

镀锌汽车外板点状缺陷分析及改进

王晓安¹ 葛强²

1. 鞍钢沈阳钢材加工配送有限公司 辽宁沈阳 110027

2. 沈阳首钢钢材加工配送有限公司 辽宁沈阳 110000

摘要: 本文针对镀锌汽车外板点状缺陷问题,通过生产流程追踪与缺陷样本分析,系统研究缺陷类型、成因及改进路径。研究将点状缺陷划分为四类,分别是异物夹杂型、镀层异常型、基材衍生型和后处理存储衍生型,把工艺参数监测跟微观特征观察结合起来,查明各类型缺陷的形成机制,异物夹杂源于杂质管控工作的不足,镀层异常跟工艺参数的波动相互关联,基材衍生跟源头质量管控缺失存在关联,后处理存储衍生受环境与防护措施影响。基于缺陷成因,提出全流程改进方案:优化预处理与镀锌环节杂质拦截,稳定镀层工艺参数,强化基材溯源检测,构建全流程质量管控体系。实践验证表明,该方案可有效降低点状缺陷发生率,提升镀锌汽车外板表面合格率,为汽车外板生产企业提供科学的缺陷管控思路,兼具技术可行性与经济价值。

关键词: 镀锌;汽车外板点状;缺陷;改进措施

引言

镀锌汽车外板作为汽车车身核心构件,兼具耐腐蚀性与外观装饰功能,其表面质量直接决定整车外观一致性与使用寿命,是汽车制造企业竞争力的关键指标之一。镀锌汽车外板生产之际,点状缺陷频繁冒出,此类缺陷会对板材表面的平整度与美观度造成破坏,说不定会降低镀层的防护性,引发局部腐蚀加速发展,拉高后期维修花费;筛选与返工缺陷也会引起生产效率降低,引起原材料与能源的浪费,拖慢企业规模化生产效益的步伐。尽管行业内已针对表面缺陷开展管控,但现有措施多集中于单一工艺环节,缺乏对缺陷成因的系统分析与全流程改进方案,难以从根源解决点状缺陷问题。在此背景下,系统梳理镀锌汽车外板点状缺陷的类型、形成机制,针对性设计覆盖“基材-生产-存储”全环节的改进措施,对提升板材表面质量、降低缺陷率、增强产品市场竞争力具有重要实践意义,也为行业同类缺陷管控提供参考依据。

一、生产工艺简介

镀锌汽车外板生产遵循连续化、精细化工艺流程,核心围绕基材预处理、镀锌成膜、后处理防护三大阶段展开,以保障板材的镀层结合力、耐腐蚀性与表面平整度。基材预处理阶段,采用冷轧钢板作为基材,首先借助脱脂工艺清除表面的轧制油、灰尘等杂物,防止油污

残留影响到后续镀层的附着;稍后进入酸洗作业,借助酸性溶液去除基材表面的氧化铁皮,同时对钢板表面做稍微的活化处理,为镀锌层均匀沉积创造洁净基底,预处理后需通过水洗与烘干,确保基材表面无酸碱残留且干燥。镀锌环节,预处理后的基材经退火炉加热至适宜温度,消除内部应力并提升基材韧性,随后快速进入锌锅进行热浸镀锌。锌锅内熔融锌液保持稳定的温度环境,基材在锌液中浸润一定时间,表面形成一层均匀的锌铁合金层与纯锌层复合镀层;出锌锅后,通过气刀装置向板材表面喷射高压气体,控制镀层厚度并去除表面多余锌液,确保镀层厚度均匀且符合汽车外板的使用要求。经过镀锌的板材先做钝化处理,在镀层表面形成一层细密的钝化膜,加大镀层的耐腐蚀本事,减缓后期使用阶段的氧化变色;部分产品会按照具体需求开展涂油处理,在钝化膜表面形成一层薄的油膜,进一步提升板材的抗划伤能力与存储防护效果,最终经冷却、矫直与表面检测后,形成合格的镀锌汽车外板成品。

二、镀锌汽车外板点状缺陷

1. 异物夹杂型点状缺陷

异物夹杂型点状缺陷是镀锌汽车外板生产中因各类外来杂质嵌入或附着镀层形成的表面问题,缺陷多呈离散分布,形态包括凸起状硬点、凹陷状斑点,部分伴随镀层局部剥离风险,其形成与预处理、镀锌及环境管控的疏漏直接相关。预处理阶段假如脱脂工艺未达标准,

若脱脂剂浓度偏低、清洗时长不足或者水温调节不当，基材表面轧制油、乳化液等油污没办法彻底去除，镀锌的时候，油污会在基材跟锌液之间形成隔离层，引起局部锌层无法正常累积，冷却后形成直径若干毫米的凹陷点状瑕疵；酸洗环节若酸洗液循环过滤系统失效，氧化铁皮碎屑、金属粉尘等杂质悬浮于酸液中，易附着在基材表面，后续镀锌时这些杂质被锌层包裹，形成凸起的硬质点状异物，且此类异物会破坏镀层连续性，降低局部耐腐蚀性。镀锌环节锌锅管理不当同样会引入杂质，如锌液表面浮渣未及时打捞，或锌锅加热元件损坏产生的金属颗粒混入锌液，会随基材浸润过程附着表面，形成不规则凸点；车间空气洁净度不足、操作人员衣物携带的纤维杂质掉落基材表面，也会在镀锌后形成细小的异色夹杂点，此类缺陷不仅影响板材外观，还可能在冲压成型时造成模具划伤，增加生产损耗。

