



0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 钢小型高压容器的 焊接工艺

樊兆宝

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要:介绍了某型号小型高压容器的结构特点和技术要求;分析半奥氏体沉淀硬化不锈钢 0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 的焊接性和气瓶的焊接技术难点;制订了焊接工艺方案;详细说明了高压容器试制时的焊接过程和控制焊缝缺陷及焊接变形的方法与措施。探伤与液压试验和爆破试验的结果表明:首批试制的高压容器的焊接质量符合设计要求,工艺方案完全适合于小型、薄壁、偏心、细直径高压容器的焊接加工。现已进行了多个批次的生产,焊接质量稳定,并且满足设计要求。

关键词:小型高压容器;沉淀硬化不锈钢;工艺方案;自动氩弧焊

中图分类号:TG457.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-2303(2008)03-0048-05

Welding technology of 0Cr12Mn5Ni4Mo3Al steel small scale high pressure vessel

FAN Zhao-bao

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: This paper introduces the structure characteristics and technical requirements of certain type small scale high pressure vessel, analyzes the weldability of semiaustenitic precipitation hardening stainless steel 0Cr12Mn5Ni4Mo3Al and the vessel's welding technical difficulties, formulates welding technology project, and explicates the welding process as high pressure vessels were trial-produced and the measures to control the defects of welded seams and welding deformation. The results of checks including crack detection, hydraulic trial and bursting test show that the welding qualities of the first batch of high pressure vessels meet design requirements, and this technology project is completely suitable for welding processing of thin-walled eccentric small scale high pressure vessel with minor-diameter. Until now several batches of products have been produced whose welding qualities are steady and they meet design requirements.

Key words: small scale high pressure vessel; precipitation hardening stainless steel; technology project; automatic argon arc welding

0 前言

小型高压容器是某型号产品的重要焊接组件,为了减轻质量,增大气体储存,容器的工作压力非常高,因此对容器的焊缝质量、焊接接头的力学性能和材料的强度指标等提出了很高的要求。本研究重点阐述容器的结构特点、技术要求、焊接工艺流程、控制焊接缺陷及焊接变形的方法与措施及相关

加工工艺。

1 小型高压容器的结构特点、技术要求和所用材料的焊接性分析

1.1 结构特点

小型高压容器由瓶头、瓶身、瓶尾和瓶嘴四部分通过三条环焊缝连接为一个整体,其中瓶嘴与瓶体的连接为角接环焊缝,瓶头、瓶尾与瓶身的连接为对接环焊缝,两条环焊缝的圆心不在同一轴线上,而是错开 6 mm,容器壁厚 2 mm,整个高压容器

收稿日期:2008-01-25

作者简介:樊兆宝(1954—),男,山东鄄城人,研究员,国际焊接工程师,学士,主要从事焊接工艺技术工作。

全部采用 0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 半奥氏体沉淀硬化

不锈钢制成,结构如图 1 所示。

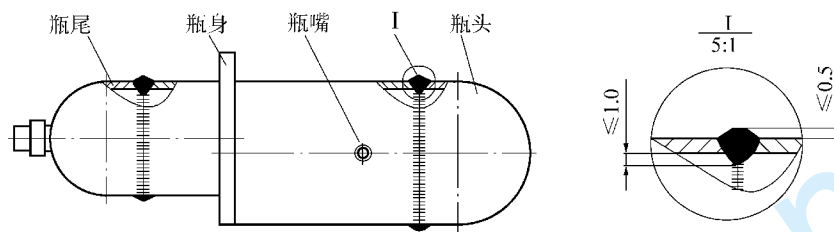


图 1 小型高压容器的结构示意图

1.2 技术要求

(1)小型高压容器的焊接质量按行业标准 I 级验收,焊接接头进行 100%X 光探伤。

(2)焊缝两侧的错位量要求不大于 0.2 mm,焊缝正面加强高要求不大于 0.5 mm,背面加强高要求不大于 1.0 mm。

(3)由于小型高压容器的工作压力相当高,焊后还要进行液压检验和爆破试验,在达到设计指标之前,焊缝不许破坏。

1.3 材料的焊接性能分析

0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 半奥氏体沉淀硬化不锈钢的化学成分见表 1^[1]。

表 1 0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 的化学成分 %

w(C)	w(Mn)	w(Si)	w(Cr)	
≤0.090	4.400~5.300	≤0.800	11.000~12.000	
w(Ni)	w(Mo)	w(Al)	w(S)	w(P)
4.000~5.000	2.700~3.300	0.500~1.000	≤0.025	≤0.025

