

# 电铸与电弧喷涂相结合的模具制造方法

Mold Manufacturing Method Combining  
Electro-forming with Arc Spraying

王伊卿, 唐一平, 赵文轸, 卢秉恒

(西安交通大学机械学院先进制造技术研究所, 西安 710049)

WANG Yi-qing, TANG Yi-ping, ZHAO Wen-zhen, LU Bing-heng  
(Xi an Jiaotong University, Xi an 710049, China)

**摘要:** 介绍了一种电弧喷涂与电铸相结合制造模具的独特方法, 与电铸模具制造方法相比, 可提高模具制造速度五倍; 与电弧喷涂模具相比, 性能大幅度提高。

**关键词:** 电铸; 电弧喷涂; 模具制造; 性能

中图分类号: TQ153.43; TG76 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2001)06-0030-03

**Abstract:** A special method for manufacturing molds through integrated arc spraying with electro-forming was investigated. The results show that the mold manufacturing method of combining electro-forming with arc spraying can save 60% ~ 80% manufacturing cycle and 80% cost relative to pure electro-forming. The hardness of the mold can reach HV600 by optimizing the electro-forming parameter. The performance of the mold can be greatly enhanced compared with pure arc spraying mold. This method can eliminate the tedious measuring process on the original model and can perfectly copy the dimension and surface morphology of the model.

**Key words:** electro-forming; arc spraying; mold manufacturing; performance

电铸Ni-Co合金是传统的模具制造方法之一, 具有硬度高、应力低以及复型性好等特点, 广泛应用于注塑模、光碟压模<sup>[1]</sup>, 但电铸速度慢, 模具制造周期长, 一定程度上限制了电铸法制造模具的发展。电弧喷涂模具制造是80年代后期成熟的一种模具制造方法, 结合先进的激光快速成型(SLA)树脂模型, 可使模具制造周期缩短至数天甚至数小时, 但是模具材料目前还仅限于锌或锌铝合金, 硬度较低, 低于HV100, 只能用作简易模具或经济模具<sup>[2]</sup>。电弧喷涂与电铸相结合制造模具的方法, 可大幅度缩短电铸模具制造周期, 并大幅度提高电弧喷涂模具的性能。

## 1 实验方法

本实验中采用(SLA)树脂模型, 为提高模具表面硬度, 在(SLA)树脂模型表面电铸0.2~0.4mm的Ni-Co合金, 电铸前采用化学镀在模型表面形成一厚度几个微米的导电层。为提高模具制造速度, 电弧喷涂4~6mm的Zn-Al合金层, 通过浇铸背衬材料等后续工艺, 完成模具制造。

化学镀前处理工艺包括敏化、水解及活化, 化学镀液的主要成分包括NiSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>·

2H<sub>2</sub>O(柠檬酸钠), NH<sub>4</sub>Cl及NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O(次亚磷酸钠), pH值为4~5, 温度35~45℃, 化学镀4h, 镀层厚度5μm。

电铸液的主要成分包括NaCl, NiSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O, CoSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub>(硼酸), C<sub>10</sub>H<sub>6</sub>(SO<sub>3</sub>Na)<sub>2</sub>(萘二磺酸钠), 甲醛, C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>SO<sub>3</sub>Na(十二烷基硫酸钠), pH值3.5~4.5, 温度40~60℃, 阴极电流密度100~400A/m<sup>2</sup>。

电弧喷涂工艺如下: 喷涂前Ni-Co合金表面粗化, 空载电压25V, 喷涂电流80~100A, 喷涂距离12~14cm。

采用MICROMET II型显微硬度计测试电铸层硬度, 采用DEKTA<sup>3</sup>ST轮廓仪测试模型及模具的表面粗糙度。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 模具的制造周期与成本

电铸层与电弧喷涂层的沉积速度、性能与成本如表1所示, 电铸模的厚度至少应在5mm以上, 才能保证模具的刚度与精度, 才具有实用价值, 这样一来, 电铸模的制造周期至少在80~200h以上, 另外, 电铸模

的制造成本也不容忽视, 制造如图 1 所示的模具, 成本至少在 3000 元以上。如果在保证不降低电铸模使用性能的前提下, 减小电铸层的厚度至 0.2 ~ 0.4mm, 采用电弧喷涂 Zn-Al 合金加厚至 5mm, 仅需要 10 ~ 20h, 成本不超过 500 元。

表 1 电铸层与电弧喷涂层的沉积速度、硬度与成本  
Table 1 Deposition rate, hardness, and cost of electro-forming and arc spraying coating

材料	硬度 (HV)	沉积速度/ ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ )	成本/ ( $\text{RMB} / \text{cm}^3$ )
电铸 Ni-Co 合金	550 ~ 650	0.02 ~ 0.6	> 60
电弧喷涂 Zn-Al 合金	50 ~ 70	1 ~ 2	< 4

