

锌铝镁产品表面缺陷分析与控制

邵彦生

新疆八一钢铁股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830022

摘要：锌铝镁镀层产品在生产与储运阶段易产生多种表面瑕疵，直接影响板材外观品质与使用性能。通过系统划分镀层形貌、表面异色、表层破损及界面附着四类缺陷形态，梳理不同缺陷的外观特征与分布规律，本文深入剖析原料材质、工艺参数、设备工况、生产环境对缺陷生成的作用机理，逐一明确各生产工序及储运环节的质量影响逻辑。从基材管控、工艺优化、设备运维、全流程防护四个维度制定改善举措，能够有效规避各类表面瑕疵的产生，持续提升锌铝镁产品的表面成型质量与整体稳定性。

关键词：锌铝镁镀层；表面缺陷；成型机理；工艺优化；质量管控

引言：锌铝镁合金镀层凭借优良的防腐性能与成型优势，广泛应用于各类钢结构与金属板材加工领域。产品表面成型状态是衡量成品质量的重要标准，复杂的热镀生产流程与外界环境干预，极易引发各类表面异常问题。镀层成型、设备运行、工序操作及后期存放等多重因素，都会诱发形貌紊乱、色泽不均、表层损伤等缺陷。明晰各类表面缺陷的形成特征与内在诱因，搭建完善的缺陷防控体系，对稳定锌铝镁产品生产质量、优化产品成型工艺具备重要的现实意义。

1 锌铝镁产品表面缺陷类型及特征

1.1 镀层形貌类缺陷

镀层形貌类缺陷是锌铝镁镀层成型阶段产生的外观形态异常问题。这类缺陷主要表现为镀层厚薄不均、板面起伏、表层纹路紊乱、局部镀层堆积以及漏镀等典型形态。不同形貌缺陷具备独立的外观识别特点，能够通过板面成型状态完成初步区分。各类缺陷的产生位置存在一定规律，部分缺陷沿板材延展方向持续分布，形成贯通性成型瑕疵^[1]。部分缺陷仅出现在板面局部区域，属于随机出现的成型问题。结合分布形态可以清晰划分连续性缺陷与局部偶发性缺陷的形态差异，为缺陷归类识别提供直观依据。

1.2 表面异色类缺陷

表面异色类缺陷指代锌铝镁板材表层出现的各类色泽异常问题，可根据外观表现完成系统归类。常见问题包含板面发灰、发暗、色泽分布不均、局部泛白、色泽斑驳以及明暗色差等现象。部分色泽问题覆盖板材整体板面，造成大范围的色泽偏差。部分色泽异常仅集中在小块区域，形成局部色差斑块。不同异色缺陷的呈现形态与分布状态存在明显区别，能够对应不同的表层成型状态与氧化程度，可依托外观表现区分各类色泽异常的

本质差异。

1.3 表面破损类缺陷

表面破损类缺陷属于锌铝镁产品表层出现的各类物理结构性损伤。主要涵盖板面划伤、表面压痕、边角磕碰、表层裂纹、起皮以及镀层剥落等损伤形式。各类破损缺陷拥有专属的外观形态与结构特征，损伤表现具备较高辨识度。生产加工过程的机械接触造成的损伤形态较为规整，外力磕碰、挤压造成的损伤形态更为杂乱。两种损伤来源形成的缺陷可以清晰区分，各类破损问题的出现位置与分布特点能够总结出稳定的呈现规律。

1.4 界面附着类缺陷

界面附着类缺陷产生于镀层基体结合界面与镀层表层，以附着状态异常为主要表现形式。具体包含板面异物附着、镀层内部夹杂、基体与镀层结合不良、表层黏附杂质、镀层附着不均匀等问题。外部杂质附着仅停留于镀层表面，可通过外观直接识别。镀层夹杂属于内部结构性瑕疵，隐蔽性更强。界面结合状态异常会改变表层整体平整性，引发一系列板面外观变化。各类附着问题拥有专属特征属性，可完成精准区分与类型判定。

2 锌铝镁产品表面缺陷成因机理分析

2.1 原料材质带来的诱发因素

基板是锌铝镁镀层成型的基础载体，自身材质状态会深刻影响成品表面质量。基板内部组织结构、板面洁净程度、整体平整度与晶粒排布状态，都会干预合金镀层的成型过程与附着效果。板面留存的杂质、氧化层以及微观凹凸瑕疵，都会在热镀加工过程中延续传递。基材物性存在差异时，镀层结晶速率、附着均匀度会出现偏差，逐步衍生各类外观瑕疵^[2]。材质层面的原始问题会逐层反映至镀层表层，构成各类形貌、附着类缺陷的核心诱因，能够清晰建立原料状态与表面缺陷的对应

