

# 热镀锌产品黑点缺陷形成原因分析及应对措施

张宝卫<sup>1</sup>, 李建国<sup>1</sup>, 魏 翔<sup>2</sup>, 李 伟<sup>1</sup>, 刘 强<sup>1</sup>

- (1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢冷轧板材厂, 内蒙古 包头 014010;  
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司薄板坯连铸连轧厂, 内蒙古 包头 014010)

**摘 要:** 文章主要研究了热镀锌产品黑点缺陷的产生原因, 并提出了相应的应对措施。从宏观上显示为黑点的缺陷, 通过微观分析和研究, 证明产生的原因主要为镀层表面的杂质即锌渣缺陷以及压痕造成的钢基裸露, 通过控制镀锌板面的锌渣数量以及修复塔顶辊并使用包布, 可以有效控制此类缺陷的数量。

**关键词:** 热镀锌; 黑点缺陷; 锌渣; 包布

中图分类号: TQ153.1

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2026)03-0005-05

## Cause Analysis and Countermeasures of Black Spot Defects on Hot - dip Galvanized Products

Zhang Baowei<sup>1</sup>, Li Jianguo<sup>1</sup>, Wei Xiang<sup>2</sup>, Li Wei<sup>1</sup>, Liu Qiang<sup>1</sup>

- (1. Cold Rolled Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd.,  
Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;  
2. CSP Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010,  
Inner Mongolia Autonomous Region, China)

**Abstract:** In this paper, the causes of black spot defects on hot - dip galvanized products are mainly studied and corresponding countermeasures are put forward. It is proved that the main causes of macroscopic black spot defects are the impurities on coating surface, i. e. zinc dross defect and exposure of base steel caused by indentation through microscopic analysis and research. The amount of such defects could be effectively controlled by controlling the amount of zinc dross on galvanized plate surface, repairing top roll of cooling tower and wrapping it with cloth.

**Key words:** hot - dip galvanized; black spot defect; zinc dross; wrapping cloth

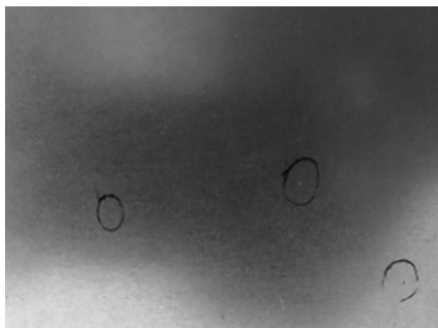
当前热镀锌产品已在各个领域得到应用, 主要目标用户为家用电器业、机电工业、汽车制造业等领域。随着竞争的加剧, 新的质量需求在逐渐提升(如高表面质量和轻量化), 对热镀锌产品的表面质量和成型性等方面也提出了越来越高的要求<sup>[1]</sup>。

镀锌产品表面的黑点缺陷是一种非常细微的缺陷, 在涂装之后表现为凸点、针孔等缺陷, 从而影响用户使用。为了解决镀锌黑点缺陷问题, 本文对家电用镀锌板黑点缺陷产生的原因进行了分类研究, 并提出防止出现该缺陷相应的对应措施。

## 1 宏观表现

镀锌钢带表面存在肉眼可见的黑点缺陷,缺陷

随机分布,其直径约 0.5 ~ 1 mm。在生产过程中可以发现,板带下表面的黑点缺陷数量明显多于上表面。缺陷宏观形貌见图 1。



(a) 一类黑点缺陷



(b) 二类黑点缺陷

图 1 黑点缺陷宏观形貌

## 2 取样及检测分析

### 2.1 取样位置与方法

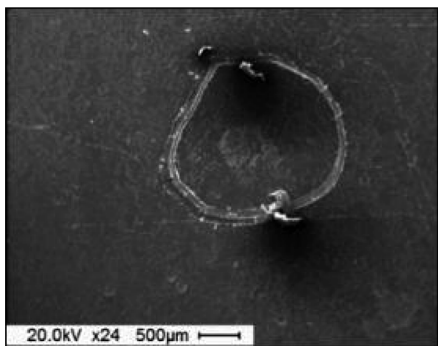
首先在镀锌钢带缺陷处切取试样,超声波清洗后,在缺陷处表面用扫描电镜进行观察与能谱分析,

