# 锌粉粒度对机械镀锌层耐腐蚀性能的影响

李广敏，牛宗伟，董海青
（山东理工大学 机械工程学院，淄博 255091）

[摘 要] 分别采用325目、800目和325目+800目等质量混合的球形锌粉，在活化剂的作用下进行机械镀锌，得到三种机械镀锌层。观察了三种镀锌层的表面形貌和断面结构，分析了不同粒径锌粉所得镀层的结构特点，通过中性盐雾试验测试了镀层的耐腐蚀性能。结果表明：325目锌粉镀层的耐腐蚀性能最差，800目锌粉镀层的耐腐蚀性能最好，325目与800目等质量混合的锌粉镀层耐腐蚀性能介于两者之间，接近800目锌粉镀层。

[关键词] 机械镀锌层；表面形貌；断面结构；耐腐蚀性
[中图分类号]TQ153.1 [文献标识码]A [文章编号]1001-3660(2013)05-0005-03

# Effect of Zinc Powders of Different Particle Size on Corrosion Resistance of Mechanical Zinc Coatings

*LI Guang-min*, *NIU Zong-wei*, *DONG Hai-qing*
(School of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255091, China)

[**Abstract**] With the help of chemical agents, three kinds of mechanical zinc-coatings were achieved of 325 mesh, 800 mesh spherical zinc powders and the mixture of the two with equal quality. The surface topography and section morphology of the coatings were observed and the structure feature of coatings obtained by zinc powder with differen size was analyzed. The corrosion resistance were detected by neutral salt spray test. The result shows that the corrosion resistance of 325 mesh zinc-coating is worse than the others, while the 800 mesh zinc-coating is best. The corrosion resistance of the mixed-zinc coating is close to 800 mesh coating.

[**Key words**] mechanical zinc coaing; surface topography; section morphology; corrosion resistance

钢铁材料的耐腐蚀性能差，因腐蚀造成的浪费较为严重，常用的防腐蚀方法有热浸镀、电镀、热喷涂等[1—2]，但这些工艺具有能耗大、污染严重等缺点，不能实现绿色加工。机械镀是一种在常温、常压下，利用物理、化学吸附沉积和机械碰撞，使金属微粉在工件表面形成镀层的工艺[3—4]。机械镀锌具有能耗低、金属利用率高、原料无毒性、镀后无氢脆和退火软化现象等优点，在工业中的应用越来越广泛。机械镀锌用锌粉分为球形锌粉和片状锌粉两种。片状锌粉主要是用球粒或多棱状粉在保护气氛中球磨得到[5]，生产成本较高，在工业生产中使用较少。目前，机械镀锌工业生产中所用的锌粉主要为电炉锌粉，呈球状或近球状。关于机械镀锌用锌粉的选择，国内外学者进行了一定的研究，如王胜民等[6]研究了锌粉形状对机械镀锌层性能的影响，赵增典等[7]研究了添加合金元素 Al 对机械镀锌层耐腐蚀性能的影响。文中从工业生产的实际出发，研究了球形锌粉的粒径对机械镀锌层性能的影响，以期在满足防腐要求的同时，降低生产成本，实现最大经济效益。

## 1 实验

### 1.1 机械镀锌

锌粉根据粒径大小，可分为普通锌粉（粒径大于45 μm）、细锌粉（粒径为10～45 μm）和超细锌粉（粒径小于10 μm）。本文所用锌粉为市售325目和800目锌粉，均属细锌粉，其化学成分见表1。锌粉由电炉雾化法生产，多为规则球形颗粒，只含有少许形状不规则的颗粒，颗粒相对平滑、圆整，表面存在微小的台阶和凹凸点等结构。

[收稿日期]2013-05-30；[修回日期]2013-07-03
[基金项目]国家自然科学基金(51005140)；山东省自然科学基金(ZR2010EQ037)；山东理工大学青年教师发展支持计划
[作者简介]李广敏(1985—)，男，山东菏泽人，硕士生，主攻机械镀锌技术。
[通讯作者]牛宗伟 (1976—)，男，山东日照人，博士，副教授，主要研究方向为特种加工。

表 1 机械镀锌用锌粉规格与化学成分

Tab. 1 Specs and chemical compositions of zine powders using in mechanical zine plating

| 锌粉规格(目) | 化学成分(以质量分数计)/% | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 全锌 | 金属锌 | 铅 | 铁 | 镉 | 酸不容物 |
| 325 | ≥98 | ≥95 | ≤0.1 | ≤0.05 | ≤0.1 | ≤0.07 |
| 800 | ≥99 | ≥96 | ≤0.1 | ≤0.05 | ≤0.1 | ≤0.05 |

