

浅析冷轧罩式炉设备及常见故障

刘毅 薛鹏志 王海蕾 范建稼

(酒钢集团宏兴股份公司碳钢薄板厂 甘肃 嘉峪关 735100)

摘要: 在冷轧带钢生产工艺中,全氢式罩式退火炉是生产冷轧退火产品的必要设备,是能够提升带钢表面清洁状况的一种重要退火设备,在内罩内密封体积中以高纯氢气为媒介,通过风机产生强对流,炉内气氛温度高达750℃。氢气的还原性和密度较小、高效热传导性等特点,与炉台循环风机配合,炉内高温氢气具有高流动性和热传导性,避免退火钢卷退火过程出现过热、钢卷表面出现氧化色、退火后钢卷性能均匀、不出现晶界氧化现象,同时利用氢气的还原作用,增加钢卷表面清洁度,实现带钢力学性能的优化。

关键词: 罩式炉;退火;故障

1 退火工艺简介

1.1 退火目的

退火是将钢加热到适当的温度,经过保温后以适当的速度冷却,以降低硬度、改善组织、提高加工性能、消除内应力的一种热处理工艺。根据退火的加热温度和目的不同,退火方法可分为两种:一种为加热至Ac1以下消除轧钢件的内应力及降低内部硬度的球化退火;另一类是加热至Ac1或Ac3以上为了均匀成分和组织以及重结晶细化晶粒的完全退火、不完全退火、扩散退火。

冷轧带钢的退火可分初退火、中间退火和成品退火,酒钢碳钢冷轧产品采用的是成品退火。该退火属于晶粒再结晶退火,目的是将冷轧带钢加热至材料Ac1温度以上,通过再结晶使破碎和拉长的晶粒恢复成等轴状晶粒,达到恢复塑性、降低硬度、控制带钢材料性能的目的。再结晶退火的温度一般为650℃或稍高。

1.2 退火类型

目前,生产中冷轧带钢退火所采用的炉型有连续退火炉和罩式退火炉2种。二者各有千秋,选择时应根据产品大纲、市场定位、前期投资和运行成本等情况综合分析确定。

连续退火炉分为立式炉和卧式炉2种。

罩式退火炉按炉型分为单垛式罩式炉和多垛式罩式炉两种,按保护气体分类分为氢氢型罩式炉和全氢型罩式炉。罩式退火炉按冷却方式分为:

- (1) 传统的空冷;
- (2) 高效空冷,射流冷却;
- (3) 带有传统空冷系统的喷淋冷却;
- (4) 带有射流系统的喷淋冷却;
- (5) 带有传统空冷系统的分流冷却;
- (6) 带有射流系统的分流冷却。

2 退火设备简介

罩式退火炉设备由加热罩(内衬)、内罩(不锈钢)、炉台、冷却罩以及其他辅助气动、液压等部分组成,如图1所示。钢卷全程热处理都在内罩封闭空间中进行,在热处理过程的加热阶段,在内罩上扣上加热罩,当上一堆垛的钢卷加热过程结束时,厂房吊车会将加热罩移至另一个提前装好料并完成扣下内罩的炉台上(开始新的加热周期),在已移走加热罩的炉台的内罩上扣上冷却罩,冷却到出炉温度后,按照冷却罩→内罩顺序依次吊走,最终将出炉钢卷吊至终冷台上,通过终冷台大风量风机进行冷却至40~60℃。

3 常见故障分析

3.1 内罩结垢

在整个钢卷退火工艺过程中,退火完整流程为:装炉→点火→加热→保温→风冷→水冷→出炉。内罩在保温阶段工作温度在290~750℃之间,保温结束后风冷至380℃,水冷过程采用工业水直接喷淋至内罩外表面,快速冷却至160℃出炉。此过程会导致内罩外表面形成大量

