

加压气化炉内壁堆焊技术研究

马小兵 安天佑 王晏 秦文海

(新疆兰石重装能源工程有限公司, 新疆哈密 839000)

摘要: 碎煤加压气化炉在工业生产中占据重要地位, 然而其内壁腐蚀问题严重威胁设备安全运行。本文深入剖析气化炉内壁腐蚀机理与原因, 对比多种堆焊材料与工艺的性能, 通过检测数据评估不同堆焊方案的可行性, 并针对现有腐蚀问题提出新焊接方法的选择思路, 为解决气化炉内壁腐蚀问题、优化堆焊技术提供理论与实践依据。

关键词: 加压气化炉; 内壁腐蚀; 堆焊材料; 堆焊工艺; 焊接方法

基金资助: 哈密高新区科学研究与技术开发计划项目“新型碎煤熔渣气化炉成套装备开发与应用”(编号HGX2024KJXM002)

Research on Surfacing Technology of Pressure Gasifier

Ma Xiaobing, An Tianyou, Wang Yan, Qin Wenhai

(Xinjiang Lanshi Heavy Energy Engineering Co., LTD., Hami 839000)

Abstract: Pulverized coal pressure gasifier plays an important role in industrial production, but its inner wall corrosion is a serious threat to the safe operation of the equipment. In this paper, the mechanism and causes of inner wall corrosion of gasifier are analyzed in depth, the performance of various surfacing materials and processes is compared, the feasibility of different surfacing schemes is evaluated through testing data, and the selection ideas of new welding methods are proposed to solve the existing corrosion problems, providing theoretical and practical basis for solving the inner wall corrosion problems of gasifier and optimizing the surfacing technology.

Keywords: pressure gasifier; inner wall corrosion; surfacing welding material; surfacing welding process; welding method

1 引言

碎煤加压气化技术凭借高效、环保等优势, 在现代煤化工产业中广泛应用^[1]。但气化炉在运行一段时间后, 内壁频繁出现腐蚀、磨蚀现象, 不仅增加设备维护成本, 还可能引发安全事故, 制约生产连续性与稳定性^[2]。表面堆焊技术作为应对气化炉内壁腐蚀的关键手段, 其材料与工艺选择至关重要。因此, 深入研究加压气化炉内壁堆焊技术意义重大。

2 气化炉内部腐蚀情况剖析

2.1 腐蚀机理

褐煤在碎煤加压气化过程中, 多种复杂腐蚀机理相互作用。首先, 褐煤中较高含量的Cl和F会引发高温卤化腐蚀, 煤中偏高的Na₂O、CaO、SO₃等成分进一步促进这一腐蚀过程^[3]。其次,

卤化-氧化腐蚀加剧了高温磨蚀腐蚀。此外, 褐煤中的某些组分腐蚀, 煤灰磨蚀也加剧了夹套减薄进程^[4]。

2.2 腐蚀原因

内夹套金属表面存在相对低温区域, 夹套锅炉水汽化吸热, 使夹套筒体向火侧表面温度降低, 在夹套金属壁与炉膛高温区间形成低温环向薄层, 为腐蚀创造条件。气化剂在炉内传送需克服多层物料阻力, 排渣不畅、炉篦布气孔与物料厚度不匹配时, 易导致气化剂分布不均, 在夹套内壁形成局部风洞和沟流现象, 造成温度场不均匀, 部分区域气化剂流量小、温度低, 低温薄层增厚, 气体流速滞缓^[5]。投料原煤若为高硫褐煤, 气化过程中会产生大量高浓度酸性成分, 如H₂S、HF、HCl气体及卤化物, 这些酸性物质分布在气化炉膛空间, 增加腐蚀风险。在气化炉运行时, 大量蒸汽参与反应, 未反应的水蒸气在炉

内扩散,在夹套内壁低温区形成高压冷凝水。当硫元素和卤族元素的混合酸性物质溶于水后,形成强腐蚀酸液。在气体流速滞缓的夹套金属表面,酸液停留形成强腐蚀酸根液膜,持续对金属表面进行置换反应,且气化剂吹拂使酸液不断更新,加速腐蚀。

2.3 现有堆焊层腐蚀问题及原因分析

2.3.1 腐蚀问题表现

堆焊层表面出现裂纹;卡块处堆焊层开裂、脱落、鼓包;腐蚀减薄严重,厚度差异大,最厚处3.99mm,最薄处仅2.75mm。

2.3.2 腐蚀原因深入探究

除了前文提到的褐煤中Cl⁻和F⁻引起的高温卤化腐蚀、卤化-氧化腐蚀加剧下的高温磨蚀腐蚀、煤灰磨蚀加剧夹套减薄进程外,高温高压氢环境下冷却速度的影响、反复加热冷却以及圆度等尺寸超差、堆焊层厚度等因素,都对堆焊层的腐蚀情况产生影响。