采用自制的可调转速滚筒式机械镀锌设备进行机械镀锌,基材为尺寸 $\phi$22 mm×$\phi$10 mm×2 mm 的 Q235 钢垫片。镀锌工艺为少锡盐沉积工艺,无预镀铜处理。首先,将脱脂、除锈后的钢垫片和玻璃珠按体积比 1∶1.2 装入镀桶中,加入适量的硫酸和水,调整镀液的 pH 为 1~2,调整滚筒转速为 60 r/min。然后,向镀桶中加入适量的硫酸亚锡和锌粉(325 目、800 目或 325 目+800 目等质量混合),建立基层,再加入适量的保持性活化剂、沉积性活化剂和锌粉,镀层逐渐增厚。根据需要的镀层厚度,每隔 5~10 min 加料一次。加料完毕后,加水滚光 10 min,出料,将取出的垫片放入电阻炉中进行恒温干燥。

### 1.2 检测方法

1)用体式显微镜观察机械镀锌层的表面形貌,用扫描电子显微镜观察机械镀锌层的断面结构。

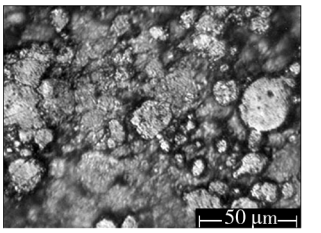
2)用 TT260 涂层测厚仪测试镀锌层的厚度。按照 GB/T 10125—1997《人造气氛中的腐蚀试验——盐雾试验》的要求,采用 JK-60 盐雾试验箱进行中性盐雾腐蚀试验,喷雾介质为 5%(质量分数)氯化钠溶液,试验箱温度为(35±2) ℃,采取连续喷雾方式,记录垫片 5% 面积出现白锈、红锈的时间。

## 2 结果与分析

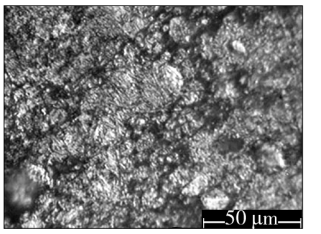
### 2.1 机械镀锌层形貌分析

将机械镀锌后的垫片放在自然光下直接观察,镀层表面呈银灰色,较为光滑,无结瘤、漏镀、起皮、夹杂等缺陷。800 目锌粉镀层表面最亮,平滑度最好;325 目锌粉镀层表面最暗,平滑度最差;325 目+800 目混合锌粉镀层表面亮度及平滑度介于两者之间。

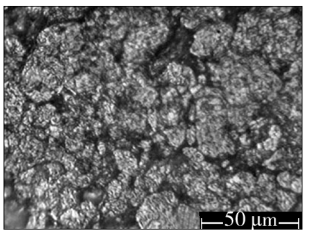
三种机械镀锌层的微观表面结构如图 1 所示。尺寸不等的锌粉粉团相互镶嵌填充,连成一体,覆盖在工件表面,形成镀锌层。由于锌粉团尺度不相等,且冲击介质作用力不均匀,因此锌粉团铺展不均匀,在锌粉团结合处呈现出微小的凹凸不平结构。325 目锌粉颗粒尺寸较大,引起的凹凸不平结构较明显;800 目锌粉粒度细小,粉团可以均匀、细致地铺展在工件表面,凹凸不平结构最轻微;325 目+800 目混粉得到的镀层,由于 800 目锌粉可以对 325 目锌粉形成的间隙进行填充,所以形成的镀层表面较为细致,接近 800 目锌粉镀层。可见,随锌粉粒径的减小,镀层表面光洁度提高。




a 325目锌粉




b 325目+800目混合锌粉

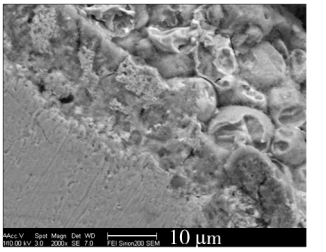



c 800目锌粉

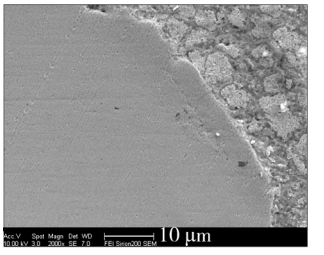
图 1 不同粒径锌粉所得镀锌层的表面形貌

Fig. 1 The surface topography of coatings formed by zinc powders with different size

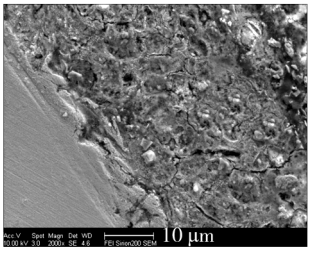
三种镀层的断面结构如图 2 所示。镀层为锌粉颗粒的堆积体,颗粒之间相互填充,紧密连接。颗粒结合处会形成一定大小的间隙,颗粒越大,结合间隙就越大。镀层中大部分锌粉颗粒呈球形,只是圆度变差,在表层中,有一部分变成椭球形。这是由于镀锌过程中,镀液的 pH 保持在 1~2 之间,镀层处在酸性较强的环境中,锌粉颗粒表面会发生一定的腐蚀,使颗粒形状发生变化,圆度变差;而且表层颗粒因受到玻璃珠直接碰撞,变形较大,镀层内部颗粒因受间接作用力,变形较




a 325目锌粉




b 325目+800目混合锌粉




c 800目锌粉

图 2 不同粒径锌粉所得镀锌层的断面结构

Fig. 2 The section morphology of coatings formed by zinc powders with different size