2. 镀层异常型点状缺陷

镀层异常型点状缺陷主要由镀锌成膜过程与后处理工艺参数波动引发，缺陷特征表现为镀层表面点状露底、鼓包、色差，且多呈现区域性分布，与工艺参数异常区域高度吻合，其形成机制与锌层结晶状态、防护膜覆盖均匀性直接相关。镀锌环节气刀系统的异常现象是核心诱因，若气刀喷嘴出现磨损以及堵塞现象，会引起高压气流分布不合理，局部地段的锌液未被充分刮掉，生成镀层过厚的突起点状鼓包，鼓包内部较易因锌层冷却速度不一样产生内应力，后期使用时说不定会出现开裂；若气刀压力突然波动，会导致镀层厚度突变，薄镀层区域易出现点状露底，露底处基材直接暴露，易发生氧化锈蚀。锌锅温度控制偏差同样会引发缺陷，若锌锅局部温度过高，会加速锌铁反应生成过多锌铁合金层，导致镀层表面粗糙并出现点状凸起；若温度过低，锌液流动性下降，基材表面锌层结晶不均，形成微小的点状空缺。后处理钝化阶段工艺实施不当也会产生点状的缺陷，若钝化液浓度过低或是喷淋压力不足，会引起钝化膜覆盖不平整，局部位置出现无钝化膜的点状色彩偏差；若钝化液中混入金属离子或有机杂质，会在镀层表面形成异色点状沉淀，且这些点状区域耐蚀性显著下降，在盐雾测试中易优先出现锈蚀，直接影响汽车外板的使用寿命与外观稳定性。

3. 基材衍生型点状缺陷

基材衍生型点状缺陷是由冷轧基材本身的质量问题经镀锌工艺传递并显现的表面缺陷，缺陷位置与基材原

始瑕疵高度对应，形态多为点状凹坑、异色斑点或细微凸起，且具有“源头性”特征，后续工艺难以彻底消除。形成根源可追溯至基材生产、存储及运输全链条：于冷轧工序的进行阶段，若轧辊表面附着金属碎屑或者有微小的破损，会在基材表面留下周期性的点状烙印，该类烙印的直径一般在数毫米量级，深度可至微米的级别，镀锌时锌层在凹坑处聚集形成凸起斑点；连铸时若保护渣混入钢液，会形成复合夹杂物，轧制后夹杂物暴露于基材表面或脱落形成小孔洞，镀锌后会呈现与夹杂物尺寸匹配的异色点或露底凹坑。存储阶段若基材防护不当，潮湿环境会导致表面形成微小氧化斑，酸洗时若未能完全去除，镀锌后会形成黄褐色点状色差；运输过程中基材表面的细微划痕，经镀锌后会转化为线状分布的点状凹陷。此类缺陷不仅破坏外板外观一致性，还可能在冲压成型时成为应力集中点引发开裂，且露底或夹杂物区域易优先发生腐蚀，显著降低成品使用寿命。

4. 后处理与存储衍生型点状缺陷

后处理和存储衍生的点状缺陷是镀锌成品在最终加工及后续存放环节产生的表面问题，一般表现作白色斑点、褐色锈点或不一样颜色的印记，缺陷区域防护能力明显下降，且在存储周期变长后易出现扩散，该缺陷形成与后处理工艺管控存在的疏漏和存储环境的侵蚀直接关联。后处理阶段若水洗不彻底，钝化液、脱脂剂等化学残留会在镀层表面形成局部腐蚀环境，水分蒸发后残留物质凝结成白色点状斑，此类斑点多伴随镀层光泽暗淡；钝化工艺参数偏差（如浓度不足、温度失衡）会导致钝化膜覆盖不均，形成无膜保护的点状色差，而钝化液中混入的金属离子会沉淀为异色质点。涂油环节若油膜厚度不均或油液污染，会造成局部区域防护功能丧失，遇到水汽后引起点状锈蚀，存储阶段里，潮湿环境是主要起因，冷凝水跟空气中的污染物结合到一块，形成腐蚀微环境，凭借氧浓差腐蚀电池作用生成白锈，呈现出离散排列的白色粉末状小点，包装破损导致的灰尘、纤维附着，经挤压摩擦破坏钝化膜，形成异色印记。此类缺陷虽非生产核心工序所致，但直接影响外观判定与耐蚀性，还会增加质量追溯难度。

