

## 膜层技术

## 机械镀锌中超声功率对镀层耐腐蚀性能的影响

牛宗伟, 徐明玉, 李明哲

(山东理工大学 机械工程学院, 山东 淄博 255049)

**摘要:**目的 探究超声波功率对镀层耐腐蚀性的影响规律。方法 将超声波功率分为 50, 70, 90, 110 W 4 个等级, 利用湿法超声机械镀锌设备制备 4 种镀层。用多功能扫描电子显微镜观察镀锌层的微观表面形貌, 并分析镀锌层厚度, 测试镀锌层的耐腐蚀性能以及镀层与基体的附着强度。结果 功率为 50 W 时获得的镀层厚度最大, 表面质量、耐腐蚀性能最差; 功率为 110 W 时获得镀层表面质量、耐腐蚀性能最好。结论 随功率的增大, 镀层表面质量明显提高, 镀层耐腐蚀性有逐渐增加的趋势。

**关键词:** 超声波功率; 机械镀锌; 表面形貌; 耐腐蚀性

**中图分类号:** TQ153.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2015)01-0064-04

### Effect of Ultrasonic Power in Mechanical Galvanizing on the Corrosion Resistance of the Coating

NIU Zong-wei, XU Ming-yu, LI Ming-zhe

(School of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

**ABSTRACT:** **Objective** To explore the influencing law of the ultrasonic power on the corrosion resistance of the coating. **Methods** Under the four levels of ultrasonic power (50, 70, 90, 110 W), four kinds of mechanical zinc-coatings were prepared by Wet ultrasound mechanical galvanizing equipment. The surface topography of the coatings was observed and studied by SEM. The coatings thickness was measured, the corrosion resistance was determined and the bonding strength between the coating and the substrate was studied. **Results** When the ultrasonic power was 50 W, the corrosion resistance and surface quality of the zinc-coating were worse than those of others. While the corrosion resistance and surface quality of the zinc-coating were the best when the ultrasonic power was 110 W. **Conclusion** The surface quality of the coating was significantly improved and the corrosion resistance of the coating showed an increasing trend with increasing power.

**KEY WORDS:** ultrasonic power; mechanical plating; surface topography; corrosion resistance

机械镀锌一般在室温、常压下进行, 镀锌过程中 能耗低, 所添加的原料无毒, 对环境污染小, 是一种能

收稿日期: 2014-09-30; 修订日期: 2014-11-22

Received: 2014-09-30; Revised: 2014-11-22

基金项目: 国家自然科学基金(51005140); 山东省自然科学基金(ZR2010EQ037)

**Fund:** Supported by the National Natural Science Foundation of China (51005140) and the Provincial Natural Science Fund Subject of Shandong Province (ZR2010EQ037)

**作者简介:** 牛宗伟 (1976—), 男, 山东人, 博士, 副教授, 主要研究方向为表面技术与镀锌防腐。

**Biography:** NIU Zong-wei (1976—), Male, from Shandong, Ph. D., Associate Professor, Research focus: surface technology and zinc plating anti-corrosion.

够实现绿色加工的表面处理技术<sup>[1-3]</sup>。典型的机械镀锌工艺是将工件、水、化学药剂和冲击介质放入旋转的滚筒中,在化学药剂和机械碰撞的作用下形成镀层<sup>[4-9]</sup>。旋转滚筒为冲击介质提供动能,将金属粉末颗粒撞击到工件表面增加吸附力<sup>[10-11]</sup>,但滚筒式机械镀锌设备的传动系统较复杂,增大滚筒的转速会在转动过程中产生较大噪音,冲击介质的运动不易控制<sup>[12]</sup>。为此,李广敏等<sup>[12]</sup>提出了湿法超声机械镀锌工艺,并论证了该工艺可以替代滚筒式的机械镀锌设备,在较大工件表面施镀,镀层性能优异。本文研究超声波功率对镀锌层质量及耐腐蚀性能的影响规律,以期在满足防腐要求的同时,降低生产成本,推动环保型镀锌技术的发展。

1 实验

实验设备自行设计<sup>[13]</sup>,超声波功率可调,镀覆试样为 22 mm×10 mm×2 mm 的 Q235 钢垫片。锌粉为 800 目球形锌粉,机械镀锌促进剂为自行配制,玻璃珠尺寸为 40~80 目。本实验选择的超声功率为 50,70,90,110 W,对应的镀锌层试样分别为 1,2,3,4 号。