关系。

2.2 生产工艺参数的影响机制

热镀生产全程的工艺条件决定镀层结晶成型的质量,参数波动会引发一系列表面质量问题。镀液组分构成、作业温度区间、生产线运行速度、基板浸润时长和凝固冷却节奏,都会直接干预镀层成型状态。工艺条件出现波动,会打乱合金熔体的结晶秩序,破坏镀层结构均匀性与表层完整性。不合理的参数控制会诱发镀层厚薄失衡、纹理紊乱、局部色差等问题,不同工艺维度的参数偏差,会对应催生不同类型的表面缺陷,形成固定的缺陷生成机理。

2.3 生产设备运行的干扰因素

各类生产设备的运行工况会直接干预板材加工过程,间接改变成品表面状态。传动设备、矫正设备、气刀设备、冷却设备与辊系设备的运行偏差,都会对板面成型与镀层修饰产生负面作用。设备运行稳定性下降、部件出现磨损老化、作业精度出现偏移,都会打乱板材输送与镀层修整节奏。设备运行节奏失衡会造成板面机械损伤、镀层涂布不均、表层纹理错乱等问题,各类设备异常状态均可通过成型机理转化为可观测的表面缺陷。

2.4 生产环境的作用机理

生产车间的环境条件会参与镀层成型全过程,间接影响锌铝镁产品的表层成型状态。生产空间悬浮的粉尘、金属微粒等杂质,会在高温镀层成型阶段附着于板面,固化后形成表层夹杂与异物附着缺陷。空气湿度过高会让水汽接触高温板面,触发表层氧化反应,造成板面发暗、泛白等色泽异常。环境温度的大幅波动,会改变板面自然冷却的速率,干扰镀层结晶稳定性,加剧表层色泽不均匀问题。空气中的微量腐蚀性介质,会与未完全凝固的镀层合金发生化学反应,破坏表层结构完整性,催生各类细微表面瑕疵,逐步形成可观测的成品表面缺陷。

3 锌铝镁产品表面缺陷生成影响因素研究

3.1 预处理工序对表面质量的影响

基板预处理是锌铝镁镀层成型前的关键准备流程,工序执行质量直接决定镀层结合状态与成型效果。脱脂环节负责清除板面留存的油污与有机杂质,处理不达标会让油性物质滞留基板表层。酸洗环节用于去除基板表面氧化皮与锈蚀层,清洗不充分会让硬质氧化物残留在板面结构缝隙中。水洗与活化工序承担残余药剂稀释、表层基底激活的作用,作业把控不足会造成板面药剂残留、基底活性失衡。预处理各环节出现作业疏漏或处理

程度不均匀,会破坏基板整体洁净状态。镀层金属熔体无法在板面形成均匀浸润结构,结晶成型会出现局部断层、附着不稳等问题^[3]。前期工序隐患会顺着热镀流程持续传递,最终在成品板面呈现出附着异常、局部色差、镀层不均等各类表面缺陷。

3.2 熔融镀制工序对表面质量的影响

熔融镀制是镀层成型的核心环节,各细分作业状态都会直接改变成品表面成型效果。基板浸入镀锅后的浸润状态,决定合金熔体与基板的结合均匀程度,板面浸润不充分会造成局部镀层缺失。镀液在板面的附着堆积状态,直接影响镀层基础厚度与成型轮廓,堆积状态失衡会衍生凸起、褶皱等形貌问题。镀层初步成型阶段的结晶速度受炉内环境影响,结晶节奏紊乱会打乱表层纹理排布规律。气流抹平作业负责修整镀层厚度与表面平整度,气流控制不稳会造成板面厚薄差异过大。镀层初始凝固阶段的结构稳定性,决定表层整体完整性。镀制工序出现的各类状态偏差,都会直接转化为板面形貌瑕疵、色泽异常与结构缺陷,是成品表面问题的核心来源。

3.3 后处理工序对表面质量的影响

后处理工序完成镀层定型与板面修整工作,对成品最终表面状态具备关键调控作用。冷却固化过程决定镀层最终结晶结构与表层质感,冷却速率不稳定会造成结晶疏密差异,诱发板面色泽深浅不一的问题。钝化处理可以稳定镀层表层结构,作业范围不均、药剂涂抹失衡会造成局部防护效果不足,形成区域性色泽偏差。平整矫直作业修正板材成型形变,矫正力度把控不当会留存板面细微凹凸或机械损伤。表面清洁工序去除板面残留杂质与药剂残留,清洁不到位会让微量物质固结表层形成污斑。工序衔接节奏混乱、作业标准执行不到位,都会破坏板面平整性与表层完整性,衍生各类后期表面质量缺陷。

