

BGL 气化炉筒体修复工艺研究

王海瑞¹ 刘宏晋²

(1 神农科技集团 山西 太原 030024; 2 太原重型机械股份有限公司 山西 太原 030024)

摘要: 煤在气化过程中不但生产合成气,同时还生成副产品颗粒物和熔渣,这些颗粒物的大部分在高温下会猛烈地撞击到气化炉筒体内壁,加上筒体内壁在反应中受到的强烈腐蚀作用,导致筒体的寿命严重缩短。文章通过整理压力容器 BGL 气化炉服役过程的设备状态,经过 BGL 气化炉筒体修复工艺研究,最终精准、快速地修复受腐蚀的炉体,明确了修复 BGL 气化炉筒体的相关注意事项,通过这些举措大大提高了气化炉的使用寿命。希望此研究结果可以为 BGL 气化炉筒体修复提供有益借鉴。

关键词: 修复工艺; 焊接性; 镍基合金; 带极堆焊

0 引言

煤气化作为一种高效、洁净的煤转化技术日益受到重视,并成为洁净煤技术的龙头和关键。而气化炉作为该技术工业生产中的主要设备,承担着至关重要的作用。因此,如何精准、快速地修复受腐蚀的炉体,显得尤为重要。本次工艺研究是首次独立开发,依托某一大型煤气化设备维修改造项目,针对修复制造炉体时的关键工艺进行必要的试验研究,制定合理的工艺方案,从而使内筒体的修复制造能顺利完成,大大提高了气化炉的使用寿命。

1 BGL 气化炉筒体修复工艺研究主要内容

1.1 筒体修复工艺方案的制定

合理的工艺方案能够降低制造难度,减少制造周期,节约成本,为此制定了“筒体制造—四等分剖分—现场组焊”的工艺方案。

1.2 堆焊层化学成分稀释率的控制

筒体制造需在内壁进行镍基合金堆焊,高的稀释率不仅可以降低堆焊层的耐蚀性能,而且会导致堆焊层材料消耗量的增加,提高成本,所以需要控制化学成分的稀释率。

1.3 堆焊过程中筒体变形程度的控制

堆焊是一个热过程,大面积的内壁堆焊必然会引起筒体变形,如何尽可能地降低变形程度将对后续现场安装起到至关重要的作用。

2 国内外技术水平、对比情况

随着世界煤化工技术不断进步,煤化工装备制造业

发展迅猛。据初步统计,采用国内外先进大型洁净煤气化技术已投产和正在建设的装置有数百套,50%以上的煤气化装置已投产运行。鉴于国内引进技术的完善提高和关键设备的国产化,我国煤气化技术的现代化进程大大加快,到目前为止,我国已成为采用煤气化技术种类最多、应用最广泛的国家之一。

但是,针对煤气化设备修复方面的研究却相对较少,往往由于炉体工作环境的恶劣,造成设备炉体的腐蚀而不能继续使用,因此,研究设备炉体修复的关键性工艺和方法就显得尤为重要。

3 项目应用情况及效益预测

气化炉筒体修复工艺的研究和产品的生产,为现阶段煤气化设备的使用提供了新思路,使煤气化设备在使用中可以进行修复,从而大大节约了时间以及成本,为企业带来新的利润增长点,提高了企业的核心竞争力,同时此项工艺的实施也符合我国节能环保的生产理念。制定合理的工艺方案,能够降低制造难度,减少制造周期,节约成本。

4 具体工艺方案

对筒体内壁堆焊过程中的变形控制:通过堆焊位置的改变及工装控制,减少筒体制造过程中的变形,保证筒体直线度,方便后期现场安装。

由于 BGL 气化炉筒体表面需大面积堆焊镍基合金,而镍基合金材料最常用的堆焊技术有带极埋弧堆焊、带极电渣堆焊、熔化极气体(惰性)保护焊、热丝等离子堆焊和热丝 TIG 堆焊技术等。带极堆焊效率高,适合于大面积材料堆焊,其堆焊层的母材稀释率控制在

很低的水平,因此可大大提高镍基合金堆焊层的质量。

镍基合金是一种既具有高强度又有优异耐蚀性能的材料,在BGL气化炉中应用频繁,如同所有的镍基合金材料一样,镍基堆焊主要有热裂纹敏感性高、堆焊金属润湿性差等问题,结合镍基合金H625的焊接特点及焊接过程中的注意事项,采用带极埋弧焊方法,进行了焊接工艺试验,通过无损检测、堆焊层化学成分分析、弯曲试验、晶间腐蚀试验、显微组织及显微硬度检验,验证了焊接工艺的合理性,选出了最优的焊接工艺参数,并指导实际产品的内壁堆焊,获得了满意的效果。

