

文章编号:1002-025X(2007)05-0063-03

30CrMnSiA 钢高压容器的焊接与加工

樊兆宝

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要: 分析了本单位近期研制的高压容器的结构特点、技术要求和30CrMnSiA低合金高强度钢的焊接性, 介绍了容器制造时所采用的工艺方案及焊接、冲压、热处理等关键技术, 并对焊接参数的调试原则和焊接质量控制措施等进行了详细说明。试验及批量生产证明, 该工艺方案和质量控制措施完全适合于高压容器的焊接与加工。

关键词: 高压容器; 低合金高强度钢; 自动氩弧焊; 冲压; 热处理

中图分类号: TG457.5 **文献标识码:** B

高压容器是某重点型号产品中的A类焊接组合件, 设计规定了很高的工作压力, 而其爆破压力必须高于工作压力的3倍。焊缝按行业标准 I 级进行验收, 焊后和热处理后进行2次100% X射线探伤, 焊接接头强度要求大于基体强度的90%, 焊缝两侧的基体不许错位, 内表面不许氧化。设计采用的材料是低合金高强度钢30CrMnSiA板材和棒材。为此制定了合理的加工方案, 并对关键工艺技术进行了严格的质量控制, 对焊接接头的

质量、性能、焊接工艺和焊接应力消除等进行了一系列的工艺试验, 焊接质量和高压容器的整体性能满足了设计要求。本文重点对高压容器的工艺流程、焊接及相关加工工艺进行了阐述。

1 高压容器的结构和30CrMnSiA钢的焊接性

1.1 高压容器的结构

高压容器由容器嘴、前半球和后半球通过2条环焊缝连接为一个整体, 如图1所示。

收稿日期: 2007-04-24

过分析研究^[3], 制定了多种弯制工艺方案: 加热温度从750, 800, 850 °C到900 °C; 进料速度分别为0.4, 0.5, 0.6, ..., 1.0 mm/s; 加热带宽度从20, 30, 40 mm到50 mm; 冷却方式采用自然风冷、吹风冷却、喷水冷却等。通过30多次不同弯制工艺制度热弯管的室内和现场试验, 成功地用控轧钢UOE管生产了近3 000个X60钢级 $\phi 660$ mm的弯管, 经检验测试, 其质量性能均符合有关技术要求, 成功地迈出了用控轧钢管热弯制造高压大直径弯管的第一步, 也积累了一些用控轧钢管热弯弯管的经验, 并且在国内多条油气管线上用控轧钢管弯制了合格的弯管。

试验与实际应用的结果表明, 对于直管径 ≤ 710 mm、壁厚 ≤ 13 mm的X65钢级以下的控轧钢管, 采用加热温度 (800 ± 10) °C, 进料速度30 mm/min, 加热带宽度20 mm, 喷水冷却的弯制工艺, 可以使控轧钢热弯弯管获得较好的质量性能, 满足相应的钢弯管性能技术要求。

4 结论

(1) 由于我国目前主要以生产SSAW管为主, 长期以来, 油气长输管线用弯管一直依赖进口UOE钢管来煨制, 如果使用

SSAW管热弯弯管, 可以提高我国弯管制造技术和水平, 同时节约大量的外汇, 降低管线建设的成本。

(2) 目前, 我国各制管厂进行了技术攻关和技术改造, 开展了高韧性SSAW管和高质量管线钢的研制工作。使国产SSAW管的成形质量、母材和焊缝质量都有了很大的提高, 多项性能指标已经与进口UOE管水平相当, 为采用螺旋缝焊管制造弯管创造了条件。

参考文献:

- [1] 张有渝. 四川输气管道弯管力学性能探讨[J]. 天然气与石油, 1999, 46(3): 1-4.
- [2] 张有渝. 大口径长输管道用弯管的设计制造[J]. 油气储运, 1996, 31(1): 48-51.
- [3] 冯 斌. 螺旋焊缝钢管(控轧管)热弯弯管技术可行性研究报告[R]. 河北廊坊: 廊坊石油管道工程科技服务公司, 2000. 11-15.
- [4] 沈士明. 国外压力管道试验研究的进展[J]. 压力容器, 1999, 19(5): 78-84.
- [5] 沈中华. 钢管制造工艺及材料[J]. 管线钢管, 1995, (1): 6-10.
- [6] 安国运. 管系中弯头的受力分析[J]. 华东输油, 1997, (1): 18-19.