在 1050℃固溶、空冷+4h、-78℃冰冷处理+520℃、2h 时效、空冷热处理工艺下,0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 半奥氏体沉淀硬化不锈钢的机械性能见表 2^①。

表 2 0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 的机械性能

σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	ψ /%	HRC
1 603	1 412	15.7	62.7	50.5

该钢在固溶状态下的组织为奥氏体+ δ -铁素体(5%~20%),在冰冷处理期间,奥氏体转变为马氏体,经时效处理后的最终组织为马氏体+残余奥氏体+沉淀相(NiAl)+少量 δ -铁素体,此时马氏体呈板条状,沉淀相很细小,故反映在机械性能上,具有强度高与韧性好的优异性能。该钢的焊接加工一般在固溶状态下进行,由于是奥氏体加少量铁素体组织,塑性高、韧性好,因此焊接性能良好,焊前无需预热,焊后也无需缓冷。

①69111 专题组.0Cr12Mn5Ni4Mo3Al(69111)半奥氏体沉淀硬化不锈钢性能简介,1974.

由于该钢的特殊性,焊接时应注意以下问题:

(1)由表 1 可知,该钢 $w(\text{Mn})=4.4\%\sim 5.3\%$,较高,因此过热倾向性大,热加工时需严格控制加热温度。

(2)焊接终止时若弧坑填补不良,易产生火口裂纹。手工氩弧焊时该钢的裂纹倾向性见表 3。

表 3 0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 裂纹倾向性^[1]

焊前状态	裂纹倾向性= $\frac{\text{裂纹长度(单位:mm)}}{\text{焊缝长度(单位:mm)}} \times 100\%$
固溶状态	1.1

(3)当采用同质焊丝焊接时,由于焊缝及近缝区的加热温度远高于固溶温度,故焊接接头区域的铁素体含量会有所增加。为减少这一趋势,应尽量使用小线能量进行焊接,尽量缩短焊缝及近缝区在高温停留的时间。

(4)当采用同质焊丝焊接时,焊接高温可使焊缝及近缝区中各种合金元素形成固溶体,增加了奥氏体的稳定性,降低了 M_s 点,使今后冰冷处理时奥氏体不能向马氏体转变或转变不充分,从而降低焊接接头强度。解决方法:焊后进行调整热处理,以便使 M_s 点回升。

从上述分析可知:0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 半奥氏体沉淀硬化不锈钢在总体上焊接性能良好,但过热倾向大,易产生裂纹,焊接区铁素体含量增加会导致接头强度降低,因此该钢进行熔化焊时,必须严格限制线能量的输入,所以能量集中、线能量小的电子束焊、激光焊、脉冲钨极氩弧焊等方法最适合该钢的焊接。类似小型高压容器这样的重要焊接件,焊后还必须进行调整热处理,以使奥氏体能够向马氏体充分转变。

2 小型高压容器焊接时的主要技术难点和所采取的工艺方法与措施

2.1 主要技术难点

2.1.1 高压容器的过热倾向和焊接接头的强度低于母材

率小,主电流为脉冲电流,热量输入小,热影响区狭窄,接头过热程度小;由于其热源和填充焊丝可分别控制,热量容易调节,特别适用于薄壁和超薄壁零件的焊接,是实现单面焊双面成形的理想方法。再者,由于电流脉冲对熔池的搅拌作用,可以加速气孔与夹渣的逸出,并可打乱柱状晶的结晶方向,有利于减少偏析、增加焊缝金属的耐蚀性和抗裂性。所选焊接设备为国外进口的某型号定枪式自动圆周氩弧焊机。

2.2.3 焊丝选择

焊接时选用了同质焊丝。小型高压容器焊后还要进行调整处理+冷处理+时效的热处理,以便使其获得所需要的金相组织和机械性能。为使焊缝的热处理制度与母材一致,以保证热处理后的接头性能与母材相近,选用同质的 $\phi 1.2$ mm 焊丝。