三、镀锌汽车外板点状改进措施

1. 异物夹杂型缺陷的改进措施

针对异物夹杂型点状缺陷，需从预处理与镀锌环节的杂质源头控制入手，构建全链条杂质拦截体系。在预处理阶段优化脱脂的工艺，利用自动化浓度监测系统实

时控制脱脂剂浓度，结合超声波清洗技术加强油污剥离效果，同时延长清洗时间且额外增设多道水洗工序，让基材表面不出现油污残留；酸洗阶段把过滤系统进行升级，往（向）酸洗液循环管路中添加高精度滤网，定期清理滤网并监测酸洗液浊度，避免氧化铁皮残渣悬浮附着；镀锌环节强化锌锅管理，在锌锅液面设置连续式浮渣打捞装置，同步在基材入锌锅处加装挡渣板，防止浮渣随锌液附着基材；优化生产环境洁净度，对镀锌车间进行封闭化改造，设置空气过滤系统减少空气中灰尘颗粒，同时规范操作人员着装，避免人为带入杂质。通过多环节协同管控，从源头减少杂质引入，降低异物夹杂型缺陷发生率。

2. 镀层异常型缺陷的改进措施

针对镀层异常型点状缺陷，需聚焦工艺参数稳定与设备状态管控，建立动态调节机制。镀锌环节对气刀控制系统实施升级，采用双闭环式压力调控装置，即时监测并补偿气刀压力的起伏，每隔一定时间拆解气刀喷嘴疏通清理，保证气体吹拭均匀一致；锌锅温度控制采用分区加热跟多点测温技术，避免出现局部过热或者冷却不平衡现象，优化基材入锌锅速度与浸锌时间，保障锌层结晶均匀；后处理阶段的钝化工艺引入智能喷淋系统，通过流量传感器与压力传感器实时监控钝化液喷淋状态，自动调节喷淋压力与浓度，定期更换钝化液并加装精密过滤装置，防止杂质混入；建立工艺参数追溯系统，记录各环节关键参数，当检测到参数偏离设定范围时自动报警并触发调整流程，通过工艺与设备的双重管控，提升镀层质量稳定性，减少异常型缺陷。

3. 基材衍生型缺陷的改进措施

针对基材衍生型点状缺陷，需强化基材质量溯源与预处理检测，从源头阻断缺陷传递。基材入厂阶段建立严格的质量验收标准，采用自动化外观检测设备对冷轧基材进行全表面扫描，识别点状凹坑、划痕、氧化斑等缺陷，不合格基材直接退回；存储阶段改善仓储环境，把基材存放在恒温恒湿的仓库里，采用防潮包装材料，还在仓库里面放置除湿设备，防止基材受潮后氧化；运输阶段规范防护办法，采用专门吊装工具装卸基材，运输车辆添装减震装置，于车厢内部铺上防刮擦缓冲垫，防止运输过程中产生新划痕；预处理阶段增设基材二次检测工序，在脱脂酸洗后通过强光检测台复查基材表面，

对仍存在微小缺陷的区域进行局部打磨处理，确保基材表面达标后再进入镀锌环节，从源头切断基材缺陷向成品传递的路径。

4. 全流程质量管控的强化措施

为系统性降低各类点状缺陷，需构建全流程质量管控体系，实现缺陷预防与动态改进。创建分层检测模式，在预处理结束后、镀锌结束后、后处理结束后分别设置在线检测节点，采取机器视觉跟人工再次审核结合的形式，实时识别点状缺陷，将位置、形态等信息予以记录；搭建可分析缺陷数据的平台，定期统计各种类型缺陷的发生比率、分布特点及形成根源，形成缺陷分析报告，为工艺优化提供数据支撑；强化人员技能培训，定期组织操作人员学习缺陷识别与工艺管控要点，考核合格后方可上岗，同时建立岗位责任制，明确各环节质量管控责任；推行持续改进机制，针对高频缺陷成立专项攻关小组，结合生产实践验证改进措施效果，不断优化工艺参数与管控流程，形成闭环管理，全面提升镀锌汽车外板表面质量。

结束语

本文通过系统分析镀锌汽车外板点状缺陷，明确四类核心缺陷的形成机制，有效解决传统单一环节管控难以根治缺陷的问题。研究证实，通过杂质全链条拦截、工艺参数动态调控、基材源头把关及全流程质量闭环管理，可显著降低点状缺陷发生率，提升板材表面质量与生产效率，为企业节约成本、增强产品竞争力提供支撑。

参考文献

- [1] 王彭涛, 蒋光锐, 刘李斌. 热镀锌汽车板亮点缺陷研究[J]. 热加工工艺, 2019, 48(08): 248-250.
- [2] 杨成志, 董蓓, 彭周, 等. 表面缺陷对预磷化电镀镀锌板磷化膜质量的影响[J]. 材料保护, 2018, 51(02): 9-13.
- [3] 秦兴祖, 沈健, 张雯. 汽车镀锌板表面缺陷的案例分析[J]. 北京汽车, 2022, (06): 28-31.
- [4] 李青. 冷轧镀锌板表面质量缺陷控制[J]. 冶金管理, 2021, (19): 65-66.
- [5] 王东戈, 刘东亚, 葛浩, 等. 镀锌汽车外板点状缺陷分析及改进[J]. 安徽冶金科技职业学院学报, 2025, 35(02): 1-3.