

脉冲TIG自动焊工艺在核工程中的应用

唐 识¹,王海东²

(1.中国核电工程有限公司 核设备所,福建 福清 350318;2.中国核工业第二三建设公司 焊接研究所,河北 廊坊 065021)

摘要:介绍了脉冲TIG自动焊工艺在全位置管道焊接中的难点,与母材相匹配的焊接材料选择、坡口形式确定、组对情况和与之相匹配的焊接工艺参数。通过在国内某核工程中的焊接工艺评定、产品见证件以及现场实际产品的焊接质量的合格情况,说明了该焊接工艺在工程应用是切实可行的,为脉冲TIG自动焊工艺在管道安装工程领域应用积累了经验。

关键词:脉冲TIG自动焊;焊接工艺评定;不锈钢管道

中图分类号:TG444.7

文献标识码:B

文章编号:1001-2303(2010)04-0011-07

Research on the pulse TIG welding for nuclear project

TANG Shi¹, WANG Hai-dong²

(1.Nuclear Equipment Institute, China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Fuqing 350318, China; 2.Welding Institute, China Nuclear Industry 23 Construction Co., Ltd., Langfang 065021, China)

Abstract: This paper introduces the pulse TIG welding process in the pipeline welding with respect to the difficulty matching of welding material selection, groove type, and the group to match with the welding parameters. Finally, through a nuclear project in domestic, the welding procedure qualification certificate and the actual welding quality qualified products, explained the welding process in engineering application is feasible for pulse TIG welding in piping installation accumulated experience.

Key words: pulsed TIG welding; welding procedure qualification; stainless steel pipe

0 前言

国内某研究反应堆主冷却系统即主回路系统由四台主泵和热交换器通过管道、管件与反应堆水池构成一个闭合循环系统。系统通过管内的冷却剂(富纯水)将反应堆活性区内所产生的热量载出堆外,经热交换器与二次水系统进行热交换,交换后的冷却剂再由主泵能动地送回反应堆。在该系统安装过程中,主回路系统管道的焊接是该系统安装的关键工序之一,该主回路系统管道材料均为0Cr18Ni10Ti,规格有 $\phi 508\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 、 $\phi 406.4\text{ mm}\times 8\text{ mm}$ 、 $\phi 323.9\text{ mm}\times 6.3\text{ mm}$ 三种。对该规格管道的焊接可采用手工氩弧焊打底,焊条电弧焊进行填充和盖面,但效率低、工人的劳动强度大、焊缝合格率低、且焊接质量受焊工的技能水平和情绪影响较大。

目前,在国内大直径的管道焊接中,随着焊接技术的发展也逐渐采用自动焊接方法。采用自动焊具有焊接质量好、效率高等优点,如在西气东输工程中的管道焊接就采用了自动焊接技术,国外发达国家如日本、美国、法国等在民用工程和核工程中也大规模地采用了自动焊接技术。

1 脉冲TIG自动焊的特点^[1]

脉冲TIG自动焊工艺已成为一种高效、优质、经济和节能的先进焊接工艺。它可以焊接过去被认为难焊的热敏感性高的金属材料,也可以用于不易施焊的场合,如全位置焊接、窄间隙和要求单面焊背面成形的管件和薄壁产品的焊接。

脉冲TIG焊和普通TIG焊的主要区别在于它采用低频调制的直流或交流脉冲电流加热工件。电流的幅值(或交流电流的有效值)按一定频率周期性变化。当每一次脉冲电流通过时,焊件上就形成一个点状熔池,脉冲电流停止时,点状熔池即冷凝。此时

收稿日期:2010-03-10

作者简介:唐 识(1976—),男,四川仁寿人,焊接工程师,硕士,主要从事核电焊接设计工作。

电弧由基值电流维持稳定燃烧,使下一次脉冲电流导通时,脉冲电弧能可靠地燃烧,又形成一个新的焊点。只要合理调节脉冲间隙时间和适当的焊枪移动速度,保证相邻两焊点间有一定相互重叠量,就可以获得一条致密的焊缝。

焊接时,通过对脉冲波形、脉冲电流幅值、基值电流大小、脉冲电流维持时间和基值电流持续时间的调节,就可以控制焊接热输入,从而控制焊缝及热影响区的尺寸和质量。

2 自动焊在全位置管道焊接中的难点

在锅炉、石油化工、电力、原子能等工业部门的管道制造与安装中,许多情况下,管道是不能转动的,其对接环焊缝必须完成平焊、立焊、仰焊的全位置单面焊透的焊接。技术关键是保证环焊缝根部全焊透,且反面成形均匀良好。TIG 焊具有热输入调节方便,熔深易于控制和熔池容易保持等优点,是全位置单面焊反面成形最理想的焊接方法。脉冲 TIG 自动焊采取焊接工艺参数程序控制,可以获得全焊透且均匀成形的环焊缝。