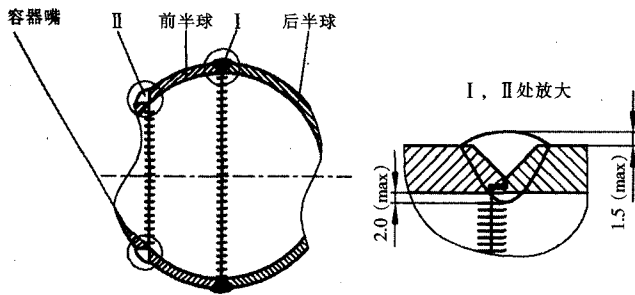


图1 高压容器结构示意图

其中容器嘴由30CrMnSiA钢的棒材通过车削加工而成，而前半球和后半球则由该钢的板材冲压成球壳，然后通过机加工而成。

1.2 材料焊接性分析

30CrMnSiA钢的化学成分见表1，力学性能见表2。30CrMnSiA钢的碳当量高达0.73%，焊接性较差，由于含有一定量的S、P杂质，其热裂倾向较大；又由于含碳量较高，其焊后的淬火组织是脆硬的高碳马氏体，这种组织不仅对冷裂纹

的敏感性大，而且焊后必须经过热处理才能使焊接接头的性能与母材接近。为了减小焊接应力，避免裂纹的产生，30CrMnSiA钢必须在退火状态下焊接，而且需焊前预热、焊后保温和缓冷。焊后消除应力热处理是该钢焊接时所必须采取的工艺措施，在焊接时应尽量减小热输入。

表1 30CrMnSiA钢的化学成分

元素	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
质量分数 (%)	0.28~0.35	0.80~1.10	0.90~1.20	0.80~1.10	≤0.30	≤0.030	≤0.035

