应用技术

湿法超声机械镀锌技术研究

李广敏，牛宗伟，董海青

（山东理工大学 机械工程学院，山东 淄博 255091）

摘 要：目的 改进滚筒式机械镀锌设备对零件尺寸的限制，实现较大尺寸零件的机械镀锌。**方法** 提出一种新的机械镀锌工艺，即用超声振动系统为冲击介质提供动力，冲击锌粉颗粒到工件表面，形成镀锌层。观察镀锌层的微观表面形貌和断面形貌，测试镀锌层的结合强度，利用中性盐雾试验评判镀锌层的耐腐蚀性能。**结果** 在工件表面获得了一定厚度的镀锌层，镀层表面细腻、均匀、平整，无凹凸不平结构。镀层是由锌粉颗粒镶嵌、填充而成的致密堆积体，与基体的结合强度高，耐腐蚀性能好。**结论** 湿法超声机械镀锌工艺可以对较大尺寸零件进行机械镀锌。

关键词： 超声振动；机械镀锌；表面形貌；断面结构

中图分类号： TQ153.1 **文献标识码：** A **文章编号：** 1001-3660(2014)01-0063-04

Research of Ultrasonic-based Wet Mechanical Plating

LI Guang-min, *NIU Zong-wei* , *DONG Hai-qing*

(School of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255091, China)

ABSTRACT: Objective To improve the restriction of Rotary Mechanical Plating equipment on the size of parts and achieve zinc coatings for larger parts. **Methods** A novel method for Mechanical Plating was presented using ultrasonic vibrations to provide motives for impact media to realize zinc coating on metallic surfaces. The surface topography and section morphology of the coating were observed. The bonding strength between the coating and the substrate was tested. The corrosion resistance of the coating was evaluated by the salt spray test. **Results** The new process had good performance in zinc plating and a certain thickness of zinc-coating could be obtained. The finish of zinc-coating gained by new process was fine, uniform and smooth, and the whole surface of the coating was flat without uneven structure. The coating was fabricated by zinc powders. The bonding strength between the coating and substrate was high and the corrosion resistance of the coating was good. **Conclusion** Zinc coatings could be obtained for larger parts by the Wet Mechanical Plating process.

KEY WORDS: ultrasonic vibration; mechanical plating; surface topography; section morphology

湿法机械镀是金属微粉在物理、化学作用下吸附并沉积于工件表面，经机械碰撞力作用在工件表面形成镀层的表面处理工艺[1—4]。它具有能耗低、金属利用率高、原料无毒性、镀后无氢脆等优点，因而应用越

收稿日期： 2013-08-17；**修订日期：** 2013-09-23

Received : 2013-08-17; **Revised**: 2013-09-23

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 Natural Science Foundation of China (51005140); Provincial Natural Science Fund Subject of Shandong Province(ZR2010EQ037)

作者简介： 李广敏(1985—)，男，山东人，硕士生，主要研究方向为机械镀锌技术。

Biography: LI Guang-min(1985—), Male, from Shandong, Master graduate student, Research foucs: mechanical plating.

来越广泛[5]。机械镀锌工艺主要用于小尺寸零件的防腐处理,可形成 Zn,Al,Cu,Zn-Al,Sn-Zn,Zn-Ni,Zn-RE 等金属镀层,对钢铁基体起到防护作用[6—11],很少用于大尺寸零件。此外,工业生产中最常用的机械镀锌设备是旋转滚筒式设备[12],由于滚筒一端开口,相对封闭,对一些板状、长轴状等结构的工件无法进行机械镀锌,因此工件种类受到限制。针对上述问题,笔者所在项目组研制了一种湿法超声机械镀锌设备,利用超声振动系统为冲击介质提供动力,驱动冲击介质做高频振动,将经过活化剂处理的金属粉末高速喷打到工件表面,使机械能转化为结合能,获得一定厚度的镀锌层。Komarov S. V. 等[13—15]对干法超声机械镀锌技术进行了一定的研究,干法超声机械镀不易控制镀层的厚度和均匀性,而湿法超声机械镀可望解决这一问题。文中采用自行开发的湿法超声机械镀锌设备进行镀锌试验,观察了镀锌层的微观形貌,研究了镀锌层的结合强度及耐腐蚀性能,以期为研究镀层的其他性能打下基础。