管道单面焊双面成形采用手工焊,对管道坡口和组对要求相对较低,采用自动焊则对坡口尺寸精度和组对提出了更高要求。下面从几方面介绍管道焊接自动焊的难点。

2.1 坡口形式的确定

在脉冲 TIG 自动焊根部打底过程中,要实现单面焊双面成形,也就是说既要保证根部钝边焊透,又不能烧穿且焊缝成形应满足要求,其坡口设计时需要合适的钝边尺寸;在每层坡口填充过程中,由于焊接收缩,为了保证每层焊接时侧壁熔合良好,需要根据不同材料和不同规格的管道确定合适的坡口圆弧半径 R 和坡口角度,以使焊接过程中焊缝宽度的变化与工艺参数相匹配,保证焊接质量。

2.2 焊接工艺参数的匹配

在母材、焊材匹配以及焊接设备选定的情况下,根据已经确定的坡口形式和焊接坡口装配要求来保证焊接质量是非常关键的。根部打底焊的工艺参数应与钝边尺寸相匹配,确保根部焊接质量,在填充层焊接过程中应通过脉冲焊接参数的调节和匹配,保证坡口侧壁的良好熔合,因此其焊接规范与焊缝坡口宽度的变化匹配是很重要的。通过全自动焊接的电流、电压、机头旋转速度、送丝速度等参数

最佳匹配,实现打底焊接单道焊双面成形,填充过程层间熔合和侧壁熔合,满足无损检测、理化试验对焊接接头质量的要求。

2.3 坡口加工精度和组对质量

现场焊口的组对质量是否能够满足全位置 TIG 自动化焊的技术要求是保证焊接质量的关键。由于现场条件限制和管道在坡口加工过程中的变形,通常现场管道焊口组对难以达到均匀一致的高精度,这就要求全位置自动焊设备能根据坡口尺寸和偏差自动调整有关工艺参数,以降低或消除不均匀参数对焊接质量的影响。在现场如果出现了不能满足自动焊组对要求,无法实现脉冲 TIG 自动焊打底焊接,可以采用手工氩弧焊打底,完成打底焊接后,再使用脉冲 TIG 自动焊进行填充。

2.4 钨极夹角、钨极一焊丝夹角、钨极一焊丝距离及与管子的偏移距离等固定参数的调节^[2]

钨极夹角、钨极一焊丝夹角、钨极一焊丝距离及与管子的偏移距离等参数直接关系到焊接过程的稳定、焊缝成形和焊接质量,因此合理调节这些参数是获得满意焊接质量的重要保证。通过试验确定了 $\theta_1=2^\circ\sim5^\circ$ 、 $\theta_2=70^\circ\sim80^\circ$ 、钨极伸长长度 $s=20\sim25\text{ mm}$ 、正常焊接时钨极尖端与管道表面的距离 $d=2\sim3\text{ mm}$,是较为适合的参数,且能够焊接出优质的焊缝。它们之间的关系如图 1 所示。