3 堆焊材料性能对比与选择

3.1 镍基合金

625合金具备卓越的耐腐蚀性,在氯化物介质中,抗点蚀、缝隙腐蚀、晶间腐蚀和侵蚀性能优异,对多种无机酸如硝酸、磷酸、硫酸、盐酸等有良好的耐受性,在氧化和还原环境中耐碱和有机酸腐蚀,还能有效抗氯离子还原性应力腐蚀开裂,在海水、工业气体及高温环境下几乎不腐蚀,焊接过程无敏感性,在静态或循环环境中抗碳化和氧化性强,耐含氯气体腐蚀^[6]。

3.2 奥氏体不锈钢

316不锈钢中,钼元素的添加提升了抗点蚀与抗热裂纹能力,较高的Ni含量增强了抗应力腐蚀能力,在氯化物环境中耐蚀性能突出。347型奥氏体耐热钢添加了稳定元素Nb,影响析出相形成,具备优良的耐高温、抗高温氧化和抗晶间腐蚀性能,抗氧化性能良好,在高达816℃时仍有较强的抗蠕变强度,抗烟气高温腐蚀和抗烟气-熔盐腐蚀能力较强。

3.3 超级完全奥氏体不锈钢

904L超级奥氏体不锈钢镍质量分数为24%-26%,碳质量分数小于0.02%,在非氧化性酸如硫酸、醋酸、甲酸、磷酸中耐蚀性极佳,抗缝隙腐蚀及抗应力腐蚀性能良好,适用于70℃以下各种浓度硫酸,在常压下对任何浓度、温度的醋酸及甲酸与醋酸的混酸耐腐蚀性好,抗氧化性能较高,能在高温环境下保持稳定。

4 堆焊工艺的优化与应用

4.1 堆焊工艺概述

气化装置内部腐蚀问题普遍,即便采用耐蚀性较好的镍基合金钢,运行一段时间后仍会出现腐蚀。因此,耐蚀层堆焊质量至关重要。气化装置内部耐蚀层可采用单层或多层堆焊,堆焊方法包括带极堆焊、焊条堆焊、热丝TIG堆焊、MAG焊、喷涂熔覆等,目前带极堆焊因效率高、成型质量好,适合大面积连续堆焊而被广泛应用,CMT熔覆堆焊热输入量低、变形小,在一些对变形要求高的场合有优势;焊条电弧焊操作灵活,但生产效率低,劳动强度大。

4.2 带极电渣堆焊优势

带极电渣堆焊熔敷效率高,在中等电流下表现突出;熔深浅且均匀,稀释率低,生产中可控制在10%,从第一层起就能获得超低碳的耐蚀堆焊层;通过附加磁场可控制焊缝成形,焊道形状规则,不易产生夹渣等缺陷,搭架熔合平滑,表面质量优良,表面不平度小于1mm;堆焊金属中杂质元素(O、S、P等)含量低,非金属夹杂物明显减少,力学性能优良。

4.3 不同堆焊方案检测结果分析

对多种堆焊方案展开检测,结果显示,镍基合金和超级奥氏体不锈钢均可满足技术要求。在堆焊层厚度控制与元素稀释率优化方面,双层堆焊相较单层堆焊优势明显。鉴于前期气化装置内镍基合金在运行一定周期后出现腐蚀问题,在气化装置的堆焊作业中,双层堆焊应为优先选择。

当采用单层309L+单层904L的堆焊方案时,为有效规避稀释率对堆焊层性能的不良影响,建议提高过渡层309L钢带的Ni元素含量,确保堆焊层具备充足的腐蚀余量。具体堆焊工艺详见表1.不同堆焊方案的检测结果详见表2。

4.4 稀释率影响因素分析

焊接过程中的稀释率是表征母材与熔敷金属混合程度的重要参数,其受多因素协同作用影响。通过实验分析与工艺验证,各因素对稀释率的作用规律总结如下(表3):

研究表明,极性及焊接方法对稀释率的调控幅度可达30%-50%,而焊接位置与保护介质的影响范围约为15%-25%。实际工艺优化需通过正交试验量化权重,优先控制极性匹配与焊接参数,辅以保护介质选择,实现稀释率的精准调控。

