

## Ni-P-SiC 复合镀工艺的优化

胡三媛 关永峰 徐方超

(中国农业大学机械工程学院)

**摘要** 为进一步提高镍磷镀层的耐磨性,在普通镍磷化学镀的基础上,进行了Ni-P-SiC复合镀及磨损试验。用正交设计法对影响复合镀工艺的主要因素,活性剂、SiC、温度、pH值和稳定剂进行了优化,同时就各因素对镀层耐磨性的影响进行了分析,得出了一组最佳Ni-P-SiC施镀工艺参数:活性剂 $0.15\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,SiC $12.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,施镀温度 $90^\circ\text{C}$ ,pH值4.6,稳定剂 $0.55\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。试验验证结果表明,该工艺稳定,获得的镀层光亮、致密、耐磨性好。

**关键词** 化学镀; Ni-P-SiC复合镀; 正交设计法; 工艺优化

中图分类号 TB 333

## Optimization of Technology of Ni-P-SiC Composite Deposit

Hu Sanyuan, Guan Yongfeng, Xu Fangchao

(College of Machinery Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** To strengthen the wear-resistance of the Ni-P deposit layer, on the base of general Ni-P chemical deposit, the Ni-P-SiC composite deposit and its wear resistance tests were carried out. By using the orthogonal design method, the optimum combination of the main factors — active agent, SiC, temperature, pH value and stable agent, etc by which the composite deposit technique will be effected—has been found. The effects on the deposit layer wear-resistance of those factors were analyzed. The optimum technical alternative is active agent:  $0.15\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ , SiC  $12.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ , temperature  $90^\circ\text{C}$ , pH value 4.6 and stable agent  $0.55\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . The test results showed that technique is stable and the deposit layer is bright, fine and has good wear-resistance.

**Key words** chemical plating; composite deposit Ni-P-SiC; orthogonal design; optimum

化学镀镍磷合金具有特殊的物理和化学性能,已在机械、石油、电子、化工、航空航天和通讯等很多领域得到广泛应用。为了进一步提高镍磷镀层的耐磨性能,目前,国内已有在化学镀镍层中加入硬质微粒以提高其耐磨性的多种方法<sup>[1]</sup>。Ni-P-SiC复合镀是一种使镀层表面具有高硬度、高耐磨性能,且方便可行的新工艺;但是,复合镀工艺各个参数之间是相互影响的,其相互作用也是比较复杂的,这些问题直接影响到镀液的稳定性和镀层的质量<sup>[2]</sup>。笔者用正交设计法对Ni-P-SiC复合镀中的关键工艺进行了研究和优化,并对影响镀层耐磨性的各因素进行了分析,对镀层的耐磨性机理进行了探讨,希望得到最佳的镀液配方和具有最优耐磨性能的镀层。

收稿日期: 2001-10-29

胡三媛,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)61信箱,100083

## 1 试验方法

$\text{Ni}^{-}\text{P}^{-}\text{SiC}$  复合镀液主要由主盐、还原剂、络合剂、复合粒子  $\text{SiC}$ 、活性剂和适当的稳定剂组成。

本试验采用 45 钢环形磨损试样, 经预处理后分别在不同的工艺下施镀, 施镀后经热处理放到  $\text{M}^{-}200$  型磨损试验机上进行磨损试验。试验时, 摩擦副上环静止, 下环转速为  $200 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ , 正向载荷  $15 \text{ kg}$ , 时间  $30 \text{ min}$ ; 用精度为  $0.1 \text{ mg}$  的天平测量试样磨损量  $m$ , 以其作为耐磨性的考核指标, 磨损量越小则耐磨性越好。

根据经验知,  $\text{Ni}^{-}\text{P}^{-}\text{SiC}$  复合镀的主要影响因素有活性剂  $\text{SiC}$ 、温度、 $\text{pH}$  值和稳定剂, 选择这 5 种影响因素进行正交试验 (表 1)。

表 1 各因素正交试验表 ( $L_{16}(4^5)$ )