然后沿试样缺陷处切取截面,镶样后进行缺陷处金相和扫描电镜观察。

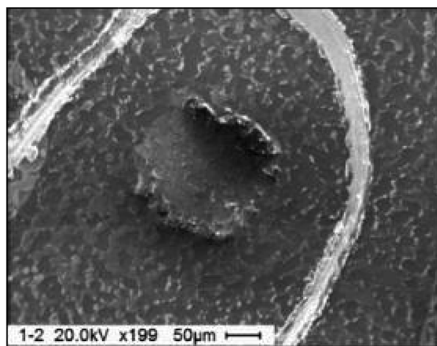
### 2.2 检测结果

#### 2.2.1 扫描电镜低倍照片

使用扫描电镜观察低倍微观形貌,见图 2。



(a) 一类黑点缺陷



(b) 二类黑点缺陷

图 2 黑点缺陷低倍形貌

从扫描电镜的低倍照片可以看出,二类缺陷存在明显的压痕。

#### 2.2.2 扫描电镜高倍照片及能谱分析

一类、二类黑点缺陷高倍照片及区域能谱分别见图 3 和图 4。

正常部位镀层表面致密且锌花规则,能谱显示主要为锌,含有少量铁和硅。由图 3 和图 4 可知,一

类黑点缺陷部位镀层表面锌花不规则,存在疏松区域,含有不同程度的夹杂物,能谱显示硅、铝和铁含量较高;二类黑点缺陷具有明显碾压特征,基体部分裸露,能谱显示铁含量较高。