1 实验

1.1 湿法超声机械镀锌

自制的湿法超声机械镀锌装置如图 1 所示,包括超声波发生器、超声换能器、变幅杆、振动槽和支架[16]。振动槽用于盛放镀液、金属粉、玻璃珠和待镀工件。超声振动系统的功率和频率可根据需要进行调节。实验中所用工件为 ϕ20 mm×ϕ11 mm×2 mm 的 Q235 钢垫片,锌粉为 800 目球形锌粉,玻璃珠尺寸为 40 ~ 80 目。

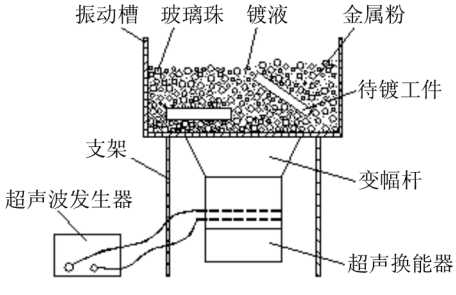


图 1 湿法超声机械镀锌装置

Fig. 1 Device for ultrasonic-based wet mechanical plating

施镀具体操作步骤为:1)将脱脂、除锈后的垫片放入加有玻璃珠和去离子水的振动槽中,加入硫酸及其他镀液组分,硫酸的作用是调整镀液 pH 至 1 ~ 2,再加入锌粉和沉积性活化剂;2)打开控制系统,调节超声波发生器的频率为 28 kHz,施加超声振动,使工件表面形成基层;3)根据所需的镀层厚度,分批加入复合表面活性剂、沉积性活化剂和锌粉,镀层逐渐增厚;4)加入少量去离子水,调整超声波发生器的功率,增加超声波振动的强度,强化镀层组织结构。施镀完成后,将工件从振动槽中取出,置于电阻炉中干燥,待检测。

1.2 测试及表征

1) 用普通放大镜直接观察镀锌垫片的表面,分析镀锌层的宏观形貌。用 FEI Sirion2000 多功能扫描电子显微镜观察镀锌垫片的微观表面形貌和断面结构,分析镀锌层表面锌粉的聚集状态和内部组织结构。

2) 用划格法测试镀层的结合强度。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。划线时,划刀需一次划破镀层到达金属基体。

3) 用 TT260 涂层测厚仪(北京时代公司)测量镀锌层厚度。在试样前后表面各选取 5 个点进行测量,取平均值。

4) 按照 GB/T 10125—1997《人造气氛腐蚀试验——盐雾试验》的要求,采用 JK-60 盐雾试验箱进行中性盐雾腐蚀试验。喷雾介质为 5%(质量分数) NaCl 溶液,实验温度为(35±2) ℃。实验采取连续喷雾方式,记录垫片出现白锈、红锈的时间。为作比较,同时对普通机械镀锌工件进行中性盐雾腐蚀试验。每种工件实验 3 个试样,取平均值。

2 结果与分析

2.1 镀锌层表面形貌

湿法超声机械镀锌工件的宏观形貌如图 2 所示。在自然光下,工件表面为半光亮的银白色镀层,色泽均匀。镀层细腻、均匀、平整,无麻点、脱皮、鼓泡、漏

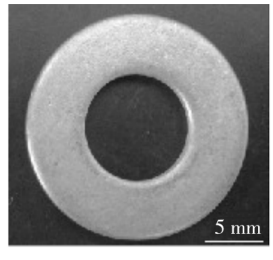


图 2 湿法超声机械镀锌工件

Fig. 2 Ultrasonic-based Wet Mechanical Plating Gasket

镀等缺陷,比普通机械镀锌层的平滑度要好,表面无凹凸不平结构。

湿法超声机械镀锌层的微观表面结构如图 3 所示,可见镀层中的锌粉团或锌粉颗粒连接紧密。表面层中的颗粒尺寸大于锌粉原始尺寸,说明在镀层形成过程中,锌粉颗粒发生了团聚现象。锌粉在活化剂的作用下聚集成团,沉积到工件表面,经玻璃珠碰撞作用形成镀层。由于玻璃珠介质对锌粉或锌粉团的碰撞主要表现为冲击作用,搓捻作用相对微弱,所以镀锌层中,锌粉团铺展作用不明显,而是形成了很多微小的冲击面,这些冲击面层层叠加并相互连接,覆盖在整个工件表面。冲击面中的锌粉团或颗粒无序排列,没有明显的规律。冲击面的大小与所使用玻璃珠的粒度有关,若玻璃珠尺寸在某一粒度范围内,形成的冲击面尺寸较接近,锌粉团之间的填充就会更致密,不会产生凹凸不平结构。