3.4 储运过程对表面质量的影响

锌铝镁成品下线后的仓储与转运作业,会持续影响板材表层状态,诱发后期表面质量问题。板材堆叠方式不合理,会让板面承受挤压作用力,产生凹陷、压痕等物理损伤。转运过程的板面摩擦、硬性接触,会划伤表层镀层结构,破坏表面完整性。仓储空间空气成分会持续作用于镀层表层,长时间暴露会引发缓慢氧化反应。环境湿气侵入镀层表层缝隙,会加速表层氧化变质,形成泛白、发暗等色泽变化。搬运作业的不规范操作会造成板材边角磕碰变形。各类储运环节的外部作用,会逐步改变成品原始表面状态,形成生产工序外的新型表面

缺陷。

4 锌铝镁产品表面缺陷防控与优化策略

4.1 基材源头质量管控策略

立足缺陷源头管控思维,针对基板材质性能、基材表面整体状态搭建针对性强的专项管控方案。生产前置阶段严格把控基板内部组织结构,保证板材材质结构均匀规整,杜绝结构参差问题。重点管控基板原始板面平整度与表层洁净状态,清理板面残留污渍、氧化杂质与异物隐患,消除基材自带的各类板面异常问题。细化完善基板进场前置筛查标准,细化外观、材质、结构的查验维度,精准识别板面隐性瑕疵与内部组织不均等质量问题。彻底筛除各项指标不达标的不合格基材,从原材料端切断材质问题引发表面缺陷的诱因^[4]。优质稳定的基材条件能够夯实生产基础,保障后续镀层均匀成型、稳定附着,为成品表面质量把控提供可靠前置保障。

4.2 工序工艺精准优化策略

覆盖预处理、热镀、后处理全部生产流程,开展全方位的工艺精细化优化升级工作。梳理各工序作业细节,制定统一规范的岗位作业标准,约束各环节操作行为。稳定镀液内部组分结构,把控生产作业温度区间、生产线运行速率、板材冷却节奏等核心工艺条件,减少工艺参数波动带来的生产干扰。规避参数波动引发的镀层结晶无序、成型厚度失衡、表层状态参差等各类质量问题。细化各工序交接阶段的作业要求,明确衔接流程中的操作细则,填补工序流转中容易出现的管控漏洞。依托工艺标准化与精细化调控模式,纠正生产作业中的各类偏差,全方位抑制生产阶段镀层表面缺陷的生成。

4.3 设备状态稳定管控策略

以维持设备作业精度、保障设备平稳运行为核心,搭建完整系统的设备运维管控体系。针对生产线辊系、气刀装置、传动系统、冷却设备、矫正设备等核心生产装置,制定完善的检修养护方案。定期开展设备养护与精度核验工作,维持设备稳定的作业性能。及时检测并校正设备运行产生的精度偏差,处理设备部件老化、零件磨损、机身抖动等常见故障问题。消除设备运行异常

带来的生产干扰,规避机械作业缺陷引发的板面划伤、镀层厚薄失衡、表层纹路杂乱等质量问题。依托稳定的设备运行状态,规范板材镀层成型与表层修整效果,筑牢产品表面质量的设备运行基础。

4.4 环境与储运防护管控策略

聚焦生产环境、成品储运两大后置管控板块,搭建覆盖生产后期与成品存放的全流程防护体系。落实生产车间环境规范化管理,稳定车间温湿度水平,提升车间空间洁净程度,减少悬浮杂质、空气湿气、极端温度对镀层成型的负面干扰。建立完善的成品防护管理体系,明确产品下线、现场转运、堆叠存放、入库仓储的全套作业规范。规避板材摩擦接触、硬性挤压产生的表层损伤,阻隔湿气侵蚀、空气氧化对镀层表层的破坏作用,减少后天性表面缺陷的产生^[5]。

结束语

锌铝镁产品表面缺陷类型多样,成型诱因贯穿原料加工、生产制造、成品储运的完整流程,各类缺陷的生成均具备对应的形成机理与影响条件。通过分类梳理不同表面缺陷的外观特征,厘清各环节要素对镀层成型质量的干扰逻辑,配套落实源头管控、工艺改良、设备维保及全维度防护等优化手段。多维度的管控措施可以有效补齐生产质量短板,减少各类表层瑕疵的出现,全面提升锌铝镁产品的表面完整性与成品质量稳定性。

参考文献

- [1]魏升辉,梅淑文,高小尧,等.锌铝镁产品表面缺陷分析与控制[J].山西冶金,2023,46(5):135-138.
- [2]刘一葳.锌铝镁产品表面缺陷分析及控制[J].大科技,2023(39):184-186.
- [3]宁培栋,张鑫志,李涛,等.锌铝镁表面腐蚀黑斑缺陷研究[J].甘肃冶金,2026,48(2):122-125.
- [4]苏世杰,寄海明,孙朝勇.热镀锌铝镁带钢表面密集辊印缺陷治理[J].冶金与材料,2024,44(7):130-132.
- [5]王浩,刘琦,刘大亮.锌铝镁镀层钢板表面雪花纹缺陷成因分析及控制措施[J].轧钢,2025,42(6):180-187.