#### 2.2.3 缺陷截面处金相照片

一类黑点缺陷和正常部位金相对比照片见图 5。

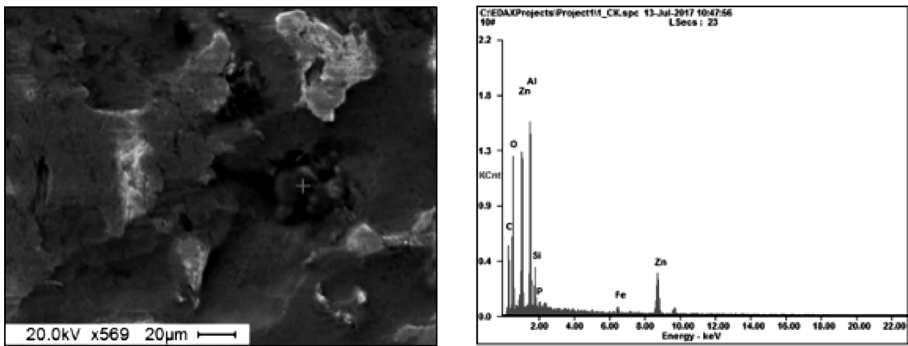


图 3 一类黑点缺陷高倍照片及区域能谱图

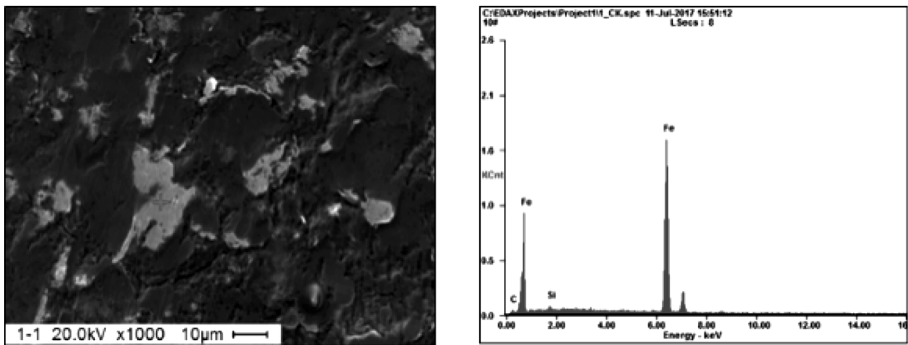


图 4 二类黑点缺陷高倍照片及区域能谱图

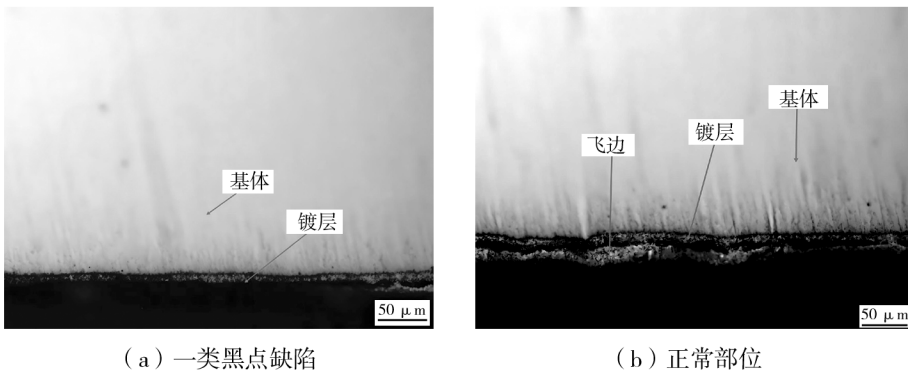


图 5 金相对比照片

由图 5 可见,黑点缺陷处基体与镀层结合致密平整,未见异常。

2.2.4 截面处扫描电镜照片及能谱分析

一类黑点缺陷部位镀层、过渡层高倍照片及能谱图见图 6 和图 7。

由图 6 和图 7 可知,镀层厚度约 5 μm,镀层以锌为主,含有少量的铁,同时在基体与镀层之间存在厚度为纳米级的含铝过渡层。

2.3 分析探讨

表面黑点缺陷主要分为两类,一类黑点缺陷处硅和铝含量较高,还有少量的铁,由此可以分析,主要成分为氧化锌和锌铁化合物组成的锌渣;二类黑点缺陷主要表现的压痕,基体裸露,铁含量较高。检出的硅主要来自于镀锌处理后生成了无铬钝化膜的硅烷树脂。

锌渣的来源主要为带钢上铁的溶解和锌液的表面氧化,锌渣的形成过程为原来在带钢表面的铁原子溶入锌液之中,锌锅锌液中的温度和浓度不均匀,

存在一定的温度和浓度波动。在铁的含量较高处、锌液温度较低处,首先形成锌渣并通过后续的铁锌反应体积迅速长大,当其直径超过一定的临界尺寸时,便成为永久的固体颗粒。

黑点缺陷的压痕最主要来自于冷却塔的塔顶辊,此时锌层在钢带表面刚刚凝固,温度仍有 280 ℃。如果塔顶辊表面存在凸起,就非常容易在锌层外造成压痕,形成二类黑点缺陷。

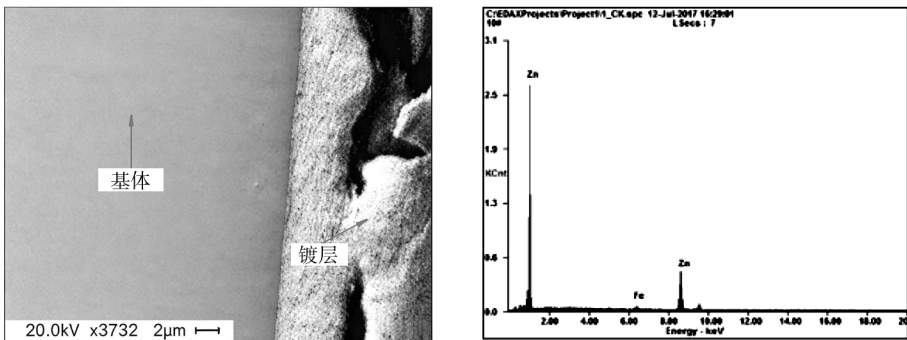


图 6 一类黑点缺陷部位镀层高倍照片及能谱图

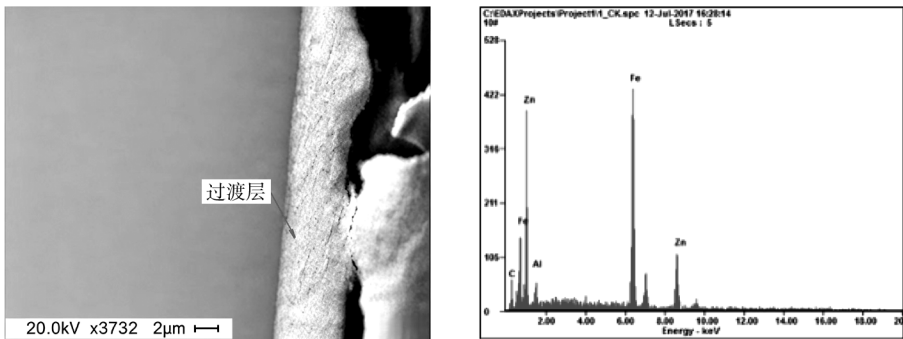


图 7 一类黑点缺陷部位过渡层高倍照片及能谱图

### 3 改进措施及效果

#### 3.1 一类缺陷

锌渣是由铁反应而成的,因此要严格控制锌液中的铁含量。既要避免带钢上的铁过度溶解进入锌液,也要避免已经溶解的铁形成多系的锌渣。

(1) 锌液中的铁的最大来源是带钢表面的铁粉,要最大限度地提高前处理的清理效果,彻底地清除带钢表面的油污、铁粉和灰尘。清洗后的板面反射率要达到 90% 以上。

(2) 要严格控制锌锅温度,不要超过 465 ℃,严禁超过 470 ℃。更重要的是,要将锌液温度的波动控制得越小越好。锌液温度波动范围控制在 455 ± 5 ℃。

