

罩式退火炉黑斑缺陷分析及防范措施

赵 龙

河南安钢南方电磁新材料科技有限责任公司 河南 安阳 455000

摘 要:罩式退火炉是冷轧板材热处理的关键设备,黑斑缺陷是其生产中常见质量问题,主要分为氧化、油污、杂质三类,表现为板材表面不规则灰黑暗斑,会降低产品合格率、影响深加工性能并增加生产成本。本文从原料前处理、工艺参数、炉内氛围设备、操作管控四个维度,系统分析黑斑缺陷成因,结合生产实际提出针对性防范措施与工艺优化方案,可有效降低黑斑发生率,提升板材表面质量,为企业高效生产提供技术支撑。

关键词:罩式退火炉;黑斑缺陷;防范措施

引言:罩式退火炉凭借间歇式作业优势,广泛应用于冷轧板材退火处理,其处理质量直接决定板材表面光洁度与力学性能。但生产过程中,黑斑缺陷频繁出现,成为制约产品品质提升的关键瓶颈,不仅影响产品市场竞争力,还会造成人力、物力损耗。为解决这一问题,本文结合罩式退火炉工作原理与黑斑缺陷特征,深入剖析缺陷产生的核心原因,制定科学可行的防范与优化策略,对推动生产提质增效、降低损耗具有重要现实意义。

1 罩式退火炉及黑斑缺陷概述

1.1 罩式退火炉工作原理

(1)罩式退火炉设备结构与核心组成。罩式退火炉为间歇式热处理设备,主要由内罩、外罩、底座、加热系统、冷却系统、气路系统及温控装置组成。内罩密封隔离防板材氧化,外罩保温供热保障炉内温度均匀,温控与气路系统调控炉内温度、压力及气体氛围,维持稳定热处理环境。(2)退火工艺全流程与关键控制环节。工艺分为装炉、加热、保温、冷却、出炉五步,关键在于把控升温速率、保温时长、降温速度:升温过快易致板材变形,保温不足则内应力消除不彻底,冷却不均会引发性能偏差,需精准控参确保效果^[1]。(3)保护气体、温度、氛围对退火质量的影响。保护气体常用高纯氮气或氢氮混合气,用于防氧化、脱碳;温度过低无法达标,过高会使晶粒粗大、降低板材韧性;炉内需保持微正压,杜绝空气渗入,保障板材表面质量与力学性能稳定。

1.2 黑斑缺陷基本特征

(1)黑斑缺陷外观形态与分布规律。黑斑缺陷表现为板材表面出现大小不一、形状不规则的灰黑暗斑,边界模糊不清,无明显凹凸感。缺陷多分布在板材中部、边缘位置,成簇出现或零散分布,在光线照射下色差明显,肉眼可直观分辨。(2)黑斑缺陷分类与典型表现形式。按照成因主要分为氧化黑斑、油污黑斑、杂质黑斑

三类。氧化黑斑由炉内进气不足、氧气渗入导致,色泽偏深;油污黑斑是板材自带油污高温碳化形成,斑点偏暗沉;杂质黑斑则是炉内粉尘、碎屑附着所致,斑点边缘带有杂质痕迹。(3)黑斑缺陷检测与判定标准。常规采用目视检测配合灯光照射检查,严格按照产品外观质量标准判定。单个黑斑面积、单位面积黑斑数量超出限定值,或黑斑密集、无法通过后续处理清除,均判定为不合格品,杜绝流入下一道工序。

1.3 黑斑缺陷危害

(1)降低产品表面光洁度与外观合格率。黑斑会破坏板材表面均匀光洁的质感,让成品外观大打折扣,直接拉低产品外观合格率,不符合高品质板材的出厂要求,影响产品品相。(2)影响后续深加工与涂装性能。带有黑斑的板材,在冲压、折弯等深加工时,缺陷部位易出现开裂、起皱问题;涂装后黑斑会透底,导致涂层附着力下降、表面凹凸不平,无法满足精加工使用需求。(3)增加返修成本与生产损耗。缺陷板材需要返工打磨、重新热处理,耗费大量人力、物力和时间,严重时板材直接报废,加大生产损耗,提升整体生产成本,降低生产效益。

2 罩式退火炉黑斑缺陷成因分析

2.1 原料与前道工序因素

(1)来料表面清洁度不足,残油、残铁超标。钢带来料在生产、转运、存放过程中,极易沾染防锈油、润滑油以及粉尘、铁屑等杂质,若残油、残铁含量超出工艺限定值,进入退火炉后,会在高温环境下发生分解、碳化反应,紧紧附着在板材表面,形成难以清除的黑色斑点,这是诱发黑斑的源头因素之一。(2)酸洗、脱脂工艺不到位,杂质残留。酸洗是清除板材表面锈蚀的关键工序,脱脂则用于去除油污,若酸洗力度不够、酸液浓度偏低,或是脱脂液失效、清洗时间过短、冲洗不彻底,都无法完全清理表面油污、锈蚀物,这些残留杂质

