

加氢反应器90°弯管内壁整体不锈钢自动堆焊

王庆伟

【摘要】采用国内先进的焊接设备和工艺方法，在90°弯管内壁进行整体自动堆焊。焊后堆焊层的检测以及缺陷修复可行，堆焊层各项性能指标满足设计技术要求，在加氢反应器弯管制造中推广该技术，可有效提高产品质量和生产效率，降低生产成本。

关键词：加氢反应器；90°弯管；FCAW；自动堆焊

1. 概述

加氢反应器是炼油厂加氢装置中的关键设备，其运行在高温、高压、临氢及硫化氢、连多硫酸腐蚀的苛刻环境下，因此基体材料应采用抗氢钢且必须在与介质接触的内壁上堆焊不锈钢，其中油气入口和油气出口弯管的内壁堆焊是整个产品制造过程中的难点之一。

传统的弯管制造工艺通常是将90°弯管（以下简称“弯管”）分割成三段，分别堆焊后再组焊成整体。由于生产工序较多导致生产效率较低，严重影响加氢产品的制造周期；弯管中间两条环缝的坡口加工、组焊、探伤，较大幅度地增加了制造成本；手工补堆焊时受空间位置限制，造成堆焊质量不易保证，更增加产品质量风险。

为克服以上不足，采用先进的设备和工艺方法，保证90°弯管成形后整体自动堆焊是最佳的

解决方案。

2. 弯管的结构及材料

(1) 弯管的结构 弯管内壁均要求进行E309L+E347不锈钢双层堆焊，堆焊厚度7.5mm，焊前按NB/T 47014要求进行焊接工艺评定试验，并遵守BCEQ—9314《压力容器内部双层堆焊（E309L+E347）技术条件》的要求。

加氢反应器弯管包括油气入口弯管和油气出口弯管，传统制造方式为弯管均分为三段分别堆焊后再组焊、补堆焊，如图1、图2所示。

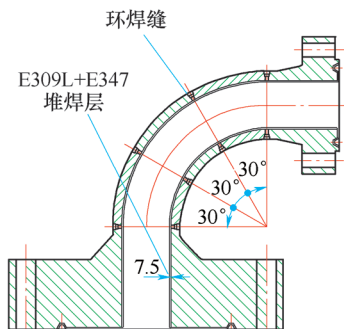


图1 油气出口弯管结构

(2) 弯管的材料 加氢反应器弯管通常采用2.25Cr1Mo钢锻件制造，2.25Cr1Mo钢是一种以Cr、Mo为主要合金元素的低碳低合金耐热钢，该钢种通常以正火+回火状态供货，材料组织形态为贝氏体+铁素体组织，其化学成分和力学性能如表1、表2所示。

3. 管自动堆焊设备

90°弯管自动堆焊是加氢反应器制造的关键技术，是加氢设备国产化必须解决的难题。国

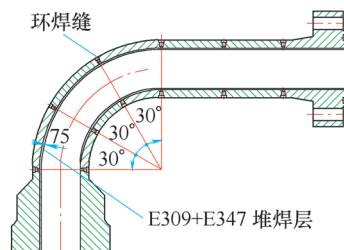


图2 油气入口弯管结构

表1 2.25Cr1Mo钢化学成分
(质量分数) (%)

化学成分	熔炼分析	产品分析
C	0.05~0.15	0.04~0.15
Si	≤0.15	≤0.16
Mn	0.30~0.60	0.25~0.66
P	≤0.010	≤0.010
S	≤0.008	≤0.010
Cr	2.00~2.50	1.88~2.62
Mo	0.90~1.10	0.85~1.15
Ni	≤0.20	≤0.25
Cu	≤0.20	≤0.20
Sb	≤0.003	≤0.003
Sn	≤0.015	≤0.015
As	≤0.016	≤0.016
[H]	≤2ppm*	≤2ppm*

注: *1ppm=10⁻⁶

表2 2.25Cr-1Mo钢板的力学性能

项目	数值
室温拉伸强度/MPa	515~690
室温屈服强度/MPa	310~620
400℃的高温屈服强度/MPa	≥241
室温伸长率 (%)	≥18
室温断面收缩率 (%)	≥45
-30℃夏比(V型缺口)冲击吸收能量/J	平均值 ≥54 单个值 ≥47
室温弯曲, D=4s, 弯曲180°	无裂纹
硬度试验HBW	≤225

