的组对间隙为0~4.0mm。③ 整个环节过程当中,需要保持整个焊缝熔透,且填充焊缝与坡口钝边要基本持平。④ TIG打底焊接只焊接一道。而TOCE用于第一道TIG打底之后所有焊道的焊接,具有如下特点:① TIG+TOCE工艺下的TOCE焊接参数与纯TOCE工艺下的焊接参数相同。② 由于部分区间存在着组对间隙偏大而用TIG焊接,随后在此区间用TOCE工艺焊接时,需要采用一定的方式对管壁两端的熔合情况进行处理。③ 对于局部间隙较大的区域,要采用一定的处理措施,使其焊缝根部宽度尽快缩小,与其他位置保值得一致,从而使得整个TOCE焊接工艺进行正常化焊接。

4. TIG+TOCE焊接的工艺流程

TIG+TOCE焊接的工艺流程:试件组对→背氩保护→TIG打底焊接→TOCE第1、2道填充焊接→局部根部宽度调整(若需要)→TOCE第3道填充焊接→局部根部宽度调整(若需要)→TOCE第4道填充焊接→局部根部宽度调整(若需要)→TOCE工艺正式填充焊接。

(1) 试件组对 焊接试件采用点固棒点固,且不宜设置太

多,能满足组对要求即可;间隙最大处不要放置点固棒,因为打底过程中间隙最大处要受热收缩,放置点固棒会对焊缝的收缩形成障碍,整个打底焊缝完成之后方可去除点固棒。

(2) 背氩保护 对于不锈钢管件而言,打底时必须密封根部,以免焊缝发渣、氧化。由于TIG打底焊接在管道内壁进行,所以打底工序时采用胶带作为充氩装置,紧贴管道外壁。同时需要注意的是,由于坡口存在组对间隙,管道内壁也需要粘贴胶带,一边焊一边用手撕胶带。

(3) TIG打底焊接 ①TIG打底焊接的参数需要在有过模拟焊接经验且合格后方能应用。②TIG打底焊接在焊接水平对接焊口时,应采用双向上的焊接方式。③TIG打底焊接时,应有另外一名具有焊接经验的人员在管道外面观察熔池熔透情况。

(4) TOCE第1、2道填充焊接 采用TIG打底焊接完成之后,整个熔敷金属的填充厚度还比较小,一般在2.5~3.0mm,由于存在着自熔(不填丝)焊接而烧穿的风险,所以需要再填充2道熔敷金属(厚度到4.0mm以上),再进行局部区域根部焊道的调整。

在TOCE焊接过程中,需要注意以下事项:①TOCE焊接工艺的每道起弧位置为根部宽度最大处(也就是组对间隙最大处),主要考虑是先受热的区域将会有较大的收缩量。②在根部宽度最大区域采用偏离焊接的方式:第一道偏向A试件端,以保证熔池与A试件端的良好熔合;

第二道偏向B试件端,以保证熔池与B试件端的良好熔合。

(5) 局部根部宽度调整 (若需要) ①打底焊道完成之后,整圈的焊缝存在着宽度不一致的现象:组对间隙大的区域焊缝根部宽度偏大,将不利于熔池与管壁两端的熔合,可以采用以下措施进行处理。②TOCE焊接工艺的每道起弧位置为根部宽度最大处(也就是组对间隙最大处),主要考虑是先受热的区域将会有较大的收缩量。③可以采用不填丝的自熔方法对根部间隙较大区间进行自熔:即不填丝的焊接,主要考虑也是先受热的区域将会有较大的收缩量。④采用自熔方法的局部焊接,其焊接道数一般为2道;焊接也采用偏离焊接的方式:第一道偏向A试件端,以保证熔池与A试件端的良好熔合;第二道偏向B试件端,以保证熔池与B试件端的良好熔合。⑤TOCE自熔采用的焊接参数与TOCE填丝焊接参数(除送丝量外)一致。⑥采用TOCE自熔方法时,需要严格控制焊缝的层间温度。

(6) 第3道填充焊接 TOCE焊接的每道起弧位置为根部宽度最大处(也就是组对间隙最大处),主要考虑是先受热的区域将会有较大的收缩量。

(7) 局部根部宽度调整 (若需要) 其操作流程与第(5)环节的一致。TOCE第4道填充焊接 其操作流程与第(6)环节的一致。局部根部宽度调整(若需要),其操作流程与第(5)环节的一致。

(8) TOCE正常焊接 一般

而言,在采用第二、第三步流程焊接5道左右的焊缝之后,整圈焊缝的根部宽度就可以趋于正常。可以采用TOCE进行正常化焊接,而不需额外的调整。

5. 结语

随着核电建设规模的不断扩大,TIG+TOCE焊接工艺结合了手工焊和自动焊的优点,在焊接安全性和可靠性、焊缝性能、焊接经济性等方面具备显著优势。TIG+TOCE焊接工艺,采用TIG焊接工艺打底,可以解决由于组对间隙较大TOCE焊接工艺无法打底焊接的问题,并从试件组对时就实行全面控制,保证了后续TOCE工艺的顺利实施。TIG+TOCE焊接工艺属国内首创,该工艺的成功研发,解决了在核电站主管道安装中窄间隙自动焊工艺的应用难题。

参考文献:

- [1] 马力川,等. 压水堆核电站主管道焊缝理化性能分析[J]. 科技创新导报, 2012, 34.
- [2] 王健, 冯英超. 核电站主管道TIG+TOCE焊接工艺研究[J]. 金属加工(热加工), 2013, 4.
- [3] 冯英超, 王健. TOCE自动焊电弧偏吹的问题及调整方法[J]. 金属加工(热加工), 2014, 12.

作者简介: 张岩等, 中国核工业二三建设有限公司。

MW 20161123