气化炉炉体的筒体规格DN3840×32mm,材质为Q245R(正火),认真核对钢板的材质、规格、供货状态、材质标记等信息。钢板下料规格为:-32×1405-9594+压头200mm;-32×1405-3198+压头200mm。纵缝对口错边量≤3.0mm,直线度≤5.0mm;清理坡口内及两侧表面30mm范围内的氧化物、油污、熔渣及其他影响焊缝质量的有害杂质,筒体纵缝的装配点焊与焊接执行焊接工艺规范(表1),镍基合金对热裂纹比较敏感,因此,清洁干净的焊接待堆焊表面是保证堆焊层质量的重要前提。堆焊时要搭建隔离间,严格控制外来脏物,以限制硫、磷等杂质元素进入堆焊层。焊后清磨内外表面飞溅、焊渣等,余高磨至与母材平齐。

根据环缝坡口形式确定压弯方向,划出压头压制线;按图纸尺寸要求压制圆弧,并用长度≥640mm的样板检测压制弧度,间隙≤2.0mm。纵缝对口错边量≤3.0mm,直线度≤5.0mm;清理坡口内及两侧表面30mm范围内的氧化物、油污、熔渣及其他影响焊缝质量的有害杂质。筒体纵缝的装配点焊与焊接均应执行焊接作业指导书要求。清磨内外表面飞溅、焊渣等,余高磨至与母材平齐。划出实际压头切割线,割去压头余量,并割出对接坡口。卷制圆筒,并用长度≥640mm的样板检测卷制弧度,间隙≤2.0mm。对圈好的筒体分别进行编号1,2,3,...14(依圈圆顺序定);并在纵缝一侧标记0°标识、顺时针箭头与向上箭头,所有标识信息均采用钢印进行标识,并用油漆框出标识的区域。堆焊前的内壁应清除氧化物、油污、粉尘等不利于堆焊的杂质,清理后露出金属光泽。采用H625带极堆焊,焊带H625(60×0.5),焊剂SJ82B,堆焊一层,堆焊时从筒节中间开始断续堆焊,堆焊厚度不小于5mm,堆焊表面不平度≤1mm。堆焊合格后进行消应力热处理,严格控制热处理温度和时间。对堆焊层进行100%UT-I级检测,并对堆焊表面进行100%PT-I检测,符合NB/T 47013-2015要求。探伤合格后,清

磨堆焊层表面污物等。以4条四等分线为切割线,把每件筒体加工剖分为4块弧板,剖分后要求4块组成的圆 ϕ (3840±3)mm,任意反向圆度偏差±3mm,直线度偏差±3mm;剖分前要采取措施防止剖分后弧段变形。每块弧板再加工出纵向坡口,并打磨光滑。经检验合格后入半成品库,待发运。

5 焊接过程控制要求

5.1 焊前准备

清理堆焊区及周围30mm范围,去除氧化皮、油污及灰尘等,呈现出金属光泽;调试焊机,预设规范参数,准备好焊材、面罩等。

5.2 施焊

施焊开始,焊带前后均撒上焊剂,焊接过程中只在焊带前方铺撒焊剂;堆焊工艺规范对堆焊层质量的影响是非常明显的,带极埋弧堆焊采用直流反接,堆焊电流参数选择850~950A,堆焊电流增加会使堆焊厚度和熔深都增加,但总的来说稀释率是略有下降的。电流过大影响焊接稳定性。带极埋弧堆焊的焊接电压通常在26~27V之间,焊接速度是与焊接电流相关联的。两者共同影响堆焊层的厚度和稀释率。提高焊接速度将使堆焊焊道厚度减小、熔深增加,从而使稀释率增加。带极堆焊的焊接电压焊道搭接量为6~10mm;焊道搭接方位对堆焊层表面的平整度影响是明显的。搭接宽度与堆焊厚度和侧面坡度相关联。当堆道较厚、侧面坡度较陡时,所需的搭接宽度就较小。如果堆焊厚度为4~5mm,那搭接量为6~10mm。每一道堆焊层的厚度视不同的参数可在较大的范围内变动,但每层厚度一般不宜超过5mm,除非对焊道边缘进行打磨,否则道间产生夹渣的几率将快速增长而不可避免。焊后表面不平度≤1mm。带极堆焊无法到达的部分,采用镍基焊条堆焊。

焊接过程要严格按照预焊接工艺规程的要求进行堆焊,并做好焊接记录,绘制实际焊道布置图。焊道表面必须是连续的,厚度要均匀,并与邻近焊道表面平滑过渡。堆焊过渡层时,道间温度不得低于150℃且不得高于200℃;采用火焰加热方式预热,当堆焊厚度超过6mm时,可不再进行预热。在焊接过程中,检验人员对每一道焊缝金属在清渣后进行目视检验,如果目视检验中发现有裂纹,应停止施焊,并查明原因。如果目视检验中发现有表面气孔、焊瘤、夹渣、厚度不均匀等缺陷,则应采用打磨或其他不构成污染的方法清除。堆焊完过渡层或面层后,用核级专用铝基无铁