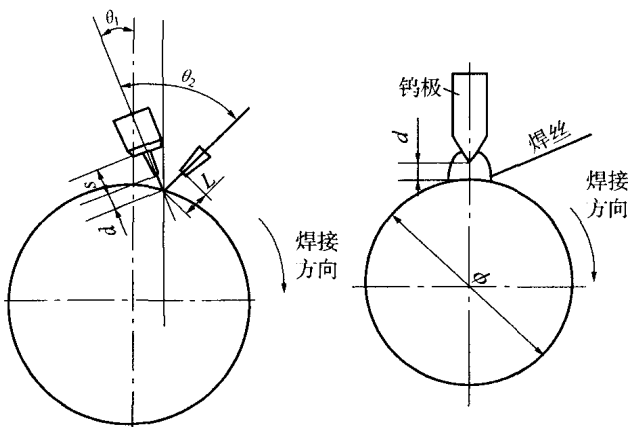


图 1 固定参数之间的关系示意

3 焊接工艺试验

3.1 焊接坡口设计

合理的坡口形式设计是保证质量、提高劳动效率的重要环节。结合脉冲 TIG 自动焊机自身特性,通过大量的试验,确定了如图 2 所示的坡口形式。

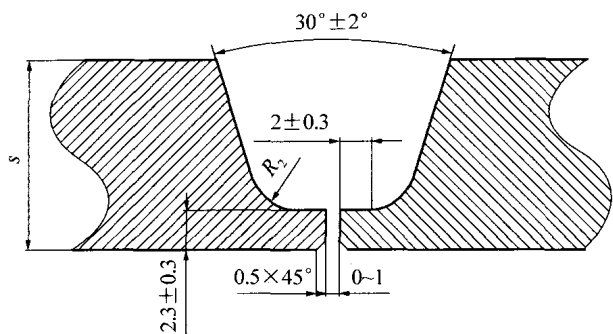


图 2 坡口加工

3.2 焊接材料的选择

主回路系统管道材料均为 0Cr18Ni10Ti, 根据焊材选择匹配原则, 不锈钢材料在焊接材料选择时不仅要考虑力学性能, 而且更应考虑焊材和母材的化学成分以及使用环境条件。根据上述原则并结合该工程的使用环境要求, 工艺试验、工艺评定、产品见证件以及现场, 主回路系统管道的焊接选用 H0Cr20Ni10Ti 不锈钢焊丝, 规格 $\phi 1.0$ mm。

3.3 焊接工艺试验规范参数的确定

焊接坡口形式确定以后, 根据坡口形式进行焊接规范的匹配试验。通过大量的工艺试验(采用材质为 0Cr18Ni10Ti, 规格 $\phi 406.4$ mm $\times$ 8 mm 的管道), 在选定坡口形式和组对要求的情况, 通过对工艺评定和产品见证件的无损检测和理化试验, 验证了所用焊接工艺参数的匹配性。

3.4 焊接工艺参数对焊缝成形的影响

3.4.1 焊接电流

焊接电流大小选择恰当与否直接影响到焊接最终质量。焊接电流过大, 虽然生产率提高, 熔透深度增加, 但易出现咬肉、焊瘤等缺陷, 并增大气孔倾向。尤其在上坡焊操作时熔池难以控制, 易出现焊瘤, 弧长增加会产生咬边。焊接电流过小, 熔透深度减小, 易出现未焊透、熔合不良、夹渣、脱节等缺陷。

3.4.2 焊接速度

焊接速度是表征焊接生产效率的主要参数。合理选择焊接速度对保证焊接质量尤为重要。焊速过快, 熔池温度不够, 易造成未焊透、未熔合、焊缝成形不良等缺陷; 焊速过慢, 高温时间长, 热影响区宽度增加, 焊接接头的晶粒变粗, 机械性能降低, 焊件的变形量增大, 同时焊速过慢还会使每层的厚度增大, 导致熔渣倒流, 形成夹渣等缺陷。

3.4.3 电弧电压

焊接过程中合理控制电弧长度是保证焊缝质

量稳定的重要因素。电弧过长对熔化金属保护差, 空气中的氧、氮等有害气体容易侵入, 使焊缝易产生气孔, 焊接金属的机械性能降低。但弧长也不易过短, 若弧长过短, 就会引起粘条现象, 且由于电弧对熔池的表面压力过大, 不利于熔池的搅拌, 使熔池中气体上浮受阻, 产生气孔缺陷。

3.4.4 焊接送丝速度

单面焊双面成形焊接层数的选择对焊缝质量也有一定的影响, 每层厚度过大, 对焊缝金属的塑性有不利影响, 且焊接过程中熔池金属易倒流, 产生层间未熔合缺陷。但每层厚度也不易过小, 以免造成焊缝两侧熔合不良。与焊接层数直接相关的焊接工艺参数就是焊接送丝速度, 送丝速度过快, 容易引起焊缝熔池金属倒流, 产生焊缝层间未熔合现象, 而送丝速度过低, 则容易造成坡口两侧侧壁熔合不良。合理的焊接送丝速度, 既要保证焊缝层间熔合, 又要保证焊缝坡口两侧的侧壁熔合。

3.4.5 焊丝直径

焊丝直径的大小除了对生产率有一定的影响外, 对焊接质量也有一定的影响。焊丝直径过大, 在进行打底层焊接和上坡焊接时熔池难以控制, 易产生焊瘤等缺陷。

3.4.6 焊接操作因素

在焊接生产过程中, 焊接操作工对焊接设备的熟悉程度、对焊缝熔池的判断、焊丝送丝角度等也是造成焊缝质量差的重要原因之一。焊前对工件上的油、锈、水分清理不严格, 会促使焊缝产生大量的气孔, 使焊缝质量达不到要求。