将工件除去油污和锈迹,与玻璃珠一起加入镀槽内,再加入适量的水,同时加入硫酸调整溶液的 pH 为 1.5~2.5。在镀槽内加入 1.0 g 锌粉、0.5 mL 沉积性活化剂,打开超声波发生器,施加超声振动,在工件基体表面形成 1~5 μm 厚的基层。在酸性溶液中加入由多种表面活性剂组成的活化液 1.2 mL,同时加入 3 mL 沉积性活化剂和 2 g 锌粉。根据需要的镀层厚度,每隔 3~5 min 加料一次。最后分离冲击介质将工件取出,烘干表面以待检测。

采用北京时代公司 TT260 涂层测厚仪测量镀锌层厚度,在试样表面随机选取 5 个点进行测量,取平均值。采用荷兰 FEI 公司 SIRION 场发射多功能扫描电子显微镜观察不同功率下镀层的微观表面形貌,分析镀层表面锌粉的聚集状态。

按照 GB/T 10125—1997 要求进行中性盐雾腐蚀实验,以垫片 5% 面积出现白锈、红锈的时间为实验结果。

按照 QB/T 3821—1999,用硬质合金划刀呈 30° 锐角施以足够的压力,划出边长为 1 mm 的正方形格子,以测试镀层的结合强度。

2 结果与分析

2.1 锌粉的形貌

实验所用锌粉为市售 800 目锌粉,表面形貌如图 1 所示。锌粉的形状多为规则的球形,其中少许锌粉颗粒形状不规则,部分表面存在微小的台阶和凹凸点等缺陷。

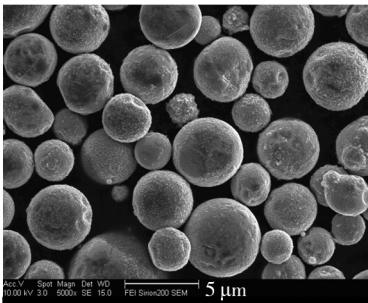


图 1 锌粉的 SEM 照片  
Fig. 1 SEM photo of zinc powder

实验所用锌粉的成分见表 1,锌含量较高,但仍掺有少量杂质。

表 1 锌粉化学组成  
Tab. 1 Chemical compositions of zinc powder

成分	全锌	金属锌	镉	铁	铅	酸不溶物
质量分数/%	≥99	≥96	≤0.1	≤0.05	≤0.1	≤0.05

2.2 镀锌后表面质量

镀锌后的 4 种试样表面形貌如图 2 所示。对比分析可知:在 4 种功率条件下均能获得完整的镀层,但镀层表面的平整度和光滑程度存在一定程度的差别。1 号试样表面和普通机械镀锌层表面一样,锌粉颗粒相互镶嵌,颗粒间存在间隙,能够清晰地辨别球的痕迹;镀层表面平整性很差,存在少量微小点状隆起,在扫描电子显微镜下显现出三维效果感。这是因为冲击介质动能不足,无法将大的锌粉颗粒或锌粉团撞击搓捻平整,致使空隙较大。2 号试样表面质量有所提高,镀层表面存在明显的颗粒堆积区域,这些区域存在基材不平整的地方。这是由于在凹凸不平的区域,冲击介质获得的动能不能将锌粉团撞击平整,而只能将一些细小的锌粉颗粒撞击在工件表面。在基材表面平整的地方,冲击介质有足够的动能将锌粉

团撞击搓捻平整,呈板状覆盖。3 号和 4 号试样镀层表面质量明显改善,镀层表面主要由板状区域覆盖。与 4 号试样不同的是,3 号试样表面存在许多较小的板状区域,明显可以看出是由于撞击力度不够,锌粉团铺展不均匀造成。