砂轮打磨堆焊表面，满足无损检测要求。当消应力热处理完成后，对堆焊表面进行 100%VT 和 100%PT 检测，对结合面进行 100%UT 检测。按照 ASME 第 V 卷进行检测，其中 VT 检测的验收应保证焊缝表面不存在裂纹、密集气孔、夹杂物、塌陷、咬边、缩沟、局部隆起等缺陷。每焊完一道后，要进行清渣处理，建议采用不锈钢钢丝刷进行清理，不得采用扫把等可能产生杂质的工具；必要的时候可以采用砂轮打磨。堆焊完毕后，应对堆焊表面进行清理，除掉粘附在堆焊表面及其附近表面上的所有飞溅、焊渣、氧化皮等物质。

5.3 外观检测

检验人员应对筒体堆焊表面进行外观和尺寸检验，外观检验包括全部堆焊表面及其周边区域，检验结果应保证堆焊区域表面不得有裂纹、弧坑、焊瘤、咬边、未熔、表面夹渣、表面气孔等缺陷。堆焊表面应平整光洁、焊道搭接熔合良好、外形尺寸应符合要求。无损检测在焊接完毕后至少 24h 进行。

焊接结束后，应对堆焊进行目视检测。目视检测的验收应保证完工的堆焊表面不存在裂纹、密集气孔、夹杂物、塌陷、咬边、缩沟、局部隆起等缺陷。

5.4 液体渗透检测

焊接结束后，应对堆焊表面进行液体渗透检测。

5.5 焊后热处理

堆焊完毕且检验、检测合格后应进行焊后消应力热处理。

焊后热处理时，应严格控制热处理过程中各参数的变化，试板焊后热处理升降温过程中，最高与最低温差不超过 50℃，保温期间，最高与最低温差不超过 40℃，本次试验应采用经检定合格的Ⅲ级电加热炉进行焊后热处理。

5.6 热处理后无损检测

热处理后，应对堆焊层进行目视检测。目视检测的验收应保证堆焊表面不存在裂纹等缺陷。热处理后，应对堆焊表面进行液体渗透检测。

5.7 超声检测

焊接结束后，应对基层热影响区、结合面及堆焊层进行超声检测。按照 NB-5330 进行验收。

5.8 热电偶数量及布置

试件装炉后，应将热电偶点焊在堆焊试件的背面或将铠装热电偶绑在工件背面的指定位置；每一工件采用两支热电偶，固定在堆焊试件的背面中部。热处理记录应包括热处理操作记录、时间 - 温度自动记录曲线；热处理结束后，应出具热处理检验报告；热处理结束后，应对焊缝及试板表面进行打磨除锈，以符合无损探伤的要求。

6 焊接工艺特性

(1) 焊接方法及母材的坡口形式。焊接方法：SAW。焊接位置：平焊。母材的坡口 X 形对称坡口，坡口角度 40° ± 5°。

(2) 焊接材料的选择。根据焊接性能及设备的工作特点，保证设备在强烈腐蚀下长期安全地运行，选用哈尔滨威尔焊接有限责任公司生产的 H625 (φ 0.5X60) 镍基焊带 (表 2)，ENiCrMo-3 (φ 4.0) 镍基焊条 (表 3) 和 SJ82B 焊剂。母材、焊条和焊丝化学成分分别详见表 1、表 2、表 3 所示。焊接工艺参数详见表 4。

(3) 焊接后立即进行消应力处理，温度为 600 ~ 640℃，时间为 2h。然后按照 NB/T 47013 对焊缝进行 100%RT 检测，I 级合格。

(4) 焊后热处理。具体焊后热处理工艺曲线如图所示。

(5) 力学性能检测所依据的标准有：NB/T 47014、

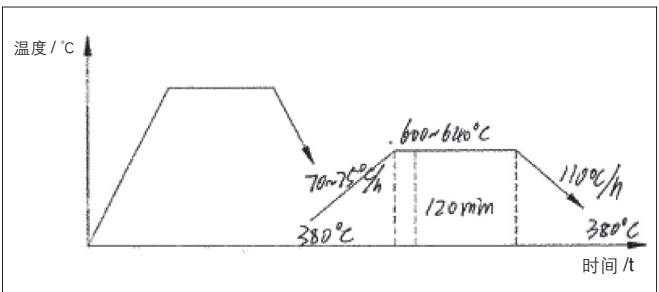


图 热处理工艺曲线

表 1 Q245R 钢的化学成分 (质量分数) /%

化学成分	C	Si	Mn	P	S	V	Ti	Cu	Ni	Cr	Mo
标准要求	≤ 0.15	≤ 0.21	≤ 0.73	≤ 0.014	≤ 0.005	≤ 0.002	≤ 0.001	≤ 0.007	≤ 0.004	≤ 0.015	≤ 0.001
实测结果	0.09	0.2	0.7	0.012	0.003	0.0018	0.007	0.006	0.003	0.014	0.0009