总之, 要实现不锈钢大直径管道单面焊双面成形, 首先是焊接电源满足要求, 其次是焊接工艺参数一定要合理, 最后就是焊接操作工人水平的高低。

通过大量的试验结果可以看出, 只要焊接参数和焊接接头的坡口设计合理, 采用自动化焊接进行焊缝根部打底焊接是可以实现的。实际焊接效果如图 3~图 5 所示。

4 焊接工艺评定^[3]

完成焊接工艺试验后, 按照《压水堆核岛机械设备设计和建造规则》(RCC-M2000)中 S 卷的要求进行了焊接工艺评定试验。焊接工艺评定的目的是为了检验每种型式下的焊缝所采用的焊接方法和焊接工艺参数是否正确, 从而为产品的焊接提供可靠、准确的工艺参数, 保证焊缝质量。

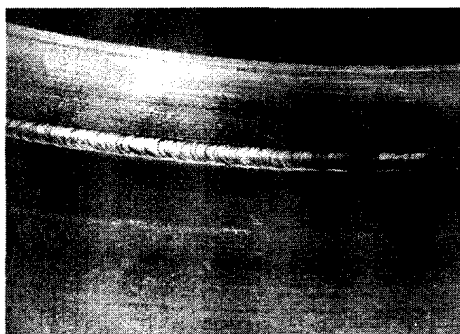


图3 根部焊缝背面成形

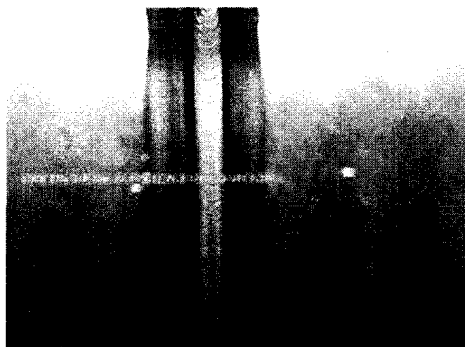


图4 根部打底焊接正面成形

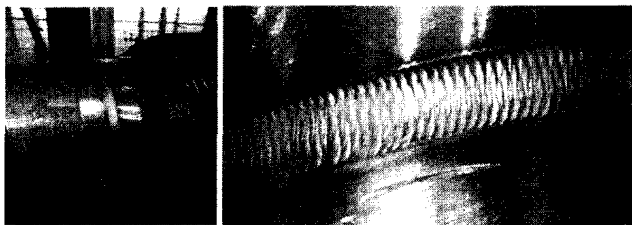


图5 焊缝表面成形

4.1 工艺评定试验前的准备工作

4.1.1 焊接设备

采用 LIBURDI 公司生产的 GT-V 全位置脉冲钨极氩弧焊机,使用前应对焊接设备进行标定,保证焊接设备处于完好状态。

4.1.2 母材和焊接材料

母材:工艺评定试验采用材质为 0Cr18Ni10Ti,规格 $\phi 325 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ 。

焊材:H0Cr20Ni10Ti 不锈钢焊丝,规格 $\phi 1.0 \text{ mm}$ 。其化学成分如表 1 所示。

表1 H0Cr20Ni10Ti 不锈钢焊丝熔敷金属化学成分 %

$w(\text{C})$	$w(\text{Cr})$	$w(\text{Ni})$	$w(\text{Mn})$	$w(\text{Mo})$	$w(\text{Si})$	$w(\text{S})$
0.027	19.990	9.860	1.940	0.190	0.360	0.001
$w(\text{P})$	$w(\text{Cu})$	$w(\text{Co})$	$w(\text{Ti})$	$w(\text{N})$	$w(\text{Nb})$	
0.016	0.073	0.069	0.230	0.046	0.022	

4.1.3 焊接和无损检测人员

从事该系统主回路管道焊接的焊接操作工必

须按照《民用核安全设备焊工及焊接操作工资格管理办法(HAF603-2008)》进行考试取证,且只有取得资格证的焊接操作工才可以焊接生产;从事该焊接接头的无损检测人员必须按照《民用核安全设备无损检验人员资格管理规定(HAF602-2008)》要求进行考试取证,且检验人员和审核人员必须符合相应级别的要求。