会在退火高温下碳化,形成顽固黑斑,难以通过后续工序消除。(3)热轧来料氧化铁皮清理不彻底。热轧工序会让钢带表面生成一层氧化铁皮,若机械除鳞设备故障、除鳞力度不够,或是后续清水冲洗不到位,残留的氧化铁皮会伴随钢带进入退火炉,在高温还原氛围中发生反应,形成深色斑点,牢牢附着在板材表面,破坏表面光洁度。

2.2 退火工艺参数因素

(1)升温速率过快,油污挥发不充分。退火前期升温速度过快,板材表面残留的油污来不及充分挥发、分解,就被高温密闭在板材间隙中,无法顺利排出炉外,逐渐淤积、碳化,形成油性黑斑,缺陷多集中在板材贴合处。(2)退火温度过高,有机物碳化形成黑斑。炉温是退火核心参数,若温度超出工艺标准范围,高温会加速板材表面残留油污、有机物的碳化速度,使其变成致密坚硬的黑色附着物,不仅难以清理,还会深入板材表层,大幅提升返修难度。(3)保温时间不合理,杂质无法充分去除。保温阶段是分解杂质、稳定炉内氛围的关键环节,若保温时长过短,炉内保护气体无法充分吹扫残留污物,油污、杂质分解不彻底,最终聚集在板材表面,形成黑斑缺陷;时长过长则会降低生产效率,增加能耗^[2]。

2.3 炉内氛围与设备因素

(1)保护气体纯度不足,含氧量超标。罩式退火炉常用氢氮混合气体作为保护气,若气体纯度不够,内部混入过量氧气,高温环境下氧气会与钢带发生轻微氧化反应,生成氧化黑斑,直接破坏板材表面质量。(2)氢气吹扫流量、时间、压力设置不当。氢气具有还原、吹扫作用,能带走炉内油污蒸汽和杂质,若吹扫流量过小、时间过短、压力偏低,无法有效排出炉内污物,杂质会回流、附着在板材表面,诱发黑斑。(3)炉体密封不严,空气渗入导致氧化碳化。内罩、炉门、管道接口处密封件老化、破损,会导致炉外空气渗入,打破炉内微正压还原氛围,不仅会造成钢带氧化,还会加速油污碳化,引发大面积黑斑缺陷。

2.4 操作与管控因素

(1)装炉方式不合理,层间通风不畅。装炉时钢带码放过于密集、层间间隙不均,会阻碍炉内气体流通,油污蒸汽和杂质无法及时扩散排出,堆积在板材间隙处,形成局部黑斑。(2)炉内清洁不到位,粉尘、油污堆积。炉体内壁、底座、内罩表面长期不清理,残留的油污、粉尘、铁屑会在高温下挥发、飘落,附着在钢带表面,形成杂质类黑斑,影响成品质量。(3)工艺执行不规范,

参数管控不严。操作人员未严格遵照工艺规程操作,随意改动升温速度、炉温、吹扫时长等参数,或是巡检不到位,会打乱炉内稳定的热处理环境,大幅提高黑斑缺陷的产生概率。

3 罩式退火炉黑斑缺陷防范措施与工艺优化

3.1 原料与前处理工序管控

(1)严格来料质量检测,严控表面杂质含量。建立完善的来料验收制度,对每批次钢带进行表面清洁度检测,重点核查残油、残铁、粉尘等杂质含量,坚决拒收不合格来料。来料转运、存放期间做好防护,采用密封遮盖方式,杜绝二次沾染油污、铁屑和灰尘,从源头减少杂质带入,守住第一道质量关口。(2)优化酸洗、脱脂工艺,提升表面清洁度。根据板材材质、厚度调整酸洗参数,合理控制酸液浓度、温度和清洗时长,保证表面氧化铁皮、锈蚀彻底清除。定期更换脱脂液,检测脱脂液浓度和洁净度,增设多级冲洗工序,配合专用清洗设备,全面去除板材表面油污,清洗后及时烘干,防止水渍残留引发次生缺陷^[3]。(3)完善乳化液管控,减少油污残留。规范乳化液使用与管理流程,定期检测乳化液浓度、酸碱度、清洁度,配备专用过滤设备,及时过滤乳化液中的铁屑、油污杂质,防止乳化液变质、油污富集。合理调整乳化液喷射压力和流量,在满足润滑冷却需求的前提下,减少过量附着。钢带加工完成后,增设专项吹扫工序,用压缩空气全面清理表面残留乳化液,降低高温退火时碳化发黑的概率,从根源减少油性黑斑的产生。

3.2 退火工艺参数优化

(1)调整升温曲线,延长低温预热段时间。摒弃传统快速升温模式,采用分段阶梯式升温工艺,专门延长低温预热时段,将预热温度控制在油污挥发最佳区间,给予残留油污充足的挥发分解时间,让油污蒸汽顺利排出炉外,再匀速缓慢提升炉温。通过温和升温,避免高温将油污密闭在板材间隙中,防止淤积碳化,从工艺上阻断油性黑斑形成,同时避免升温过快导致板材变形、内应力不均。(2)合理设定退火温度与保温时长。结合板材规格、材质和性能要求,制定标准化温度与保温参数,严禁超温、超时作业。通过反复试验确定最佳退火温度,既保证内应力充分消除、板材性能达标,又避免高温加速有机物碳化。精准把控保温时长,让炉内气体充分循环,杂质彻底分解,兼顾生产效率与产品质量。(3)优化冷却工艺,避免二次污染。冷却阶段采用分段缓冷工艺,严格把控降温速率,防止炉内温差过大,导致杂质凝结附着在板材表面。冷却全程持续通入保护气体,维