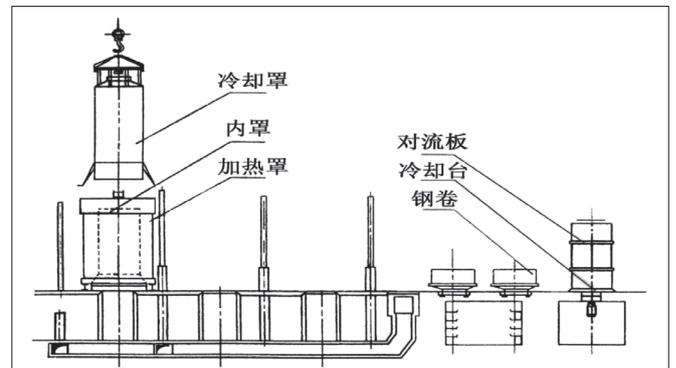


图1 罩式退火炉基本设备

CaCO₃ 水垢 (图 2)，影响后续退火的热传导效率，导致实际加热程序时长频繁超出原设定值 (0.2 ~ 0.6h)。采用高压纯净水定期冲刷内罩外壁水垢，提升了内罩的内传导效率，减少燃气消耗量，超时报警故障消除。

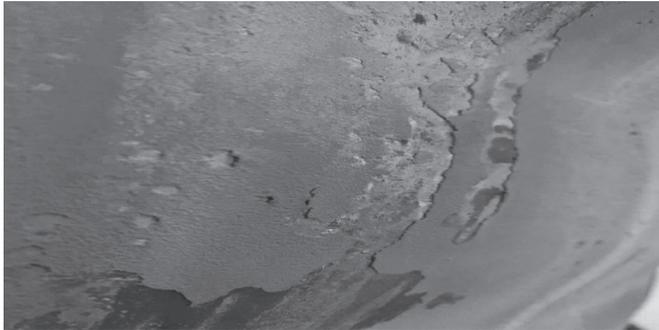


图 2 内罩外表面的 CaCO₃ 水垢

3.2 快速切断阀故障

罩式炉烧嘴点火系统原理如图 3 所示。电磁马达阀开口度在预调节完成后，电磁马达阀通电开启，快速切断阀开启，烧嘴点火，进入退火加热程序。出现故障时，快速切断阀无法正常启/闭，当快速切断阀无法正常关闭

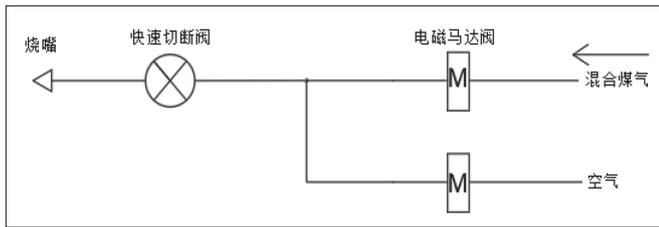


图 3 罩式炉烧嘴点火系统示意图

时，气体通过烧嘴泄漏到加热罩内部，在加热罩与内罩之间密闭空间中会充满煤气与空气的混合气体，在这种气氛下烧嘴点火会引起混合气体的闪爆，导致加热罩罩体崩开事故；当快速切断阀无法正常打开时，煤气与空气混合气体无法进入烧嘴，点火后无法正常燃烧，引起火焰检测系统报警，发生点火失败故障。

3.3 冷态检漏故障

罩式炉退火程序第一步为装炉，也就是将待退火带卷 (冷轧成品卷) 以立卷方式堆垛，然后扣入内罩完成液压锁紧后，向内罩内封闭区域充入氮气，进行冷态检漏测试，内罩内压自动调节到约 50mbar，并关闭所有的出口和入口阀门保持 45min。通过氮气的作用并关闭所有阀门，工作负荷空间压力增加。如果空间中在规定时间内压力损失低于规定值 10mbar，则认为工作负荷空间发生泄漏；否则操作界面将显示“工作负荷空间无泄漏”字样。

分析故障出现时冷态检漏测试曲线 (图 4)，在 2min 时间内，内罩封闭区域氮气压力逐步升高至 45mbar；在保压 15min 过程中，如大幅度偏离预定的 10mbar 合格范围，判断故障原因为：①管路自动阀门未关闭；②炉台法兰与内罩法兰之间的胶圈老化失去弹性。重新确认自动阀门关闭状态或更换炉台密封后，可解决该故障。