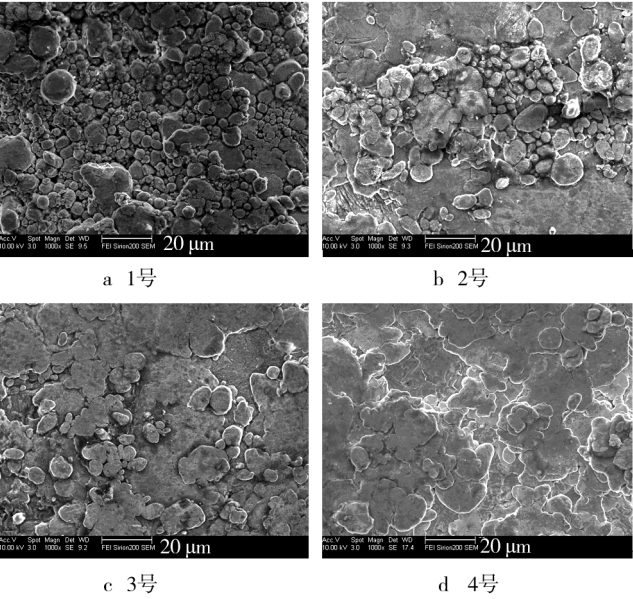


图 2 镀锌层表面形貌  
Fig. 2 Surface morphology of zinc coating

2.3 镀层厚度

每个功率下的试样随机取 5 个工件,用 TT260 涂层测厚仪测量工件表面镀锌层的厚度,结果见表 2。

表 2 镀锌层厚度  
Tab. 2 The thickness of zinc coating

试样	$\delta$ (平均)/ $\mu\text{m}$				
	1	2	3	4	5
1 号	34.75	35.21	34.69	33.98	34.52
2 号	34.45	33.96	34.01	34.16	33.76
3 号	33.27	32.98	33.92	34.12	33.87
4 号	32.69	33.37	33.84	33.73	33.54

从表 2 中可以看出,1 号和 2 号试样厚度最大,3 号与 4 号试样的厚度接近。由表面形貌观察可知:1 号和 2 号镀层表面颗粒间隙最大,表面有点状物隆起,致使镀层厚度明显大于其他。随着功率的增大,镀层表面受到冲击介质撞击的次数增多,载荷增大,锌粉颗粒间的相互流动、摩擦更加频繁,锌粉颗粒间空隙受到挤压,进而空隙体积减小,镀层中的颗粒结

合得更加紧密,厚度更小。

2.4 腐蚀性能

腐蚀实验结果见表 3,可以看出随功率的增大,镀层耐腐蚀性有增加的趋势,1 号和 2 号镀层出现白锈、红锈的时间较早,3 号和 4 号镀层出现白锈、红锈的时间较晚。根据镀层形成理论可知:镀层的主体是由锌粉颗粒及孔隙按一定的堆垛理论形成,而这些间隙的存在会降低镀层的耐腐蚀性能,如 1 号镀层间隙较大,单位镀层体积的孔隙率大,所以最易腐蚀。在湿法超声机械镀锌层形成过程中,当超声波经过液体介质时,会产生压力正负交变的液压冲击。这一液压冲击作用在玻璃珠上,使其产生很大的加速度<sup>[14-15]</sup>,将活化后的金属粉末高速喷打到工件表面,机械能转化为结合能,使获得的镀层非常致密,颗粒间结合强度较高。此外,镀层是由板状覆盖层叠加构成,片层间空隙小,形成了多层次的屏蔽层,所以镀层的耐腐蚀性能较好。

表 3 镀锌层腐蚀实验结果  
Tab. 3 Corrosion experiment results of zinc coatings

试样	镀层厚度 / $\mu\text{m}$	出现白锈	出现红锈
		时间/h	时间/h
1 号	34.63	76	195
2 号	34.05	88	231
3 号	33.62	98	292
4 号	33.41	103	297

2.5 镀层结合强度

划格实验表明,除 1 号试样有极少部分脱落外,其他镀锌层没有从金属基体表面脱落和剥离,证明镀锌层与铁基体的结合强度符合要求。

3 结论

在湿法超声机械镀锌过程中,超声波功率能在一定程度上影响镀层的质量。在功率较低时,镀层由锌粉颗粒相互镶嵌堆积在工件表面,表面平整光滑度较低,颗粒间空隙较大,虽然镀层厚度大,但镀层的耐腐蚀性能较低。随着功率的增大,镀层表面由颗粒相互镶嵌转化为呈板状覆盖,同时镀层表面平整光滑,覆盖紧密,厚度减小,结合强度良好,耐腐蚀性等性能明