内多家焊接设备厂商及研究院所针对重型压力容器自动化焊接装备,开展了一些研究开发工作。下面以某公司开发的90°弯管内壁耐蚀层自动堆焊机(见图3)为例,做简要介绍。

(1) 设备组成 弯管内壁自动堆焊机由自动焊接机械系统、自动控制系统、弧焊电源系统、

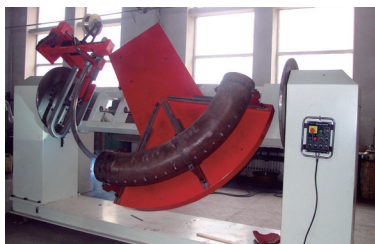


图3 90°弯管内壁自动堆焊机结构

水冷系统四部分组成。

(2) 工艺方法 弯管内壁自动堆焊采用药芯焊丝CO₂气体保护焊工艺,堆焊采用沿弯管内壁纵向母线排列焊道的方式进行,如图4所示。

(3) 主要技术指标 ①弯管曲率半径为450~750mm。②弯管内径为200~500mm。③工件质量:≤1000kg。④焊丝为φ1.2~φ1.6mm(药芯焊丝)。⑤单层堆焊厚度为2.5~3.5mm。⑥引弧方式为短路引弧。⑦90°弯曲焊枪曲率半径:R450mm、R550mm、R650mm、R750mm。⑧冷却方式为配有冷凝装置的强制水循环系统。

(4) 自动焊接机械系统工作原理 设备转盘上配有三套开合夹具,三套开合夹具分别安装

在三组向心导轨上,导轨旁边装有曲率标尺,根据工件的曲率半径,调整夹具到相对应的尺寸刻度上,如图5所示。

弯管内壁自动堆焊机的机械系统主要包括:两维变位机、焊枪三维运动导轨、开合夹具、90°弯曲焊枪等,如图6所示。

90°弯管通过三套开合夹具安装定位在装盘上,旋转电动机驱动工件旋转,实现自动焊接过程;翻转电动机驱动横梁上的装置及工件进行间歇翻转运动,每完成一条焊道后,工件根据设置自动翻转一个角度,用以实现每一条焊道都处于平焊(1G)位置。