4.1.4 焊接坡口准备和组对

管道坡口加工采用机械方法进行,加工要求:加工表面不得有裂纹、分层、夹渣等缺陷,打磨坡口及两侧直到露出金属光泽(焊缝打磨时要采用防止对不锈钢污染的抛光轮),对坡口表面的凹坑和划痕等不规则处必须打磨圆滑过渡,在坡口组对前应应对坡口加工尺寸和表面进行 100%PT 检验,Ⅰ级合格,合格后方可进行组对。PT 检测按照 RCC-M 第Ⅲ卷 MC4000 的要求进行。

在该坡口形式下选用 LIBURDI 公司生产的 GT-V 全位置脉冲钨极氩弧焊机,该自动焊机管道的组对要求需满足:组对间隙小于等于 1.0 mm,错边量小于等于 1 mm。但在工艺评定中采用如图 6 所示要求进行组对,即组对间隙和错边量都为 0 mm。

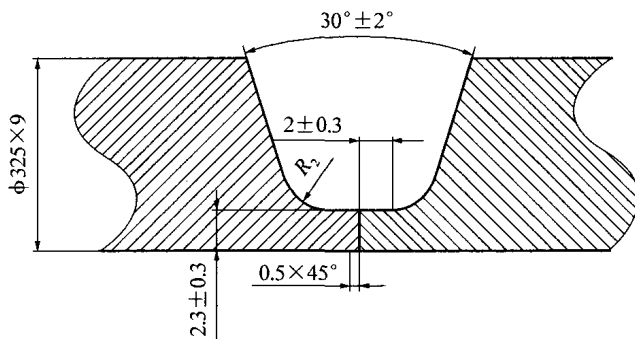


图6 工艺评定组对

4.2 试件焊接、无损检测及试样加工

4.2.1 试件焊接

焊工应按照焊接工艺规程要求对管道进行组对和焊接,试件焊接参数如表 2、表 3 所示。试件焊接过程中管道内部进行充氩保护且要注意焊接层间和表面的清理。

4.2.2 无损检测

(1) 焊缝外观检验。

用肉眼或借助 5 倍放大镜对焊缝内外表面进行目视检验和尺寸检验,目视检验按照 RCCM-M-MC7100 规定进行。焊缝检验验收准则为:

a. 焊缝区表面包括可接近的内表面,不得有

表 2 2GT 工艺评定焊接参数

焊道层次	焊接电流 I/A		送丝速度 v/inch·min ⁻¹		焊接电压 U/V	焊接速度 v/inch·min ⁻¹	频率	占空比 /%	极性
	基值	峰值	基值	峰值					
打底(第 1 道)	50~120	100~210	5~15	15~25	8.0~10.0	3.4~5.0	1.8	50	正接
第二层(第 2 道)	60~140	120~230	10~35	15~45	8.0~10.0	3.0~5.4	1.8	50	正接
第三层(第 3 道)	70~140	130~240	10~35	15~45	8.0~10.0	3.0~5.4	1.8	50	正接
第四~六层(第 4~6 道)	80~140	150~240	10~35	15~45	8.0~10.0	3.0~5.4	1.8	50	正接
盖面(第 7~9 道)	80~150	160~250	10~35	15~45	8.5~10.2	3.0~5.4	1.8	50	正接

表 3 5GT 工艺评定焊接参数

焊道层次	焊接电流 I/A		送丝速度 v/inch·min ⁻¹		焊接电压 U/V	焊接速度 v/inch·min ⁻¹	频率	占空比 /%	极性
	基值	峰值	基值	峰值					
打底(第 1 道)	50~120	100~210	5~15	10~25	8.0~10.0	3.4~5.5	1.8	50	正接
第二层(第 2 道)	60~140	120~230	10~35	15~45	8.0~10.0	3.0~5.4	1.8	50	正接
第三层(第 3 道)	70~140	130~240	10~35	15~45	8.0~10.0	3.0~5.4	1.8	50	正接
第四~六层(第 4~6 道)	80~140	150~240	10~35	15~45	8.0~10.0	3.0~5.4	1.8	50	正接
盖面(第 7~9 道)	80~150	160~250	10~35	15~45	8.5~11.0	3.0~5.4	1.8	50	正接

