

# 45#钢表面化学镀Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层

张红领<sup>1</sup> 张旭明<sup>1, 2\*</sup> 毛高云<sup>1, 2</sup> 周漫琳<sup>1, 2</sup> 胡婧倩<sup>1, 2</sup>

1.百色学院; 2.广西壮族自治区铝基新材料工程研究中心 广西百色 533000

**摘要:** 通过化学复合镀工艺在45#钢表面制备Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层, 并利用扫描电子显微镜观察复合镀层的表面形貌, 研究不同质量分数Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>对Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层的镀覆过程和性能的影响。SEM研究表明: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>微粒在镀液中经过超声震荡被分散活化, 在镀覆过程中, 基体表面首先镀上一层镍磷镀层, 然后Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>微粒沉积到镍磷镀层上。镀层的性能测试结果说明: Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层的硬度较高明显优于45#钢和Ni-P镀层。

**关键词:** 化学镀; Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层; 硬度

## 1. 前言

化学复合镀属于表面处理技术化学镀工艺中的一种。在实际生产中, 化学复合镀以其成本低、工艺简单、镀层厚度均匀、可大面积镀覆、添加的不溶性固体粒强化了镀层的硬度、增加了镀件的防腐性及耐磨性等优点已得到了广泛的运用。

根据已有研究报道来看, 有关化学复合镀的研究主要是关于镀层的高硬度、高耐磨性、耐蚀性及自润滑性等方面<sup>[1-4]</sup>。本文以45#碳钢作为基体材料, 在其表面制备Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层并用扫描电镜观察微观形貌, 配合能谱仪(EDS)查看镀层的磷含量及Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>沉积量, 根据性能检测实验对比结果确定Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>添加对复合镀性能的影响规律。

## 2. 实验部分

### 2.1 实验材料及制备方法

**实验材料:** 本实验采用的基体试样的尺寸为φ20mm×20mm×5mm的45#钢, 45#钢的化学成分; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>材料为白色粉末状, 粒径范围为微米级。

化学镀Ni-P的镀液配方及工艺参数为: 硫酸镍质量浓度15g/L, 次亚磷酸钠20g/L, 醋酸钠9g/L, 硫脲0.000025g/L、乳酸20ml/L, 丙酸6ml/L十二烷基苯磺酸钠

0.00013g/L。温度保持在80-85℃, PH值4.4-5.1施镀时间为1.5h。机械搅拌, 速度为450r/min。复合镀中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>颗粒的添加量分别为1g/L, 2g/L, 3g/L和4g/L。

### 2.2 试验方法

#### (1) 复合镀层中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的质量分数

采用称重法测定复合镀层中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的质量分数。

#### (2) 镀层微观形貌观察与分析

利用扫描电子显微镜和金相显微镜对镀层的微观形貌进行观察与分析。

#### (3) 镀层硬度测试

镀层的硬度测试用显微维氏硬度计, 在基体上随机取五个点进行硬度测试, 计算平均值作为试样的最终硬度, 本实验载荷为1kg, 加载时间为15s。

## 3. 结果与讨论

### 3.1 复合镀层中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的质量分数

镀层图3.1为复合镀层中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>质量分数的变化规律。由图中可以看出: 随着镀液中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的质量浓度的增加, 复合镀层中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的质量分数也有所增加。

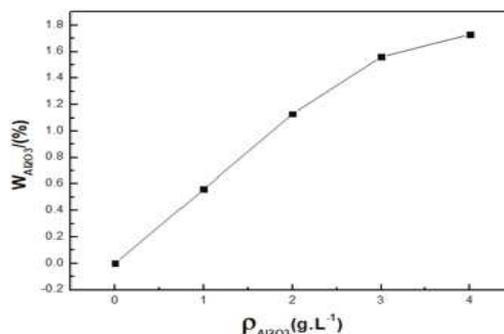


图3-1 复合镀层中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的质量分数的变化规律

### 3.2 Ni-P镀层表面形貌

图3-2Ni-P镀层的SEM图, 制备的工艺条件为: 温度85℃, pH值为4.8-5.1。由下图镀层表面形貌可以看出, 镀层表面致密, 有少量晶团团聚现象, 这说明该工艺下

2021年地方高校国家级大学生创新创业训练计划项目 (项目编号: 202110609042)

2020年地方高校国家级大学生创新创业训练计划项目 (项目编号: 202010609095)