90°弯曲焊枪安装在三维运动导轨上,用于调整焊枪的位置,如图7所示。

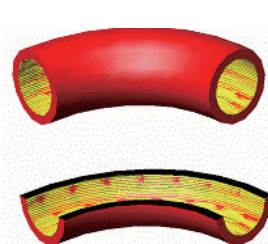


图4 自动堆焊焊道排列方式

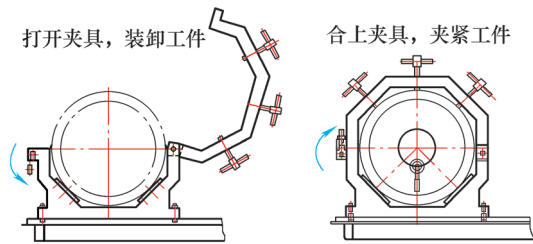


图5 工件装卸及夹紧方式

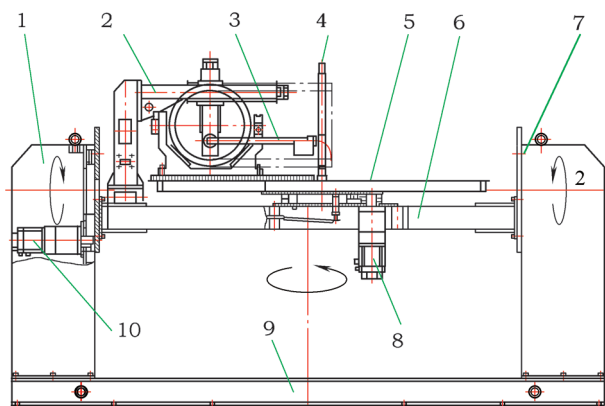


图6 机械系统示意

1.左床头箱 2.三维运动导轨 3.弯曲焊枪 4.开合夹具 5.转盘 6.横梁 7.右床头箱
8、10.旋转电动机 9.底座

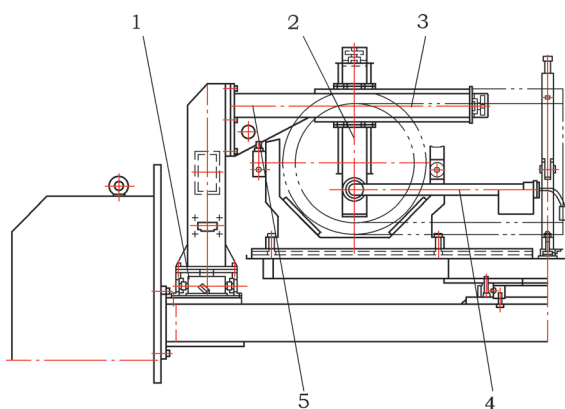


图7 焊枪位置调整示意

1.焊枪前后运动 2.焊枪上下运动 3.焊枪左右运动 4.弯曲焊枪 5.焊枪三维运动导轨

4. 弯管自动堆焊工艺过程

(1) 焊前准备 采用喷砂及机械打磨的方式将弯管内壁清理干净，并对待堆焊面进行100%MT检测；合格后将工件装夹在堆焊机上（见图8），安装完毕后在堆焊过渡层前对工件预热（见图9）100~150℃。

(2) 堆焊技术要求及工艺参数 90°弯管采取下料后加芯模热压成型的方式制作（见图10），并经过恢复性能热处理，成形后的内直径圆度≤3%，弯管曲率半径满足弯管内壁自动堆焊机技术要求。

弯管材质为2.25Cr1Mo，弯管规格为内直径340mm，弯曲半径650mm，最小厚度40mm。

根据设计院BCEQ-9314《压力容器内部双层堆焊（E309L+E347）技术条件》要求，过渡层采用E309L，耐蚀层采用E347，双层堆焊总厚度为7.5mm，其中耐蚀层有效厚度4.0mm。由于药芯焊丝CO₂气体保护焊（FCAW）具有飞溅小、电弧热量集中、焊缝成形美观、抗气孔能力强等优点，结合弯管内壁自动堆焊机的技术性

能，确定内壁堆焊的焊接方法为FCAW。

弯管堆焊的焊接参数如表3



图8 工件装夹



图9 工件预热



图10 热压成形并经性能热处理的弯管

表3 堆焊参数

焊接方法	焊接材料 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /cm·min ⁻¹	电源极性	预热温度 /℃	道间温度 /℃
过渡层 FCAW	DW-309L φ 1.6	200~245	26~31	27~25	DCEP	≥100	≤200
耐蚀层 FCAW	DW-347 φ 1.6	200~245	26~31	27~25	DCEP	室温	≤150

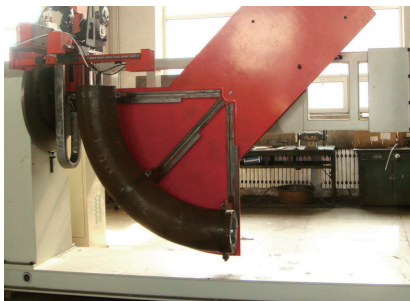


图11 0° 启焊位置

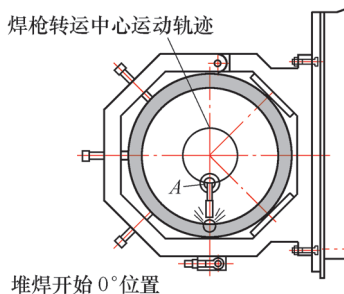


图12 45° 启焊位置 堆焊完成1/8



图13 90° 启焊位置 堆焊完成1/4

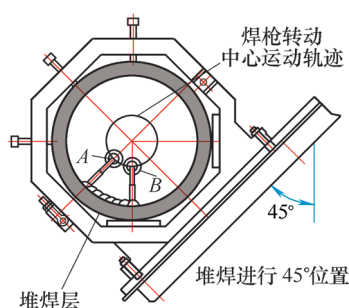


图14 180° 启焊位置 堆焊完成1/2

再一次按下“启焊”按钮，开始第二道堆焊，以此循环，堆焊过程如图11~图14所示。

当完成内壁一半(0~180°)的堆焊后，打开夹具，将工件翻转180°，再装入夹具中，重复上述过程进行另一半内壁堆焊，完工后如图15所示。

采用该工艺方法对90°弯管进行整体堆焊与传统制造方法相比，具有以下优势(单件弯管对比)。

第一，省去了弯管加工对接

坡口的工序，降低加工制造工时20h。

第二，省去了分段组焊工序，减少每条对接焊缝焊材消耗40kg，每件弯管节约焊材费用4800元，降低焊接制造工时160h。

第三，省去了对接焊缝补堆焊工序，避免了补堆质量不良，降低焊接工时20h。

第四，焊缝成形美观，堆焊质量优良，降低堆焊后返修工时50h。

第五，由于自动化焊接减少

了人工需求，间接降低了人工成本；同时省去了探伤费用及周期。

综上所述，采用自动化装备进行90°弯管整体不锈钢堆焊，可有效提高产品质量和生产效率，降低生产成本。

5. 堆焊层质量检测

(1) 检查堆焊层的表面质量及厚度检测 用200mm长的样板测量两相邻焊道之间的下凹量 $\leq 1\text{mm}$ ，焊道接头的不平度 $\leq 1.5\text{mm}$ ，满足技术条件要求。