4.5 堆焊结果与耐腐蚀试验对比

对堆焊Inconel 625、904L、321三种堆焊方法进行对比分析,结合Inconel 625、904L、321

表1 不同堆焊工艺

堆焊材质	焊材	焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	焊接速度 (m/h)	预热道温 (°C)	后热 (°C)	热处理 (°C)
单堆625	H625 (60×0.5) +SJ82B	900-1100	24-28	9-13	80-250	250-300	620
双堆625	H625 (50×0.4) +SJ82B	720-780	24-28	9-13	80-250/15-100	250-300	620
单层309+双 层H625	H309L(50×0.4)+SJ304 H625 (50×0.4) +SJ82B	680-780 720-780	28-32 24-28	9.5 9-13	80-250/15-100	250-300	620
双层904L	H904L (60×0.5) +SJ385/ H904L (60×0.5) +S385	800-1000	28-30	9-13	80-250/15-100	250-300	620
单层309L+ 单层904L	H309L(50×0.4)+SJ304 H904L (60×0.5) +S385	680-780	28-32	9.5	80-250/15-100	250-300	620

表2 不同堆焊方案检测结果 (含量%)

堆焊材质	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	Fe
单堆625	0.021	0.53	0.15	0.005	0.004	20.48	61.14	8.92	0.03	3.2	4.72
双堆625	0.01	0.45	0.16	0.001	0.006	21.29	63.83	8.54	0.05	3.15	2.37
单层309+双层H625	0.019	0.51	0.06	0.007	0.008	20.77	62.81	8.11	0.002	2.91	4.38
双层904L	0.018	0.29	1.26	0.014	0.001	20.80	24.13	4.48	1.58	0.01	47.11
单层309L+单层904L	0.01	0.40	1.84	0.001	0.001	23.52	23.64	5.24	0.6	0.03	44.12

表3 各因素对稀释率的作用规律

影响因素	作用规律 (稀释率由低到高排序)	作用机理
极性	直流反接 < 交流焊接 < 直流正接	反接时阴极斑点集中于焊材, 减少母材熔化; 正接时阳极产热集中于母材, 熔深增大
焊接电流	电流增大, 稀释率升高	高电流增强电弧热输入, 熔深增加, 母材熔化量提升
焊材规格	规格增大, 稀释率升高	大规格焊材需更高热输入, 导致母材熔深扩大
焊接速度	速度提高, 稀释率升高	单位时间内热输入集中, 熔池停留时间缩短, 母材熔合比例增大
焊接位置	下坡焊 < 平焊 < 立焊	立焊时熔池重力作用显著, 母材熔融金属下淌, 稀释率升高
电弧保护	金属粒状焊剂 < CO ₂ < Ar < He	氦气热导率高, 电弧收缩效应强, 熔深显著增加
焊接方法	TIG < MIG < SMAW < SAW	埋弧焊高电流密度与熔渣覆盖效应协同增强熔深

等材料的耐腐蚀试验结果, 为新焊接方法的选择提供参考依据。在实际应用中, 应根据气化炉的具体工况、运行要求以及成本等因素, 综合选择合适的焊接方法与材料。

5 结论

碎煤加压气化炉内壁腐蚀是多种因素共同作用的结果, 堆焊技术是解决这一问题的有效手段。通过对堆焊材料和工艺的研究与对比, 镍基合金和超级奥氏体不锈钢在性能上表现出色, 双层堆焊方案在保证腐蚀余量方面更具优势。针对现有堆焊层出现的腐蚀问题, 新焊接方法的选择需综合考虑多种因素。未来, 应进一步深入研究腐蚀机理, 研发更先进的堆焊材料和工艺, 提高气化炉内壁的耐腐蚀性, 确保气化装置的安全稳定运行, 推动煤化工产业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 李坤, 王海兵. 鲁奇加压气化炉高效环保型排渣系统的研究[J]. 天津化工, 2021, 35(04): 87-88.
- [2] 冯维军. 鲁奇加压气化炉的运行与技术改造[J]. 化学工程与装备, 2021, (07): 163-164. DOI:10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2021.07.079.
- [3] 孟祥清. 鲁奇加压气化炉夹套减薄腐蚀原因分析及应对措施[J]. 山东化工, 2021, 50(20): 131-132. DOI:10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2021.20.047.
- [4] 耿恒辉. 入炉煤质对航天炉运行影响的探讨[J]. 氮肥与合成气, 2024, 52(11): 1-3+11. DOI:10.19910/j.cnki.ISSN2096-3548.2024.11.001.
- [5] 胡晓锋. 碎煤加压气化炉优化改进小结[J]. 中氮肥, 2025, (01): 10-13+24. DOI:10.16612/j.cnki.issn1004-9932.2025.01.003.
- [6] 张福亭, 郭宁, 香承志, 等. 碎煤加压气化炉运行问题分析及优化改造[J]. 中氮肥, 2024, (04): 13-15. DOI:10.16612/j.cnki.issn1004-9932.2024.04.008.