科研启动经费DC2000002673

**第一作者简介:** 张红领 (1984.10-), 女, 汉族, 河北衡水人, 学士学位, 助理工程师, 研究方向: 冶金化学分析。

**通讯作者简介:** 张旭明 (1978.08-), 男, 汉族, 内蒙赤峰人, 博士学位, 工程师, 研究方向: 金属表面防护。

得到的镀层组织质量一般，应加大水浴锅转速，减少团聚现象的发生。

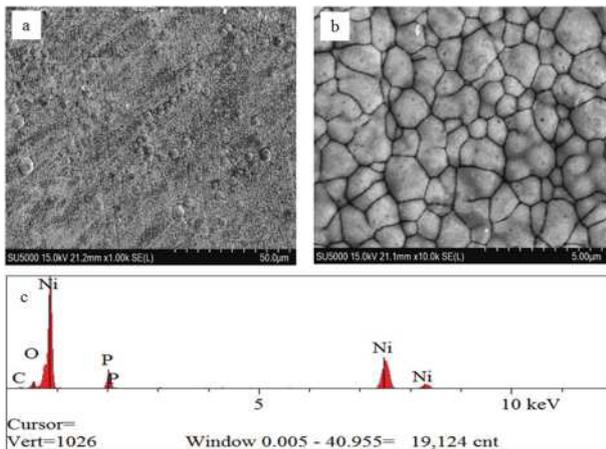


图3-2 Ni-P镀层的SEM图

a.100倍；b.1000倍；c.镀层能谱图

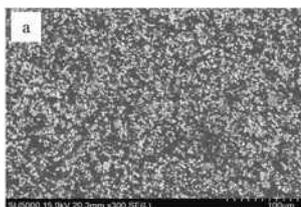
c图为Ni-P镀层能谱图，从图中可以看出，镀层中Ni的原子百分比占全部元素百分比总和的95.94，P含量占2.94，而能谱图中未见Fe元素的存在，说明基体上镀层致密。

表3-1 Ni-P镀层EDS分析结果

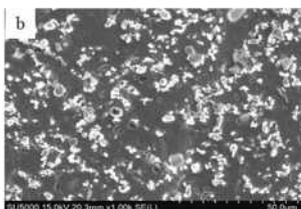
元素	Ni	O	P	C
原子百分比	95.94	0.86	2.94	0.25
重量百分比	98.12	0.24	1.59	0.05

### 3.3 Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层的表面形貌

图3-3Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层的SEM图。制备的工艺条件为：温度80-85℃，PH值为4.8-5.1，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> g/L，由图3-4（a）可以看出，Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层微粒分布基本均匀，质感光滑。图3-4（b）中可以看出，小微粒为Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>微粒，白色大微粒为被镍磷层包裹后的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>微粒或微粒团。由图3-4（c）可以看出，因为镀覆过程中搅拌速率不足导致Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>微粒出现团聚和气孔现象。



图（a）低倍镜下Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层



图（b）高倍镜下Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层

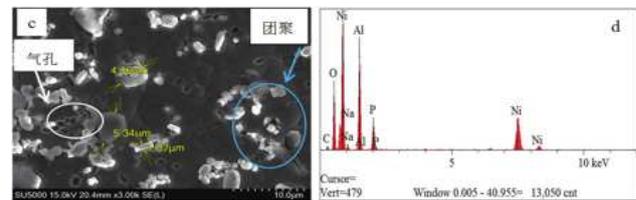


图3-3 Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层的SEM图

a.300倍复合镀层；b.1000倍复合镀层；c.3000倍复合镀层；c.镀层能谱图

表3-2 Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层EDS分析结果

元素	Ni	P	Al	Na	O	C
原子百分比	74.58	2.77	10.21	0.65	10.29	1.50
重量百分比	88.68	1.74	5.58	0.30	3.33	0.37

### 3.4 镀层的硬度测试

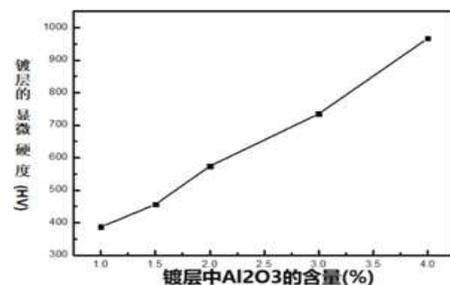


图3-4 镀层中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量与镀层硬度变化曲线

由图3-4显示可以看出，镀层中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量越多，镀层的硬度越大。这是因为镀层中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>颗粒是硬质粒子，镀层中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量增多，硬度增加，因此复合镀层的强度、硬度都相应的有所增加。

### 4. 结论

（1）随着镀液中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的质量浓度的增加，复合镀层中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的质量分数也有所增加。

（2）镀层的微观形貌可以看出涂层镀覆成功，且镀层良好、致密。

（3）由硬度实验可以得出Ni-P-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>颗粒增加可明显增强复合镀层的硬度。

### 参考文献：

[1]罗守福译.化学镀镍[M].上海：上海交通大学出版社.1996.

[2]冯启蒙，崔春妮；刘志斌.Ni-P/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合镀层性能表征与测试[J].西安工业大学学报，2010，30：No.118，52-55.

[3]韩贵，陈卫祥，夏宝军，等.化学镀耐磨自润滑Ni-P复合镀层的摩擦磨损性能[J].摩擦学学报，2004，24（3）：216-219.

[4]李诗卓，任平弟，姜晓霞.Ni-P-石墨复合镀层的耐磨减磨行为[J].固体润滑，1990，10（3）：169-177.