超声测厚结果：堆焊层耐蚀层厚度满足 $\geq 4.0\text{mm}$ ，总厚度满足 $\geq 7.5\text{mm}$ 的要求

(2) 堆焊层化学成分及铁素体数检测 在距堆焊层表面3.5~4.0mm有效层内的E347层上取试样，检测堆焊层的化学成分，结果如表4所示。

表4 堆焊层化学成分
(质量分数) (%)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
0.030	0.33	1.36	18.06	9.89	0.12
P	S	Cu	Nb	N	—
0.017	0.005	0.039	0.43	0.022	—

采用铁素体测量仪，在堆焊层表面上选取三点测量铁素体读数，其值分别为5.2FN、5.1FN、4.8FN，根据上表中化学成分结合WRC-1992图计算铁素体数为4.95FN。

试验结果表明，堆焊层化学成分及铁素体数均满足技术条件的要求，且两种方法测量值有较好的一致性。

(3) 堆焊层的无损检测及缺陷修复 过渡层消氢后进行100%PT检测，耐蚀层焊后进行



图15 弯管堆焊过程中及完工状态



6M25压缩机二段缸缸盖的焊接修复

陈月华 张道福 赵原 于田田 倪玉成

【摘要】 本文针对6M25压缩机二段缸缸盖出现的裂纹，介绍了焊接方法，分享了修复经验。

关键词： 压缩机；焊接修复

1. 概述

2016年1月24日，我公司正在运行的6M25压缩机突然发出强烈撞击声，工艺操作人员按下紧急停车按钮并做了紧急停车处理。工艺处理完后，经检查压缩机二段活塞杆从十字头紧固部位断裂，二段活塞损坏并且二段缸缸盖凹槽顶盖四周出现裂纹。

二段缸缸盖材质为HT250，为非易损件，我公司没有备件，

为尽快恢复生产，我们对二段缸缸盖进行了焊接修复，下面把修复经验分享给大家。

2. 二段缸缸盖裂纹情况

二段缸缸盖结构如图1所示，采用HT250整体铸造成型，箱体内部通入冷却水对缸盖进行降温以带走活塞与缸体摩擦产生的热量。此次裂纹出现在缸盖凹槽顶盖四周，为近似直径140mm左右的环形裂

纹。出现裂纹部位的缸盖厚度约20mm，经对裂纹采用碳弧气刨刨开检查，裂纹实际深度为10~12mm。

3. 修复方法

众所周知，铸铁的焊接有热

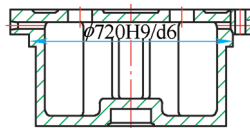


图 1

100%PT+100%UT检测。标准：JB/T 4730，I级合格。

经实践检测，采用该设备对90°弯管进行整体堆焊，一旦发现焊接缺陷，对缺陷部位的返修可行。采用铝基无铁砂轮打磨的方式清除缺陷。打磨后对缺陷去除部位进行PT检测，采取焊条电弧焊和CO₂气体保护焊进行返修，补焊完成后采用铝基无铁砂轮打磨补堆处与周边堆焊层圆滑，并进行UT+PT检测。

6. 结语

采用专用的弯管堆焊设备进行90°弯管内壁整体不锈钢自动堆焊，具有以下特点。

(1) 焊缝成形美观，堆焊质量优良；可有效提高生产效率，降低生产成本，推广使用将产生非常可观的经济效益。

(2) 将90°弯管成形后的圆度控制在3%范围以内，严格遵守经评定合格的焊接工艺，焊后可保证堆焊层各项指标满足

BCEQ—9314《压力容器内部双层堆焊（E309L+E347）技术条件》的要求。

(3) 90°弯管堆焊过程中出现的缺陷，任何部位均可清除，并能采用焊条电弧焊或CO₂气体保护焊进行返修，避免90°弯管因缺陷无法返修而造成报废。

作者简介：王庆伟，东方电机有限公司。

MW 20161026