裂纹、未熔合、未焊透、焊瘤、咬边、未填满的弧坑，表面气孔和夹渣等缺陷。

b. 除单面焊双面成形焊缝的仰焊部位允许有 0.5 mm 以内的内凹外,所有其他焊缝都不允许存在凹坑(未填满)。

c. 焊缝表面应平整光洁,两侧与母材平缓过渡,焊缝表面余高:正面小于等于 2.0 mm,背面小于等于 2.5 mm。

(2)液体渗透检验。

焊缝表面检查合格后,按照 RCC-M 第Ⅲ卷 MC4000 要求对焊缝内、外表面焊缝金属和宽度不小于 15 mm 的焊缝相邻母材区域进行 100%PT 检验,I 级合格。经检查 2 个位置工艺评定试件,PT 检验结果都符合标准要求。

(3)焊缝射线检验。

渗透检验合格后,再按 RCC-M 第Ⅲ卷 MC3300 的要求对焊缝进行 100%射线检验,I 级合格。2 个位置工艺评定试件 RT 检验结果(一共 16 张底片)都为 I 级,符合标准要求。

4.2.3 试件取样和试样加工

在完成射线检验后,试样加工人员按试样取样位置图对试件进行取样,其中 2GT 位置取样见图 7。

试样取样结束后,根据试样的种类按照国家标准对每种试样进行加工,且加工尺寸和进度要求应符合相应的国家标准。

4.3 理化试验结果和分析

4.3.1 金相检验

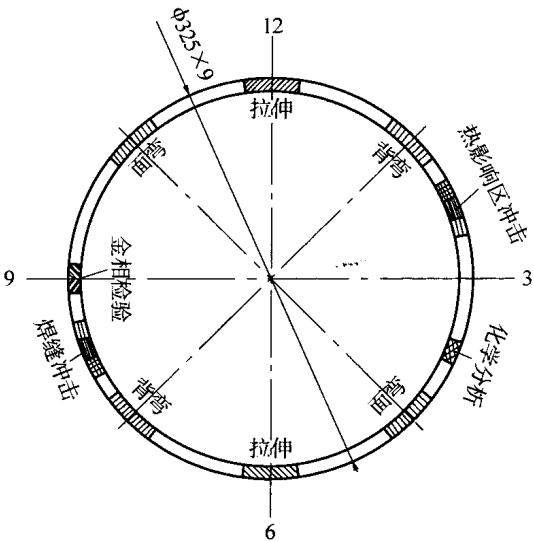


图 7 试样取样位置

试样数量 1 件(试样编号:CARR-031-6 和 CARR-032-6),按 GB/T226-1991 规定进行酸蚀。将酸蚀后的试样放在 4~10 倍放大镜下观察,试验结果应保证无裂纹、未焊透、未熔合和尺寸大于 4 mm 的气孔。经对 5GT 和 2GT 两个位置的试样进行检测,得出结论:焊接区域无裂纹、未焊透、气孔、夹渣、未熔合等低倍缺陷。其金相照片分别如图 8、图 9 所示。

4.3.2 微观金相检验

试样(试样编号:CARR-031-7 和 CARR-032-7)按照 GB/T13298-1991 标准进行检测,在 200 倍显微镜下观察焊缝根部区域、熔敷金属中心区域、熔合线、宏观检验显示的可疑区,保证无显微裂纹和影响接头性能的沉淀物。试验结论:焊缝与母材熔

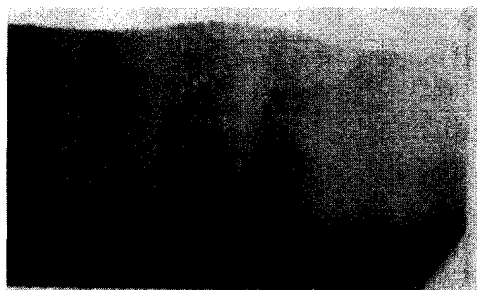


图 8 5GT 宏观金相图片

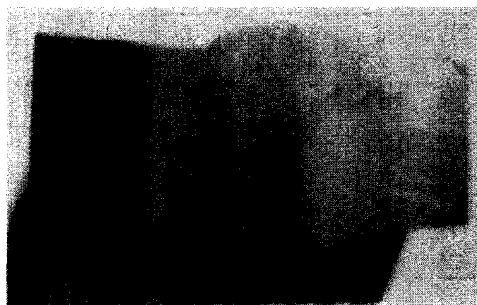


图 9 2GT 宏观金相图片

合良好,未发现显微裂纹和异常组织(沉淀物),焊缝为奥氏体、铁素体双相组织。

4.3.3 焊缝接头横向全厚度拉伸试验(室温)