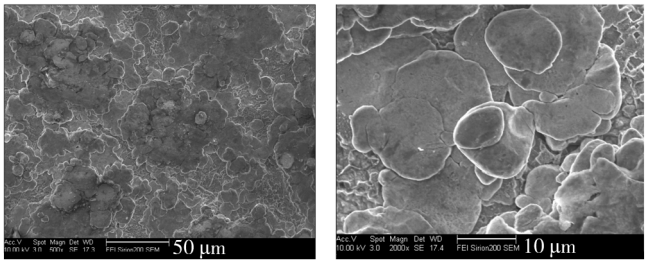
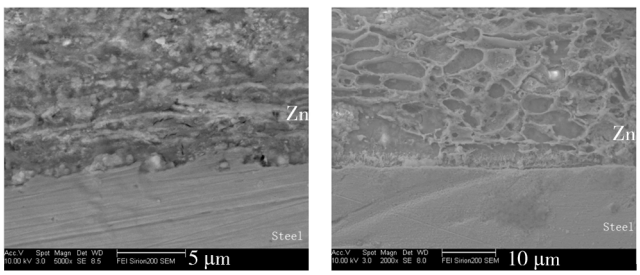


图 3　镀锌层微观表面形貌

Fig. 3 Surface topography of the zinc coating

2.2　镀锌层断面形貌

镀锌层的断面结构见图 4。如图 4a 所示,镀层均匀性好,与基体的结合界限比较清晰。镀层中没有产生电镀层中那样的电结晶产物,也没有产生类似热浸镀层中由高温冶金反应生成的合金相,镀层整体为锌粉颗粒以密集方式聚合而成的堆积体。为研究锌粉颗粒的沉积机理,对镀层断面进行了腐蚀处理。由于锌粉颗粒的活性大于所使用的先导金属,所以用合适的腐蚀剂将锌粉腐蚀掉,可以保留先导金属的结构和分布,如图 4b 所示。腐蚀后的结构也说明,锌粉颗粒粒径不同,散乱分布,相互填充,形成了由锌粉颗粒组成的球体堆积、镶嵌体。颗粒结合处存在一定大小的间隙,由先导金属进行填充,颗粒越小,结合间隙就越小。锌粉颗粒有形状的改变,在镀层形成过程中发生了塑性变形,部分锌粉颗粒变成椭球形或扁平结构。变形的颗粒一般尺寸偏大,小尺寸颗粒向间隙移动并对其填充,被挤压后使镀层变得致密。



a 未腐蚀　　b 经腐蚀处理

图 4　镀锌层断面结构

Fig. 4 Section morphology of the zinc coating

2.3　镀层的结合强度

划格实验表明,镀锌层没有从金属基体表面脱落和剥离,证明该工艺获得的镀锌层与铁基体的结合强度符合要求。

镀层是由锌粉颗粒镶嵌、填充形成的致密结构体,无新生晶粒和其他相结构,也无晶粒生长现象,其结合强度主要与先导金属的桥接和锌粉颗粒之间金属键的产生有关。在玻璃珠介质的高频冲击作用下,锌粉颗粒发生塑性变形,锌粉颗粒之间、锌粉和先导金属之间、锌粉和基体之间的结合面增大,使桥接和键合作用增强,结合强度得到提高。