(3) 要严格控制带钢的入锅温度。带钢进入锌锅的锌液之前,最近的温度检测高温计位于热张紧

辊的顶部,此处距离炉鼻子内部的锌液面仍有 15 m 的距离。考虑到不同厚度带钢的蓄热能力不同,根据不同带钢厚度,设定了相应的带钢入锌锅温度,如表 1。

表 1 不同规格带钢的入锌锅温度

| 带钢厚度 $d$<br>/mm       | 入锌锅温度<br>/℃ | 锌液温度<br>/℃ | 范围<br>/℃ |
|-----------------------|-------------|------------|----------|
| $0.3 \leq d \leq 0.5$ | 480         | 455        | ± 5      |
| $0.5 \leq d < 0.8$    | 470         | 455        | ± 5      |
| $0.8 \leq d < 1.2$    | 460         | 455        | ± 5      |
| $1.2 \leq d < 1.7$    | 455         | 455        | ± 5      |
| $1.7 \leq d < 2.1$    | 450         | 455        | ± 5      |
| $2.1 \leq d < 2.3$    | 445         | 455        | ± 5      |
| $2.3 \leq d \leq 2.5$ | 440         | 455        | ± 5      |

(4) 严格控制锌液含铝量,减小锌液中铝含量

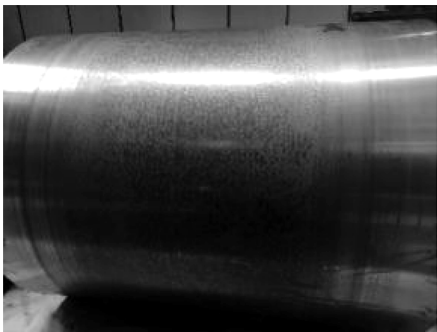
的波动。铝含量过低,会导致带钢表面溶入锌液中的铁增多,锌渣总数增多,也会产生底渣。铝含量过高,会降低铁在锌液中的溶解度,促进锌渣析出。同时铝本身也易氧化,形成浮渣。铝含量的波动也会促进锌渣的产生<sup>[2]</sup>。铝含量要严格控制在  $0.21\% \pm 0.05\%$ 。

(5)炉鼻子内部的锌灰和锌渣要及时排出。原有的锌灰泵结构为气动虹吸式,在使用过程中排渣效果差,排渣时锌液液面波动大。改造后为带有溢流槽的炉鼻子配合电动抽吸式锌灰泵,可以有效地减少炉鼻子内部锌灰和锌渣黏附在带钢表面的

现象。

3.2 二类缺陷

对于冷却塔塔顶辊的压痕造成的二类黑点缺陷,由于长时间在高温下与带钢表面摩擦,辊面状态较差的塔顶辊要及时进行更换。由于塔顶辊工作环境温度高,塔顶辊的压辊不能使用胶辊,而只能使用钢辊,在压辊关闭的状态下,容易造成辊面的损伤和粘锌。为了减少辊面对镀锌板面质量的影响,可以在塔顶辊外面包裹专用的包布,可以有效减少黑点缺陷。塔顶辊辊面损伤和包裹包布如图8所示。



(a) 辊面损伤情况



(b) 包裹包布后状态

图8 塔顶辊辊面损伤情况和包裹包布后的状态

3.3 改进后效果

通过上述措施,镀锌板表面的黑点缺陷得到了有效的控制,特别是厚规格带钢的下板面质量得到了显著提高。

4 结束语

通过对黑点缺陷的微观形貌和能谱分析,确定缺陷主要为锌渣在经过光整后产生的一类黑点缺陷和塔顶辊压痕产生的二类黑点缺陷。通过提高前处理的清洗质量,稳定锌液成分和锌液温度,严格控制锌锅中铁的溶解和析出,同时对炉鼻子锌灰泵进行改造,减少锌渣的形成,从而控制一类缺陷的数量。

通过更换塔顶辊和使用包布的方法,减少压痕造成的二类黑点缺陷,镀锌产品表面黑点缺陷得到明显改善。

参 考 文 献

[1] 王有禄, 颜飞. 高级别表面耐指纹家电板黑点缺陷分析[J]. 武钢技术, 2012, 50(1): 18-21.

[2] 卜二军, 薛向欣, 杨合. 邯钢冷轧厂热镀锌渣形成原因分析及控制措施[J]. 中国冶金, 2016, 26(4): 47-50.