持炉内微正压氛围,杜绝空气渗入引发氧化变色。出炉温度严格把控,待钢带降至安全温度后再出炉,避免高温板材接触外界空气发生氧化,同时防止外界粉尘、杂物粘附在表面,造成二次污染,保障退火后表面光洁完好^[4]。

3.3 炉内氛围与设备维护

(1) 提升保护气体纯度,严控氧含量。选用高纯度氮气、氢气作为保护气体,进气管道加装气体净化干燥装置,入炉前做好气体纯度检测,确保纯度达标。实时在线监测炉内氧含量,将氧含量严格控制在工艺限值以内,一旦超标,立即加大保护气体流量,快速置换炉内空气,维持还原氛围,杜绝氧气与钢带接触发生氧化反应,从氛围管控上消除氧化黑斑隐患。(2) 优化氢气吹扫工艺,强化杂质吹扫效果。氢气是还原吹扫的核心介质,合理调整氢气吹扫流量、压力和时长,在预热、保温全程保持足量稳定吹扫,加快炉内气体流通速度,及时带走油污蒸汽、粉尘等杂质。采用持续吹扫与间歇强化吹扫相结合的方式,重点针对板材间隙、炉内死角等易积污位置加强吹扫,彻底清除炉内残留污物,防止杂质回流附着板面,提升整体吹扫除杂效果。(3) 定期检修炉体密封,杜绝空气渗漏。建立常态化设备检修保养机制,每周全面检查内罩、炉门、管道接口、阀门等关键部位的密封件,及时更换老化、破损、开裂的密封圈、密封垫,杜绝密封失效。每月开展炉体密封性打压测试,排查漏点并及时修补,确保炉内始终保持微正压状态,严防外界空气渗入,维持稳定密闭的热处理环境,消除空气渗漏导致的氧化、碳化问题。

3.4 生产操作与全过程管理

(1) 规范装炉操作,保证炉内通风均匀。制定标准化装炉作业指导书,操作人员必须严格遵照流程执行,合理控制钢带码放高度与密度,保证卷与卷、层与层之间间隙均匀、排布整齐,预留充足的气体流通通道。严禁钢带倾斜、堆叠过紧、错位挤压,确保保护气体能够顺畅流经每一处板材表面,让油污蒸汽和杂质顺利扩散排出,避免局部通风不畅形成黑斑。(2) 定期清理炉内杂质,保持炉体洁净。制定炉体定期清理计划,每完成3-5

炉生产,就对炉体内壁、底座、内罩、加热元件、循环风机进行彻底清理,铲除堆积的油污、粉尘、铁屑和氧化残渣,清理完毕后用压缩空气全面吹扫,再烘干除湿。日常生产中,及时清理炉台周边杂物、废料,保持作业区域整洁,减少外界杂质带入炉内的风险,维持炉内干净卫生的生产环境^[5]。(3) 建立质量管控体系,落实工艺监督。健全全流程质量管控机制,将退火升温、保温、冷却、气体流量等各项工艺参数录入智能控制系统,实现自动化精准调控,杜绝人工随意修改参数。安排专人全程巡检,实时监控炉内温度、压力、气体流量等数据,做好详细生产记录,发现异常立即停机处理。实行岗位责任制,将质量责任落实到个人,定期开展工艺培训和操作考核,提升操作人员规范作业意识,形成全方位、常态化的缺陷防控体系,全面降低黑斑缺陷发生率。

结束语

罩式退火炉黑斑缺陷的产生是原料、工艺、设备、操作多因素协同作用的结果,防控工作需贯穿生产全流程。本文提出的管控措施与工艺优化方案,针对性解决各环节致因问题,可有效遏制黑斑缺陷产生。实际生产中,需严格落实各项措施,加强全流程质量监管,持续优化工艺参数、强化设备维护。后续可结合生产工况进一步完善方案,不断提升防控精准度,助力企业实现高质量、低成本生产目标。

参考文献

- [1]郑韩超,郝晓鹏,肖辉明,等.高温环形退火炉内罩压力控制研究[J].电工钢,2024,6(2):41-43.
- [2]王生东.罩式退火炉黑斑缺陷分析及防范措施[J].钢铁冶金,2023,12(4):96-99.
- [3]郑楚钊.罩式退火炉燃烧系统自动控制与节能降耗效果分析[J].文化科学,2024,(10):132-135.
- [4]王腊梅.全氢罩式退火炉自动控制系统研究[J].钢铁冶金,2021,10(2):65-67.
- [5]岳德斌.某钢厂连续退火炉燃烧状态的诊断及优化[J].电力系统及自动化,2023,5(7):83-86.