水平	A 活性剂/( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	B $\text{SiC}/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	C 温度/	D $\text{pH}$	E 稳定剂/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
1	0.15	15.0	80	4.8	0.60
2	0.10	12.5	85	4.7	0.55
3	0.05	10.0	90	4.6	0.50
4	0	7.5	95	4.5	0.45

## 2 试验结果与分析

各因素对镀层磨损量的影响见图 1, 镀层显微组织形貌见图 2, 确定试样磨损量的正交试验结果见表 2。可以看出:

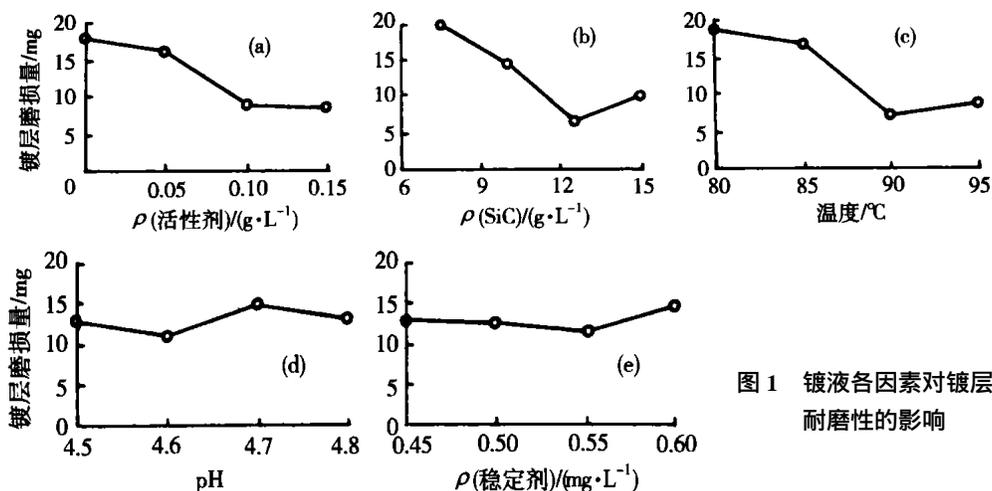


图 1 镀液各因素对镀层耐磨性的影响

1) 活性剂对复合镀层磨损量的影响。从图 1 (a) 可见, 随着镀液中活性剂质量浓度的增加, 镀层的耐磨性提高。这是因为活性剂的加入使  $\text{SiC}$  粒子充分分散悬浮于溶液中, 这样, 镀层中就可能复合更多的均匀分布的  $\text{SiC}$  微粒 (图 2), 因而大大提高了镀层的耐磨性能。

2) 镀液中  $\text{SiC}$  的添加量对复合镀层耐磨性能的影响。试验结果表明,  $\text{SiC}$  的添加量对镀层

的耐磨性有明显的影 响。如图 1(b) 所示, 随着镀液中 SiC 质量浓度  $\rho$  的增加, 镀层的耐磨性逐渐提高, 但当镀液中  $\rho(\text{SiC})$  增加到  $12.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  时, 镀层的磨损量达到最低, 随后有增加的趋势。这是因为, 随着溶液中 SiC 量的增加, 镀层中  $\rho(\text{SiC})$  也增加, 当镀层中  $\rho(\text{SiC})$  超过一定限度后, SiC 粒子和基体间的结合力降低, 在摩擦过程中 SiC 粒子易脱落, 加剧了磨粒磨损, 致使镀层的耐磨性能降低。

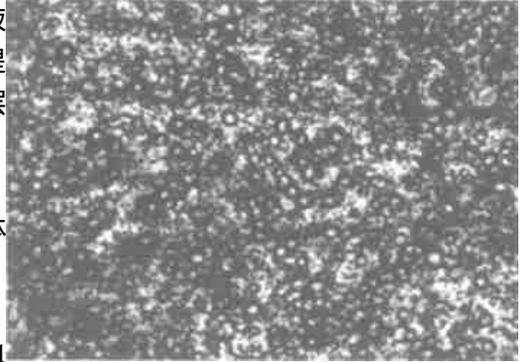


图 2 镀层的组织形貌  $\times 500$

3) 镀液温度对镀层耐磨性能的影响。从图 1(c) 可见, 当施镀温度由  $80^\circ\text{C}$  逐渐升高时, 镀层的耐磨性逐渐增强; 当温度达到约  $90^\circ\text{C}$  时, 镀层磨损量最小, 耐磨性最好。这是因为随着施镀温度的升高, 镀层的沉积速度加快, 镀层中 SiC 的共析量提高, 使镀层的耐磨性能大大提高; 但当施镀温度超过  $90^\circ\text{C}$  时, Ni-P 合金的沉积速度会高于 SiC 的共析速度<sup>[3]</sup>, 致使镀层中 SiC 粒子的含量相对降低, 镀层的耐磨性能开始下降。