2.4　镀层的耐腐蚀性能

镀层厚度及盐雾试验结果见表 1。从数据可知,与普通机械镀锌层相比,超声机械镀锌层的耐腐蚀性能更为优良。根据镀层的形成机理,当超声波经过液体介质传播时,将以极高的频率压迫液体质点振动,在液体介质中连续形成压缩和稀疏区域,由于液体基本上不可压缩,因此会产生压力正负交变的液压冲击。这一交变的液压冲击作用在玻璃珠上,可使其产生很大的加速度。活化后的金属粉末在加速度很大的玻璃珠的冲击作用下,高速喷打到工件表面,机械能转化为结合能,使得获得的镀层非常致密,颗粒间结合强度较高,所以镀层的耐腐蚀性能较好。

表 1　镀锌层腐蚀试验结果

Tab. 1 Corrosion results of the zinc coatings

试样	镀层平均厚度 /μm	出现白锈时间 /h	出现红锈时间 /h
普通机械镀锌	26.1	79	216
	27.9	82	233
	30.8	86	241
超声机械镀锌	26.5	91	268
	28.2	96	287
	31.5	97	296

3 结论

1）利用湿法超声机械镀锌工艺进行镀锌，可以在工件表面获得一定厚度的镀锌层。镀层表面平整、均匀，光洁度较好，无凹凸不平结构，无漏镀、麻点等缺陷。

2）湿法超声机械镀锌层为锌粉颗粒镶嵌而成的堆积体，部分锌粉颗粒变成椭球形或扁平状，镀层均匀性好，结构致密。

3）湿法超声机械镀锌层与基体的结合强度高，耐腐蚀性能好。

4）该工艺可用于较大尺寸零件的机械镀锌。

参考文献

[1] 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 & Technology，2008，16(4)：535—538.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 卢杰，石岩. 机械镀锌层微观形貌及有机硅表面封孔耐腐蚀处理[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.

[5] 陈菡. 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.

[6] 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.

[7] 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，2003：19—20.
HE Ming-yi，LIU Li，WANG Sheng-min，et al. Principle and Application of Mechanical Plating[M]. Beijing：China Machine Press，2003：19—20.

[8] 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]. Transations of Materials and Heat Treatment，2010，31(1)：137—141.

[9] 王胜民，何明奕，赵晓军，等. 机械镀锌层的结合强度分析[J]. 材料热处理学报，2011，32(S1)：130—135.
WANG Sheng-min，HE Ming-yi，ZHAO Xiao-jun，et al. Adhesion of Mechanically Deposited Zinc Coating on Steel[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment，2011，32(S1)：130—135.

[10] 王胜民，何明奕，赵晓军，等. 添加纳米 TiO_2 对机械镀锌层组织和性能的影响[J]. 材料热处理学报，2012，33(11)：127—130.
WANG Sheng-min，HE Ming-yi，ZHAO Xiao-jun，et al. Influence of Nano TiO_2 Additions on Structure and Properties of Mechanically Deposited Zinc Coatings[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment，2012，33(11)：127—130.

[11] 李召伟，何明奕，王胜民，等. 机械镀 Zn-Ti 复合镀层的性能[J]. 表面技术，2008，37(6)：54—56.
LI Zhao-wei，HE Ming-yi，WANG Sheng-min，et al. Performance of Mechanical Zn-Ti Plating[J]. Surface Technology，2008，37(6)：54—56.

[12] 何明奕，王胜民，刘丽，等. 无结晶金属微粉形成镀层——机械镀[J]. 金属热处理，2006，31(2)：16—19.
HE Ming-yi，WANG Sheng-min，LIU Li，et al. Non-crystal Metal-powder Coating—Mechanical Plating[J]. Heat Treatment of Metals，2006，31(2)：16—19.

[13] KOMAROV S V，SON S H，HAYASHI N，et al. Development of a Novel Method for Mechanical Plating Using Ultrasonic Vibrations[J]. Surface & Coatings Technology，2007，201：6999—7006.

[14] ROMANKOV S，KOMAROV S V，VDOVICHENKO E，et al. Fabrication of TiN Coatings Using Mechanical Milling Techniques[J]. Refractory Metals & Hard Materials，2009，27：492—497.

[15] ROMANKOV S，HAYASAKA Y，KALICOVA G，et al. TEM Study of TiN Coatings Fabricated by Mechanical Milling Using Vibration Technique[J]. Surface & Coatings Technology，2009，203：1879—1884.

[16] 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：China，103205745[P]. 2013-07-17.