表2 30CrMnSiA钢的力学性能

牌号	热处理参数	σ_f /MPa	σ_b /MPa	δ (%)
30CrMnSiA	890℃油淬+510℃回火	≥1 078	≥833	≥10

2 加工工艺流程及关键技术

2.1 高压容器的加工工艺流程

根据高压容器的结构特点、技术要求和30CrMnSiA钢的焊接性能，制定了如下的加工工艺流程，如图2所示。

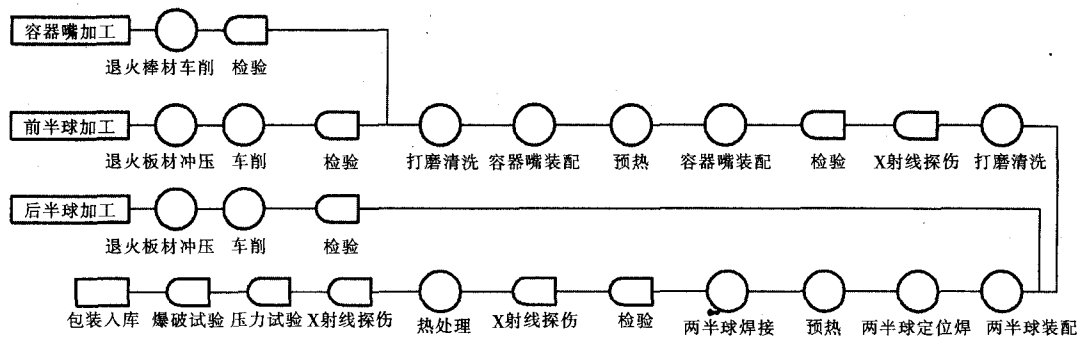


图2 高压容器加工工艺流程图

2.2 关键技术

2.2.1 焊接工艺

(1) 焊接方法和设备

采用脉冲钨极氩弧焊，所用设备为国外进口的某型号圆周氩弧焊机。为了减小热影响区的宽度，避免脆性组织，在保证背面焊透和充分熔合的前提下，应尽量采用较小的焊接热输入进行焊接。脉冲钨极氩弧焊能够满足这一要求，其电弧功率小，热量集中，穿透能力强，熔深较深，熔宽较小，电流脉冲对熔池的搅拌作用有利于气孔、夹渣等浮出熔池，这对于焊缝背面成形及焊缝内部质量有一定的保证作用，故采用脉冲钨极氩弧焊。

(2) 焊接材料

为了避免热裂纹的产生，选用了低C低Si的 $\phi 1.2$ mm

H18CrMoA焊丝作为填充材料。

(3) 坡口类型

为了保证焊透、避免错位，采用了如图1所示的扣合式V形坡口，这种坡口类型的优点是精度较高，但增加了机械加工的工作量，也给焊前的打磨清理工作造成了不便。

(4) 焊接工艺参数

容器嘴焊缝采用单层焊接，主焊缝则采用2层，打底层的主要目的是保证良好的背面成形，无焊漏、烧穿、未焊透、凹陷、气孔、裂纹等超标缺陷；盖面层不但要填满坡口，而且要形成良好的外表面成形，要求宽窄均匀、高低一致、过渡平滑、整洁美观，不允许存在焊瘤、咬边、未熔合、气孔、裂纹等超标缺陷。所调试出的焊接工艺参数见表3。

表3 焊接工艺参数

	焊接电流/A	焊接速度/(mm·min ⁻¹)	电弧电压/V	送丝速度/(mm·min ⁻¹)	焊接脉冲(刻度)			保护气体流量/(L·min ⁻¹)	
					脉宽	脉幅	频率	正面	背面
容器嘴焊缝	110~120	65	8.0~9.5	420	50%	50%	1.75	10	5
主焊缝打底层	130~140	180	8.0~9.5	260	50%	50%	1.75	15	3
主焊缝盖面层	140~150	180	9.5~10.0	370	50%	50%	1.75	15	3

(5) 电弧电磁摆动装置的应用

由于该压力容器壁厚较厚,坡口较宽,在焊接盖面层时,正常焊接的焊道宽度已无法将坡口覆盖住,这样,咬边和凹陷现象就在所难免,为此,使用了电弧的电磁摆动装置,利用交变磁场的磁场力使焊接电弧摆动来增加熔宽,保证焊缝成形。电弧电磁摆动装置的调试原理如图3所示。

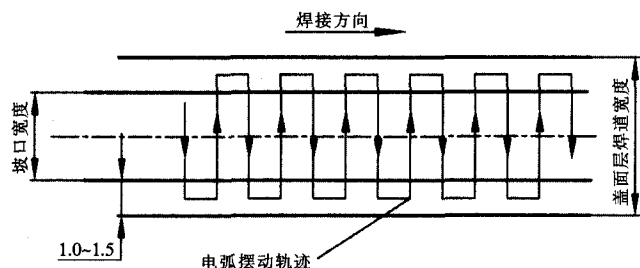


图3 电弧电磁摆动装置调试原理图

要使盖面层焊道的宽度每侧比坡口边缘宽出1.0~1.5 mm,摆动的频率要与焊接速度相匹配,在边缘要有一定的停顿时间,以便使焊缝边缘处能够充分熔化,避免未熔合的产生。由于电磁摆动装置对电弧的实际控制能力受焊接电流和电弧电压(弧长)的影响较大,所以焊接时要注意观察,随时调整。