试样依照 GB/T2651《焊接接头拉伸试验方法》标准进行检测,其结果如表 4 所示。

表 4 接头拉伸结果

试样 编号	温度 T/℃	宽度 /mm	厚度 /mm	截面积 /mm ²	拉伸强度 σ_b /MPa		焊接 位置
					要求	试验	
CARR-031-1	25	25	9	225	≥ 480	640	2GT
CARR-031-2	25	25	9	225	≥ 480	645	2GT
CARR-032-1	25	25	9	225	≥ 480	590	5GT
CARR-032-2	25	25	9	225	≥ 480	610	5GT

由表 4 可知,由于 2GT 位置整个焊接过程中焊接参数一致,所以抗拉强度相差很小;而 5GT 位置,在整个管道一圈焊接过程中焊接参数变化较大,所以其抗拉强度的结果相差较大。但结果都符合标准要求。

4.3.4 弯曲试验

按照 GB/T2653-1989《焊接接头弯曲及压扁试验方法》标准进行弯曲试验,弯曲试验芯棒直径 $D=4t$ (t 为试样厚度),两支承辊间距离 $P=5.2t$,弯曲角度 180° ;试验结果要求没有明显的开裂、单个裂纹、表面气孔和夹渣长度不得大于 3 mm。经检测 2 个位置 8 件弯曲试验结果全部合格。其结果如表 5 所示。

4.3.5 冲击试验

试样采用夏比 V 型缺口。试验按照 GB/T2650-

表 5 弯曲试验结果

试样 类型	试样 编号	宽度 /mm	厚度 /mm	压轴 直径 /mm	支撑 间距 /mm	弯曲 角度 /(°)	结果	焊接 位置
面弯	CARR-031-3	38	9	36	46.8	180	合格	2GT
面弯	CARR-031-4	38	9	36	46.8	180	合格	2GT
背弯	CARR-031-5	38	9	36	46.8	180	合格	2GT
背弯	CARR-031-5	38	9	36	46.8	180	合格	2GT
面弯	CARR-032-3	38	9	36	46.8	180	合格	5GT
面弯	CARR-032-4	38	9	36	46.8	180	合格	5GT
背弯	CARR-032-5	38	9	36	46.8	180	合格	5GT
背弯	CARR-035-5	38	9	36	46.8	180	合格	5GT

1989《焊接接头冲击试验方法》标准的规定进行试验,要求在室温下进行试验,对于每一组试样,单个冲击功 $A_{KV} \geq 60$ J。2GT 位置冲击试验结果如表 6 所示,5GT 位置冲击试验结果见表 7。从结果可以看出,两个位置的焊缝和热影响区冲击试验结果值相当,其结果远远大于规定值($A_{KV} \geq 60$ J),说明采用脉冲 TIG 自动焊工艺的对焊接接头的冲击性能是非常有利的。

表 6 2GT 冲击试验结果

标记	宽度 /mm	厚度 /mm	截面 积 /mm ²	冲击吸收功 A_K /J				备注
				要求值		试验值		
				最小	平均	单个	平均	
CARR-031-11	10	5	50	≥60		100		
CARR-031-12	10	5	50	≥60	NA	118	109.3	焊缝
CARR-031-13	10	5	50	≥60		110		
CARR-031-14	10	5	50	≥60		114		
CARR-031-15	10	5	50	≥60	NA	124	119.3	热影响区
CARR-031-16	10	5	50	≥60		120		

缺口类型:KV;温度:常温。

表 7 5GT 冲击试验结果

标记	宽度 /mm	厚度 /mm	截面 积 /mm ²	冲击吸收功 A_{K}/J				备注
				要求值		试验值		
				最小	平均	单个	平均	
CARR-032-11	10	5	50	≥60		95		
CARR-032-12	10	5	50	≥60	NA	114	105.6	焊缝
CARR-032-13	10	5	50	≥60		108		
CARR-032-14	10	5	50	≥60		116		
CARR-032-15	10	5	50	≥60	NA	110	116.0	热影响区
CARR-032-16	10	5	50	≥60		122		

缺口类型:KV;温度:常温。

4.3.6 焊缝金属晶间腐蚀试验

试验按照 GB/T4334.5 标准进行试验,焊缝金属晶间腐蚀试样为两件(试验编号:CARR-031-8、CARR-

031-9 和 CARR-032-8、CARR-032-9), 其中一件在焊态下直接进行腐蚀试验, 其中一件需作敏化处理(在 5 min 内加热到 $725\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保温 30 min, 然后以 $60\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度冷却到 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, 之后空冷), 对 2GT 和 5GT 两个位置试样进行检验, 其检测结果为无晶间腐蚀倾向。