显提高。

## 参考文献

- [1] 陈茜. 镀锌防腐工艺[J]. 钢铁, 2007, 42(7): 38—42.  
CHEN Han. Anticorrosive Galvanizing[J]. Iron and Steel, 2007, 42(7): 38—42.
- [2] 徐明玉, 牛宗伟, 李明哲. 湿法超声机械镀锌-铝层的性能研究[J]. 电镀与涂饰, 2014, 33(9): 366—368.  
XU Ming-yu, NIU Zong-wei, LI Ming-zhe. Research on Zinc-Aluminum Coatings Obtained by Ultrasonic-based Wet Mechanical Plating[J]. Electroplating Finishing, 2014, 33(9): 366—368.
- [3] 李广敏, 牛宗伟, 董海青. 湿法超声机械镀锌技术研究[J]. 表面技术, 2014, 43(1): 63—66.  
LI Guang-min, NIU Zong-wei, DONG Hai-qing. Research of Ultrasonic-based Wet Mechanical Plating[J]. Surface Technology, 2014, 43(1): 63—66.
- [4] 王胜民, 何明奕, 刘丽, 等. 机械镀锌沉积机理的研究[J]. 材料科学与工艺, 2008, 16(4): 535—538.  
WANG Sheng-min, HE Ming-yi, LIU Li, et al. Mechanism of Mechanical Deposition in Mechanical Plating[J]. Materials Science and Technology, 2008, 16(4): 535—538.
- [5] 卢杰, 石岩. 机械镀锌层微观形貌及有机硅表面封孔耐蚀处理[J]. 表面技术, 2007, 36(6): 36—38.  
LU Jie, SHI Yan. Microcosmic Appearance of Mechanical Zinc Coatings and Superficial Organic Silicon Pore Sealing and Anticorrosion Treatment[J]. Surface Technology, 2007, 36(6): 36—38.
- [6] 卢杰. 不同粒度金属粉形成机械镀层形貌及耐腐蚀性能研究[J]. 表面技术, 2008, 37(5): 41—44.  
LU Jie. Anticorrosion Property and Appearance of Mechanical Zinc Coatings Formed by Metal Powder with Different Granularity[J]. Surface Technology, 2008, 37(5): 41—44.
- [7] 王胜民, 赵晓军, 何明奕, 等. 锌粉颗粒形状对机械镀锌层性能的影响[J]. 材料工程, 2009(11): 84—87.  
WANG Sheng-min, ZHAO Xiao-jun, HE Ming-yi, et al. Effects of Particle Shapes of Zinc on the Properties of Mechanically Deposited Coating[J]. Materials Engineering, 2009(11): 84—87.
- [8] 赵增典, 陈磊, 李德刚, 等. 机械镀镀层与金属粉末相关性能研究[J]. 材料保护, 2008, 41(8): 64—66.  
ZHAO Zeng-dian, CHEN Lei, LI De-gang, et al. On Effects of Metal Particle to Mechanical Coatings[J]. Materials Protection, 2008, 41(8): 64—66.
- [9] 王胜民, 何明奕, 赵晓军, 等. 机械镀 Zn-RE 复合镀层的结构[J]. 材料热处理学报, 2010, 31(1): 137—141.  
WANG Sheng-min, HE Ming-yi, ZHAO Xiao-jun, et al. Structure of Mechanically Deposited Zn-RE Coating[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2010, 31(1): 137—141.
- [10] 何明奕, 刘丽, 王胜民, 等. 机械镀锌原理及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.  
HE Ming-yi, LIU Li, WANG Sheng-min, et al. Principle and Application of Mechanical Plating[M]. Beijing: China Machine Press, 2003.
- [11] 王兆华, 杨瑞嵩. 机械镀锌成膜机理探讨[J]. 材料保护, 2013, 46(8): 52—55.  
WANG Zhao-hua, YANG Rui-song. The Investigate of the Mechanism of Mechanical Plating Film[J]. Materials Protection, 2013, 46(8): 52—55.
- [12] 李广敏, 牛宗伟. 基于超声振动的机械镀锌工艺[J]. 电镀与涂饰, 2014, 33(1): 21—23.  
LI Guang-min, NIU Zong-wei. Mechanical Zinc Plating Process Based on Ultrasonic Vibration[J]. Electroplating Finishing, 2014, 33(1): 21—23.
- [13] 山东理工大学. 湿法超声机械镀装置: 中国, 103205745 [P]. 2013-07-17.  
Shandong University of Technology. The Equipment of Wet Mechanical Plating: CN, 103205745 [P]. 2013-07-17.
- [14] KOMAROV S V, SONS H, HAYASHI N. Development of a Novel Method for Mechanical Plating Using Ultrasonic Vibrations[J]. Surface & Coatings Technology, 2007, 201: 6999—7006.
- [15] ROMANKOV S, KOMAROV S V, VDOVICHENKO E. Fabrication of TiN Coatings Using Mechanical Milling Techniques[J]. Refractory Metals & Hard Materials, 2009, 27: 492—497.