(6) 预热、后热和焊后应力的消除

为了避免焊接裂纹,改善焊缝和热影响区的组织,降低焊接残余应力,采取的措施是:焊前炉中整体预热250℃、焊后将气瓶置于150℃的炉中缓冷到室温,然后进行680℃的消除应力热处理。

2.2.2 冲压工艺

高压容器的前半球和后半球是利用30CrMnSiA钢的板材通过冲压制成的,为了保证尺寸精度,进行了拉深模具的设计和毛坯尺寸的计算,选定了拉深参数。为了防止表面划伤和容器壁的过分减薄,对模具和零件毛坯表面进行了润滑。以上措施保证前、后半球满足技术要求。

2.2.3 热处理工艺

(1) 消除应力退火:加热到(680±10)℃,保温120~180 min后随炉冷至室温;

(2) 调质热处理:加热到(890±10)℃,保温80~90 min后油冷至室温,再重新加热到(510±10)℃,保温100~110 min后空冷至室温;

(3) 全部热处理过程均在VE70/150型气氛炉中进行,以防高压容器壁内外表面的氧化。

以上热处理工艺参数可以保证高压容器满足力学性能要求。

3 焊接过程的质量控制

在焊接、冲压和热处理这3大关键技术中,焊接是高压容

器制造中的最重要工序,为确保焊接接头的质量,在首批试制及批量生产中,采取了相应措施。

3.1 焊前打磨和清理

焊前认真清理焊件,严防氢、氧等有害气体进入焊接区域,对于高压容器焊接的成败至关重要,打磨清理的方法是:

(1) 用汽油清洗零件表面的防锈油和其他污物等;

(2) 用高速钢丝轮打磨零件全部内表面和焊接区外表面及坡口端面的锈蚀等,用砂纸打磨焊丝,直至露出金属光泽;

(3) 用丙酮或无水酒精把零件内表面、焊接区及焊丝彻底清洗干净,同时清洗焊接夹具。

3.2 定位焊

由于焊缝两侧的基体不许错位,在装配前对接缝处进行了认真的修合,并进行了选配,装配时保证扣合紧密。定位焊时容器嘴焊缝沿圆周定位3点,前、后半球焊缝沿圆周定位4点,均匀分布,每点长15 mm左右,不加丝、不熔透,宽度应尽可能狭窄,以免影响后续的自动焊接,定位焊后要进行检验。

3.3 内部保护

由图1可知,高压容器一旦扣合后,焊接时其内表面所产生的氧化皮将无法清除,解决的办法是:在预热和焊接时内部充氩。焊接开始前可调大氩气流量,等氩气充满内腔后再进行焊接,焊接时需将氩气流量降至3 L/min,因为过大的氩气流量将会导致焊缝背面产生图4所示的凹陷。

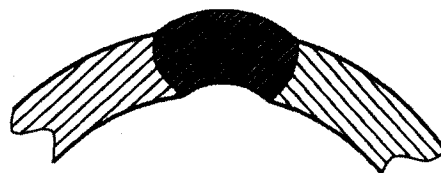


图4 焊缝内表面凹陷示意图

采用内部充氩后,内窥镜检查焊缝及热影响区内表面呈光亮状态,无氧化皮产生。

3.4 检验与验收

(1) 焊后外观检验和X射线探伤表明,焊缝符合行业标准的I级质量要求,且一次探伤合格率在80%以上,焊后内窥镜检查内表面无氧化皮出现;

(2) 调质热处理后的X射线探伤没有发现焊接接头裂纹,试片的接头强度超过了基体强度的90%;

(3) 爆破试验表明,爆破压力超过了设计要求。

4 结论

首批试制的高压容器符合质量要求,在随后进行的多个批次的生产中,气瓶质量基本稳定,说明所确定的加工工艺方案和质量控制措施是可行的,关键工艺满足了容器的性能要求。