3.4 内罩焊缝劣化

传统罩式炉内罩常用材质为耐高温 309S 不锈钢，使用寿命一般为 5 ~ 8 年，内罩在生产过程中，频繁加热、冷却 (水冷)，内罩筒体长期受到热胀冷缩产生的交变应力作用，尤其是在内罩的环向和纵向焊缝处，频繁出现焊缝裂纹、变形、鼓包等变形缺陷 (图 5)，一旦出现焊缝缺陷，会导致内罩内部氢气泄漏或退火程序报警中止，严重的会发生爆炸事故。

常规修复方式为：清除缺陷部位焊肉→打磨抛光后修整坡口→氩弧焊打底堆焊→修整打磨。

随着新材料的不断研发，目前罩式退火炉多采用 310S 不锈钢，相比较 310S 有较高百分比的铬和镍含量，使得具有好得多的蠕变强度，能持续在高温下作业，具有良好的耐高温性。

3.5 电磁马达阀故障

在正常退火过程中，通过设定电磁马达阀的开口度来调节空燃比，即

$$\text{空气} : \text{混合煤气} = 2.4$$

在该空燃比下，才能保证正常燃烧。如图 6 所示，助燃空气流量值 865m³/h，燃气 (混合煤气) 流量值 357m³/h，在相同时间内空燃比为 2.4。当电磁马达阀开口度调节异常时，引起空燃比异常导致烧嘴无法正常燃烧时，即：空燃比 < 2.4，空气含量占比相对减少，氧气含量不足，会导致燃气燃烧不充分，不利于控制成本；空燃比 > 2.4，燃气含量占比相对减少，燃气不足，造成升温缓慢。

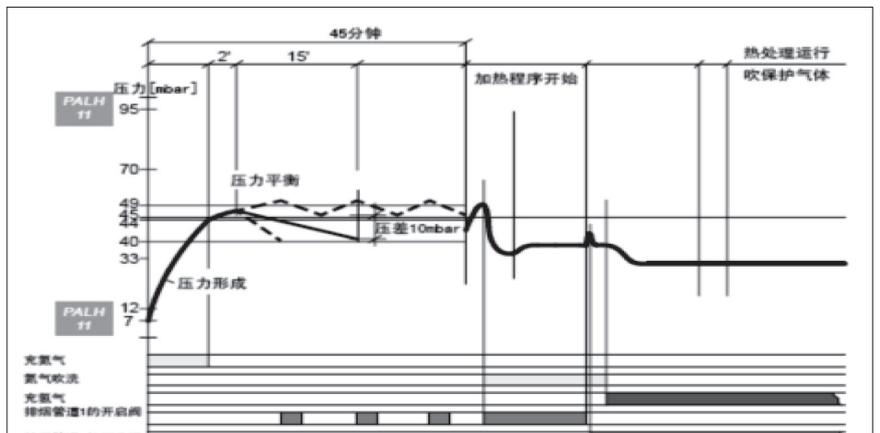


图 4 冷态检漏测试曲线



图5 焊缝开裂缺陷

4 结语

罩式炉设备在板带热处理工序应用十分广泛，主要应用于冷硬板带的热处理，既能满足冷硬板表面残余乳化液的分解温度，也可以通过全氢退火提升冷硬板的力学性能和表面清洁度。尤其是全氢式罩式炉得到广泛应用，在生产中具备以下优势：

(1) 产量高，采用100%的氢气作为保护气体，大煤气流量和高速烧嘴，变频风机强对流等原因，产量提高幅度较大；

(2) 无氧化现象，由于具备可靠的密封，工艺工程包含足够的吹洗时间以及先进的控制手段，所以，退火后的钢卷不会有氧化色；

(3) 带钢退火性能好，各卷性能均匀，避免粘结；

(4) 可获得满意的机械性能和表面光洁度，可塑的高压缩比值、高的加工硬化指数以及满意的机械性能；

(5) 能耗低；

(6) 全流程PLC控制，自动化程度很高，不需要人为干涉。

相对而言，全氢罩式退火炉也避免不了退火炉设备常见的缺陷和故障，除去文中列举的5类外，热罩耐材、内罩吊装环、液压油路、炉台密封、废氢排放、导向臂、炉台风机等也是生产过程中故障多发点，这样就要求设