表 2 试样磨损量的正交试验结果

序号	A 活性剂	B SiC	C 温度	D pH	E 稳定剂	磨损量/mg
1	1	1	1	1	1	13.8
2	1	2	2	2	2	6.8
3	1	3	3	3	3	3.0
4	1	4	4	4	4	11.6
5	2	1	2	3	4	8.5
6	2	2	1	4	3	7.4
7	2	3	4	1	2	5.2
8	2	4	3	2	1	14.6
9	3	1	3	4	2	6.1
10	3	2	4	3	1	5.6
11	3	3	1	2	4	25.8
12	3	4	2	1	3	27.0
13	4	1	4	2	3	12.7
14	4	2	3	1	4	6.9
15	4	3	2	4	1	25.5
16	4	4	1	3	2	27.7
$M_1$	8.80	10.35	18.65	13.22	14.87	
$M_2$	8.92	6.67	16.95	14.97	11.47	
$M_3$	16.20	14.87	7.20	11.15	12.52	
$M_4$	18.15	20.17	8.77	12.72	13.20	
离差平方和(S)	17.639	25.499	23.239	1.857	1.527	

注:  $M_i$  为各水平损失质量均值。

4) pH 值和稳定剂的影响。图 1(d) 所示, 镀液的 pH 值为 4.5~4.8 时, 对镀层的耐磨性影响不大。加入稳定剂的主要作用是稳定镀液, 减少分解, 对耐磨性的影响也不大(图 1(e))。

5) 各因素作用分析。镀液中 SiC 加入量的离差平方和  $S$  值最大(表 2), 表明镀液中 SiC 加入量是影响镀层耐磨性的最重要因素, 其次是温度和活性剂的加入量。镀液的 pH 值及稳定剂的加入量对镀层的耐磨性能影响不大。根据优化原则, 磨损量均值小者为优化工艺, 从表 2 可知, 最佳优化工艺因素的组合为  $A_1, B_2, C_3, D_3, E_2$ 。

### 3 优化工艺验证

从表 2 可见, 在所做的 16 组试验工艺中, 均没有  $A_1 B_2 C_3 D_3 E_2$  的组合。为验证该优化工艺是否可行, 重新按照优化工艺参数对 3 组试样施镀, 并进行了磨损试验(试验条件同前)。3 次试验结果的平均磨损量仅约为 2.5 mg, 耐磨性考核比较优异, 同时在试验过程中, 镀液稳定, 不易分解, 镀层质量较好, 可见该优化工艺具有可行性。

### 4 结论

1) 通过试验, 对影响 Ni-P-SiC 复合镀的 5 个主要因素进行了优化组合。所得最佳因素组合为: 活性剂  $0.15 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , SiC  $12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 施镀温度  $90^\circ\text{C}$ , pH 值 4.6, 稳定剂  $0.55 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

2) SiC 加入量、施镀温度及活性剂的加入量是影响镀层耐磨性的主要因素, 其参数分别有一个最佳值, 在施镀时应严加控制; pH 值及稳定剂的加入量对镀层耐磨性的影响是次要因素, 其值可按一般化学镀镍时的参数选用。

### 参 考 文 献

- 1 牛丽媛 镀镍工艺在汽车工业上的发展 汽车工艺与材料, 1999(1): 12~14
- 2 胡信国 化学镀镍技术的新进展 新材料新工艺, 2001(2): 35~37
- 3 郭立力 镍磷化学镀及复合镀工艺和性能的研究: [学位论文]. 北京: 中国农业大学, 1999