表 2 焊条 ENiCrMo-3 (φ 4.0) 化学成分 (质量分数) /%

化学成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe	Nb+Ta	Cu	其他
标准要求	≤ 0.10	≤ 0.75	≤ 1.00	≤ 0.03	≤ 0.02	≥ 55	20.00 ~ 23.00	8.00 ~ 10.00	≤ 7.00	3.15 ~ 4.15	≤ 0.50	≤ 0.50
实测结果	0.039	0.50	0.59	0.004	0.008	61.43	21.22	8.12	4.25	3.66	0.08	0.08

表 3 焊带 H625 ($\phi 0.5\times 60$) 化学成分 (质量分数) / %

化学成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe	Nb+Ta	Cu	Ti	Al
标准要求	≤ 0.10	≤ 0.50	≤ 0.50	≤ 0.02	≤ 0.15	≥ 58	20.00 ~ 23.00	8.00 ~ 0.00	≤ 5.0	3.15 ~ 4.15	≤ 0.50	≤ 0.40	≤ 0.40
实测结果	0.015	0.11	0.03	0.001	0.002	63.72	22.65	8.75	4.25	3.66	0.04	0.22	0.24

表 4 焊接工艺具体参数

焊道 / 焊层	焊接方法	焊材牌号及直径		焊接电流		电弧电压 / V	焊接速度 / (cm/min)	线能量 / (kJ/cm)
				极性种类	电流 / A			
1	SMAW	AT-ENi625	$\phi 4.0$	DC EP	130 ~ 150	24 ~ 28	19 ~ 26	≤ 13.3
2	ESW	H625/SJ82B	0.5×60	DC EP	850 ~ 950	26 ~ 27	12 ~ 13	≤ 128
3-30	ESW	H625	0.5×60	DC EP	830 ~ 870	26 ~ 28	17 ~ 20	≤ 74.2

表 5 尺寸检查记录

工作令号	03117004					名称		1#筒体				
图号	R50.386.01					材质		Q245R+堆焊				
检查项目	直径		直线度		高度		表面平整度		样板检查间隙			
									1A-1B	1B-1C	1C-1D	1D-1A
要求值	Φ3840±3		≤10		1400±5		≤1		≤2			
实测值	Φ3838		≤4		1395		1		2	1	1	1
结论	合格		合格		合格		合格		合格			
检查项目	圆周方向未堆焊尺寸								高度方向堆焊尺寸			
	1A-1B		1B-1C		1C-1D		1D-1A		1A-1B	1B-1C	1C-1D	1D-1A
	1A	1B	1B	1C	1C	1D	1D	1A				
实测值	85	75	80	75	80	60	83	73	1208	1200	1205	1205
检查项目	上端外圆周长：12262，下端外圆周长：12258											

GB/T 228、GB/T 229、GB/T 2653。使用的设备型号及名称分别为：WE-1000 万能试验机、JB-300B 冲击试验机、SBW-600 弯曲试验机。经过一系列热处理之后的尺寸检查记录符合要求，详见表 5 所示，同时符合业主技术要求值。

7 结语

通过分析 Q245R 钢的焊接性及焊接工艺试验，埋弧焊的焊接参数，电流值应控制在 850 ~ 950A，电压 24 ~ 28V，速度 12 ~ 20cm/min，电流要比焊接其他钢种时低一些，电压高一些，速度慢一些，并严格控制层间温度，这样使焊缝不要过厚尽量摊开，每道焊缝对上一道焊缝的热处理效果更好，以改善其性能值。

焊条电弧焊的过程中，焊条尽量不要摆动，每层焊

缝能分道时尽量多分道，避免出现过宽过厚的焊缝。冲击值不合格可能还与试样加工过程中的取样位置有关，这一点有待于进一步验证。

总之，BGL 气化炉因为其使用环境较为特殊，筒体内部会受到强烈腐蚀，对于筒体修复有着较高的要求。本文结合实际情况提出的措施，希望可以为 BGL 气化炉筒体修复提供借鉴。

参考文献：

[1] 程孝福. 气化炉内夹套严重腐蚀分析与预防措施[J]. 石油化工设备技术, 2016, 37(02): 37-40.
[2] 王晓. 气化炉筒体破裂失效原因分析及安全评定[D]. 上海: 华东理工大学, 2013.