备维保人员具备较高的维修技能。

液压方面：罩式炉管网复杂、接头较多，正常生产过程中高温区域，点检人员无法靠近，很难查出管路漏点。主要包含液压夹钳、炉台内罩泄漏、炉台系统泄漏等，维护人员应定期检查液压油路及内罩液压夹钳，及时发现泄漏隐患。

内罩方面：一旦内罩出现漏点，会对现场安全和生产连续性产生很大的影响，常规的内罩修复手段是在出炉之后进行清理→打坡口→修补焊接，补焊位置做好标记和记录；每年进行射线探伤，并建立探伤档案，对于反复补焊、开焊的内罩，经射线探伤后，确认无继续修复必要，建议报废处理。

在罩式炉退火过程中，各类故障是无法消除的，但可以尽可能地降低故障的发生率。当遇到故障发生时，不要盲目检查，通过对故障原因的分析、处理方法的总结和归纳，就可对紧急吹扫及时准确地做出判断。一旦形成良好的操作模式，就可以实现故障率的降低，比起动员众多设备、维护人员盲目检查有效得多。

参考文献：

[1] 伍勇瑞, 孟丽. 冷轧带全氢罩式退火设备优化与工艺研究 [N]. 世界金属导报, 2009.

[2] 李传静. 罩式退火炉信号稳定性分析 [J]. 硅谷, 2011(06):153.

[3] 郭绍辉. 全氢罩式炉控制系统分析研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.

[4] 夏玉波, 高金梅, 王建平, 等. 保护气体在罩式炉上的应用及注意要点 [J]. 应用能源技术, 2010(01):15-16.

[5] 黄文文. 全氢罩式炉料室空间流动特性研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.

[6] 王腊梅. 全氢罩式退火炉自动控制系统 [J]. 山西冶金, 2009, 32(03):31-33.

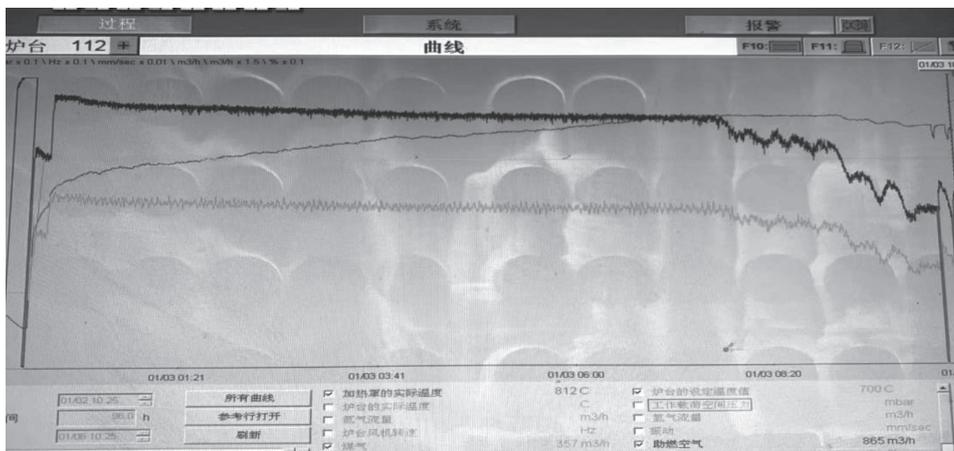


图6 空燃比

[7] 杨玉婧. TiO₂ 弥散强化 20 钢的组织与力学性能 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2010.

[8] 杨耀东. 包钢车轴用无缝钢管、汽车用冷轧薄板性能评价与机理研究 [D]. 北京: 北京科技大学, 2008.

[9] 乔健. 罩式退火炉紧急吹扫故障原因分析及处理方法 [J]. 中国机械, 2014(11):90.

[10] 许威, 滕云, 张春杰, 等. 全氢罩式退火机组主要设备问题及预防措施 [J]. 设备管理与维修, 2021(15):129-131.