2.2.4 焊接夹具

(1)对焊接夹具的要求。

a. 能够把高压容器牢固地装配在自动氩弧焊机的三爪卡盘上,且旋转自如。并且要求夹具结构简单、装卸方便、加工容易、成本较低。

b. 能够克服高压容器两条环焊缝不同轴带来的影响,使容器在焊接的旋转过程中,其接缝相对于固定焊枪的左右偏摆不大于 0.2 mm,上下跳动不大于 0.5 mm。

c. 能够保证焊枪的可达性和操作的可视性,保证焊接过程的稳定性和连续性。

d. 能够提供氩气的背面保护。

(2)焊接夹具的设计。

a. 瓶尾焊接夹具。为了克服瓶尾轴线和瓶身轴线相差 6 mm 所带来的问题,把夹具的定位凸台和顶锥孔的轴线也设计成偏开 6 mm,偏开的方向和位置通过内撑件使顶锥孔轴线与瓶尾的相一致。

b. 瓶头焊接夹具。以瓶身外圆面为基准设计一个扣环,焊接时利用自动氩弧焊机的三爪卡盘夹住扣环,这样就排除了瓶尾轴线偏心的影响,使接缝在焊接时相对于固定焊枪不会出现左右偏摆和上下跳动的现象。

2.2.5 合适的焊接参数

为了加强焊工的焊前技术培训,使其能够调试出合适的焊接参数并焊接出合格的高压容器,设计了瓶嘴焊接试件和瓶头、瓶尾焊接试件。利用瓶嘴焊接试件,焊工既可以进行技术培训和调试焊接参数,又可以直接观察瓶嘴孔是否有堵塞或堵死现象。通过轴向剖开观察有无根部未焊透缺陷,并可测量焊缝外观尺寸和垂直度等。利用瓶头、瓶尾焊接试件,焊工既可以练习调试焊接参数,又可以直接观察到焊缝的背面成形情况。自动焊时,为了排除添加焊丝对焊缝背面成形的影响,分两层焊接,第一层不加丝,保证焊缝有良好的背面成形,背面加强高在 1.0 mm 之内;第二层加丝焊接,保证焊缝有均匀光滑的外表面成形。最后所调试的焊接参数如表 5 所示。

表 5 焊接参数

焊缝位置	焊接电流 I/A	焊接速度 $v/\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$	电弧电压 U/V	送丝速度 $v/\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$	焊接脉冲(刻度)			保护气流量 $Q/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$		
					脉宽	脉幅	频率	正面	背面	
瓶嘴	40~60	—	—	—	—	—	—	8	3	
瓶头	第一层	85~100	110	10.5	0	50%	50%	1.75	15	3
	第二层	90~105	110	10.5	260	50%	50%	1.75	15	5
瓶尾	第一层	70~80	80	10.5	0	50%	50%	1.75	15	3
	第二层	75~90	80	10.5	260	50%	50%	1.75	15	5

自动焊时,由于高压容器的热容较小,焊工应全神贯注、仔细观察、随时调整焊接参数,确保整条焊缝的均匀一致。

2.2.6 焊前打磨和清理

氩气是一种惰性气体,其作用是排开空气,保护电弧和熔池区域免受空气的侵蚀,但对于电弧区域内部所出现的氢、氧、氮等有害气体,却毫无祛除的能力,因为它不像电焊条药皮那样含有脱氧除氢

剂。如果清洗不净,残存的氧化皮、油脂和水分就会进入到熔池和电弧区域中去,它们在电弧的高温作用下迅速分解为氢气和氧气,这不但会烧损有益的合金元素,而且会出现气孔、夹渣和氢脆。因此,焊前认真清理焊接区域,严防氢、氧等有害气体进入焊接熔池,对于高压容器焊接的成败至关重要。

2.2.7 其他技术措施

(1)焊接瓶头、瓶尾焊缝时,为了防止焊缝两侧

错位,保证同轴度要求,进行了卡扣式接缝方式的设计。瓶头、瓶尾与瓶身扣合紧密后再进行定位焊和焊接,既保证了焊缝两侧的错位量要求,又省去了定位焊夹具。

(2)瓶嘴与瓶身的焊缝在圆弧面上进行,垂直度不好掌握,为此在瓶身上专门设计了台阶孔,以方便焊接。

3 小型高压容器的试制和检测结果

按确定的工艺流程、焊接工艺方案和工艺参数,焊接了两批共 60 余件小型高压容器,检测结果为:

(1)瓶嘴焊缝外表均匀、过渡平滑,无咬边、裂纹、焊瘤等缺陷。剖开检验时未发现根部未焊透和瓶嘴孔堵塞现象。

(2)瓶头和瓶尾焊缝外观成形良好,宽窄一致、过渡平滑、鱼鳞纹均匀,无凹陷、咬边、裂纹等缺陷。焊缝外表面加强高基本上在 0.5 mm 之内,个别超高点利用车削方法加工合格。所有零件全部通过了 X 光探伤检验,而且一次探伤合格率在 80% 以上。

Page 14 焊缝大部分成形良好,但是还有一部分未熔合或者焊穿。产生原因:工件表面不平整或焊枪行走过程中有震动,导致电弧长度发生变化所引起的。解决方法:保证设备精度满足要求,夹紧工件时保证工件表面平整。另外,如果夹具的各个夹紧块的压紧程度相差很多,会使焊缝的各区段散热情况不一样,也会出现上述缺陷。

(5)夹杂,如图 6 所示。

这主要是由于工件表面有油污等杂质造成的,所以焊接时一定要保证工件表面洁净。另外,还要选择合适的钨极尺寸和尖端形状,准确控制钨极高度以防止夹钨。

4 结论

(1)薄板对接必须严格控制设备的精度以及工艺参数的匹配,特别是电流和焊接速度之间的搭配,其工艺参数的调整范围极小。

(2)焊接速度不同会影响焊接过程中的热传导,从而影响用于母材熔化的热量在总热量中所占的比例,并进一步影响焊接效果,所以在进行薄板焊接时一定要综合考虑各种因素,使各参数匹配适当。

剖开的一件小型高压容器表明:焊缝内表面大部分成形良好,无未焊透缺陷,但个别段的内加强高有超高现象,设计认可。

(3)因接缝处是卡扣式连接,所以焊缝两侧的错位量全部合格,无一超差。

(4)液压检验时焊缝处没有发生泄漏现象,抽检零件的爆破试验超过了设计要求。

4 结论

0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 半奥氏体沉淀硬化不锈钢小型压力容器的焊接质量表明,所确定的工艺流程和加工方案正确,焊接方法与措施切实可行,它解决了材料焊接性和容器结构焊接性的双重技术难题,其中变参数与合适的焊接夹具是解决小热容、薄壁、偏心、细直径高压容器的技术关键。现已进行了多个批次的生产,焊接质量稳定。

参考文献:

- [1] 《中国航空材料手册》编辑委员会.中国航空材料手册(第一卷)——结构钢、不锈钢[M].北京:中国标准出版社,2002.

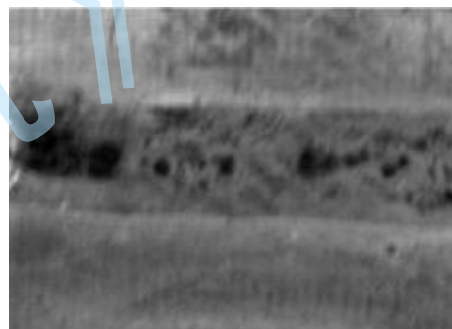


图 6 焊缝表面未清理干净产生夹杂

Fig.6 Inclusion for unclean surface

(3)要防止焊接缺陷的出现必须综合采取各种措施,控制各个影响因素,并严格控制焊接参数及焊接过程。

参考文献:

- [1] 陈孙艺,刘增典.0.5 mm 奥氏体不锈钢薄板对接焊的试验研究及应用[J].焊接技术,2002,31(6):46-47.
 [2] 殷树言,李西恭,王 军,等.熔化极气体保护焊发展中的问题和对策[J].电焊机,1997,27(6):1-4.
 [3] R Sommerfeld.Experience at Krupp Stahlbau Berlin, Germany[J].Welding in the World,1996,(2):340-343.
 [4] 王长生,薛小怀,楼松年,等.薄板焊接变形的影响因素及控制[J].焊接技术,2005,34(4):66-68.