4.3.7 焊缝金属化学分析和铁素体含量

试样按照 GB/T11170-1989 标准进行化学成分试验, 焊缝金属铁素体含量根据化学分析结果计算出 Ni 和 Cr 当量, 并根据修正后的德龙图(Delong)计算铁素体含量。2GT 和 5GT 焊缝熔敷金属化学分析试验结果如表 8、表 9 所示。

5 结论

脉冲 TIG 自动焊工艺在某核工程反应堆冷却系统一共焊接了 74 道焊口, 一次性焊接合格率 96%, 有 3 道焊口焊后 RT 显示出焊接缺陷, 经分析原因是由于现场坡口加工精度超差造成组对不能满足要求, 从而影响焊接质量。因此, 坡口加工精度和组对要求对脉冲 TIG 自动焊影响较大。如果出现组对超差

表 8 2GT 焊缝金属化学分析及其铁素体含量 %

w(C)	w(Cr)	w(Ni)	w(Mn)	w(Mo)	w(Si)	w(S)
0.033	19.020	9.690	1.760	0.170	0.330	0.003
w(P)	w(Cu)	w(Co)	w(Ti)	w(N)	w(Nb)	铁素体含量
0.024	0.120	0.063	0.310	0.021	0.025	7.2

注: 试样编号 CARR-031-17。

表 9 5GT 焊缝金属化学分析及其铁素体含量 %

w(C)	w(Cr)	w(Ni)	w(Mn)	w(Mo)	w(Si)	w(S)
0.042	18.830	9.590	1.680	0.160	0.320	0.003
w(P)	w(Cu)	w(Co)	w(Ti)	w(N)	w(Nb)	铁素体含量
0.026	0.150	0.059	0.310	0.020	0.025	6.2

注: 试样编号 CARR-032-17。

情况, 可采用手工 TIG 焊打底, 脉冲 TIG 自动焊填充和盖面的工艺实施。通过该工艺工程实施, 为脉冲 TIG 自动焊工艺在管道安装工程领域应用积累了经验。

参考文献:

- [1] 陈祝年. 焊接工程师手册[M]. 北京: 机械工业出版社 2002.
- [2] 刘自军, 潘乾刚. 窄间隙脉冲热丝 TIG 焊在集箱环缝焊接中的应用[J]. 东方电气评论, 2007, 21(1): 35-40.
- [3] 压水堆核岛机械设备设计和建造规则, RCC-M-S3000[S].

ALW 航空激光焊接在汽车车身上的应用日趋成熟

随着中高级轿车市场消费理念的日趋成熟, 对于安全的要求也更为苛刻, 因此, 拥有一套独到的焊接技术以保证车身安全, 已成为各大品牌抢占市场份额的杀手锏之一。新晋主流 B 级车阵营的东风雪铁龙 C5, 其车身上使用的 ALW 航空激光焊接技术则让这种竞争更加白热化。

东风雪铁龙 C5 采用了国际上最新、最先进的航空激光焊接技术。这种通常应用于航天领域的焊接技术, 目前主要应用于宝马、奥迪等豪华品牌的高端车型。相比大众的航空激光焊接技术, C5 的 ALW 航空激光焊接技术更先进、更节能、焊接质量更稳定, 其选用的高精度进口机器人、世界最先进的 IPG 全光纤连续脉冲大功率激光器, 不仅有焊接质量高、效率高、免维护、占地面积小等显著优点, 而且实现了传统冲压件无法实现的造型。同时, 在焊接材料上, C5 车身所采用的是 60% 的高强度钢板和 70% 的双面镀锌钢板, 这个指标在行业内处于领先水平, 车身的承受力和强度在同级别车中具有明显优势。

为确保 ALW 航空激光焊接质量, 焊接工序采用质量门和激光在线检测技术两道检测控制。不同于其他工厂的抽样检测, 而是在线追踪所有车型逐台检查尺寸和焊接质量, 如有问题可通过设置的安全质量报警系统, 将信息迅速传递给相关检测部门及时处理。

随着 ALW 航空激光焊接技术在 C5 身上的应用, 一场以安全为主题的技术革命已经开始拉开帷幕。而凭借“5 维全价值领航”综合竞争力的 C5, 也将为众多具有绅士风范的社会精英带来“逸天地悦人生”的享受, 并将在中高级车市的角逐中一展身手。