小。从图 2 可以看出,325 目锌粉镀层中的颗粒较大,颗粒之间的间隙也较大,镀层致密度较差;800 目锌粉镀层中的颗粒较小,颗粒间的间隙最小,镀层最为致密;325 目+800 目混粉镀层中,大颗粒锌粉随机排列,并且不紧凑,存在连接或不连接的情况,但是小颗粒锌粉对其进行了填充,颗粒间紧密结合,排列较为整齐,镀层组织相对致密。

## 2.2　镀层的耐腐蚀性能分析

每种机械镀锌试样分别取三个进行中性盐雾实验。每个试样取 5 个点测量镀层厚度,取平均值,相应的中性盐雾实验结果见表 2。

**表 2　三种机械镀锌层中性盐雾实验结果**

**Tab. 2 Neutral salt spray test results of three mechanical zinc-coatings**

| 所用锌粉 | 镀层厚度 /μm | 出现白锈时间 /h | 出现红锈时间 /h |
|---|---|---|---|
| 325 目 | 34 | 81 | 233 |
| | 34 | 81 | 232 |
| | 36 | 83 | 241 |
| 800 目 | 35 | 95 | 267 |
| | 36 | 96 | 272 |
| | 38 | 101 | 275 |
| 325 目+800 目 | 33 | 89 | 256 |
| | 35 | 93 | 259 |
| | 36 | 95 | 266 |

从表 2 可以看出,325 目锌粉镀层出现白锈、红锈的时间最早,800 目锌粉镀层出现白锈、红锈的时间最晚,说明 800 目锌粉镀层的耐腐蚀性能最好。325 目+800 目混粉镀层出现白锈、红锈的时间介于两者之间,但更接近于后者,说明混粉镀层的耐腐蚀性能较好,接近 800 目锌粉镀层。由机械镀锌原理可知,镀层中没有新生的晶粒结构和合金相,也无晶粒长大的现象。镀层是锌粉颗粒按散乱球体堆垛理论形成,颗粒间会形成一定的间隙,间隙的存在则会加快镀层的腐蚀。325 目锌粉镀层的颗粒较大,产生的间隙较大,单位镀层体积内的孔隙较多,所以最易腐蚀。800 目锌粉镀层结构最致密,耐腐蚀性能最好。混粉镀层中,小颗粒状锌粉对大颗粒锌粉形成的间隙进行填充,加上先导金属和其他杂质的填充使孔隙进一步减小,经冲击介质作用,镀层结构更致密,耐腐蚀性能提高,接近于 800 目镀层。由此可见,随锌粉粒径的减小,镀层的耐腐蚀性能提高。在机械镀锌过程中,可以选择混合锌粉制备镀层,不仅耐腐蚀性能相差不大,而且可以节约成本。

## 3　结论

1) 机械镀锌层是由锌粉颗粒镶嵌、填充形成的致密堆积体。形成镀层后,锌粉颗粒形状变化不大,仅在表层中有一部分变成了椭球形,且由于冲击介质的碰撞和酸性环境腐蚀等原因,圆度变差。

2) 随锌粉粒径的减小,镀层的组织变得致密,耐腐蚀性能提高,800 目锌粉镀层的耐腐蚀性能明显优于 325 目锌粉镀层。

3) 325 目和 800 目等质量混合锌粉得到的镀层耐腐蚀性能较好,接近 800 目锌粉镀层。在实际生产中,可以选择不同粒径的锌粉按合适配比混合,既不会降低镀锌层的耐蚀性,又能节约成本。

[ 参 考 文 献 ]

[1] 陈菡. 镀锌防腐工艺[J]. 钢铁,2007,42(7):38—42.
[2] 刘宏宇,张松,何巍. 沿海钢结构设施的防腐研究[J]. 装备环境工程,2010,7(5):152—155.
[3] BROOKS A. Mechanical Plating [J]. Metal Finishing, 1983 (8):53—57.
[4] LESTER C. Method of Impact Plating Selective Metal Powders onto Metallic Article:US,4654230[P]. 1987-03-31.
[5] 赵增典,于先进,丁金城,等. 机械镀镀层制备及性能研究[J]. 腐蚀科学与防护技术,2006,18(3):206—208.
[6] 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.
[7] 巴晓革,赵增典,丁金城. 机械镀的镀层形貌及耐腐蚀性[J]. 腐蚀与防护,2007,28(6):293—295.