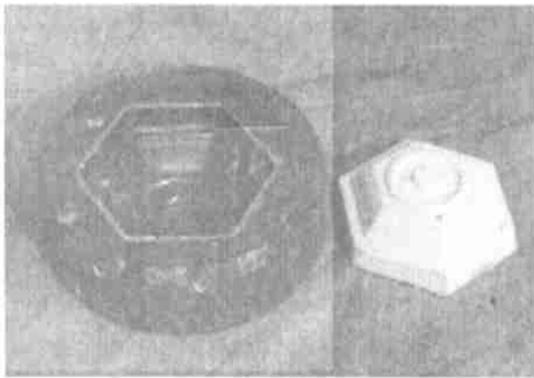


图 1 电铸、电弧喷涂相结合制造的模具

Fig. 1 Model and the mold manufactured by combining electro-forming with arc spraying

## 2.2 影响镍钴合金镀层显微硬度的主要因素

模具金属层的截面组织如图 2 所示, 模具的性能主要决定于电铸层的硬度, 电铸层的硬度与电铸液成分及电铸工艺有关, 图 3 为 Ni-Co 合金电铸层的显微硬度随电铸电流及电铸温度的变化关系, 由图 3 可知, 随阴极电流密度的增大, 电铸层的显微硬度降低; 在本实验中,  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  为 10g/L 的电解液中, 40 时, 电铸层硬度最高, 60 时电铸层硬度最低;  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  为 30g/L 的电解液中, 60 时, 电铸层硬度最高, 20 时电铸层硬度最低。在图 3 中, 可以看出, 电解液中  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  含量越高, 硬度越高。

在本实验中, 所得电铸层晶体结构为取代式镍基固溶体 (面心立方), 钴的原子半径 (0.125nm) 大于镍的原子半径 (0.124nm), 钴原子的固溶可造成固溶体晶格点阵畸变, 阻止位错的运动, 其结果是结晶细致, 提高硬度。

电铸层的硬度是镍基固溶体中钴的固溶量、阴极电流密度以及电铸温度共同作用的结果, 阴极电流密

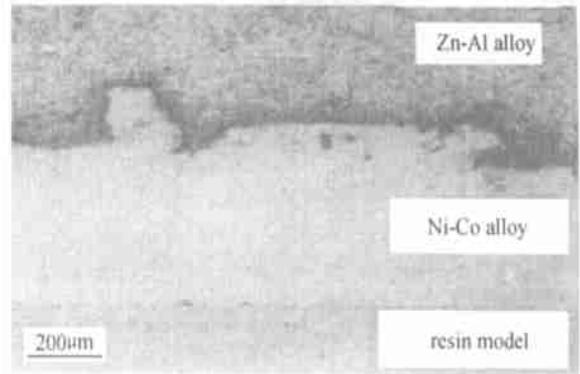


图 2 模具金属壳的截面组织

Fig. 2 Cross section of the coating manufactured by combining electro-forming with arc spraying

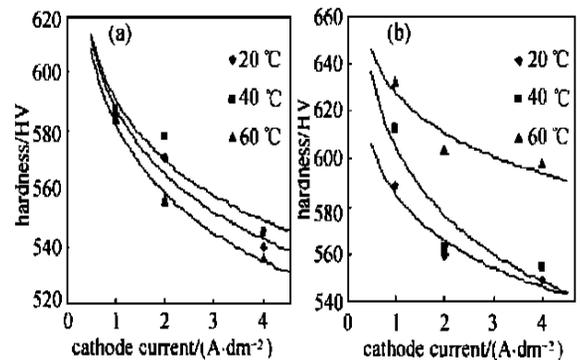


图 3 电铸层显微硬度随阴极电流密度及电铸温度的变化

Fig. 3 Relationship between hardness and cathode current, temperature of Ni-Co alloy coating

(a)  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  10g/L; (b)  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  30g/L

度的增大, 一方面使晶粒细化, 提高硬度<sup>[3]</sup>, 另一方面电流密度的提高, 电铸层中钴含量降低<sup>[4]</sup>, 钴原子阻止晶粒长大的作用减弱, 提高硬度的作用程度降低, 从图 3 看出, 阴极电流密度的增大, 电铸层中钴的含量降低, 固溶强化作用减弱, 综合作用结果导致电铸层硬度下降。

电铸温度的升高可以增加电铸层中钴的含量, 提高电铸层硬度, 但同时, 电铸温度的升高, 增大了离子扩散速度, 降低了浓差极化, 离子脱水过程加快, 离子和阴极表面的活性增强, 电化学极化也降低, 沉积速度加快, 形成结晶组织粗大疏松的胞状组织, 导致硬度下降<sup>[5]</sup>。因此, 温度对电铸层显微硬度的影响有正反两方面。 $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  为 10g/L 的电解液中, 电铸温度为 60 时, 结晶组织粗大, 导致硬度下降的作用程度大于钴固溶强化提高硬度的作用, 表现出硬度最低。随着电解液中钴离子浓度提高, 电铸层中钴含量增大, 固溶强化作用逐渐增大,  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  为 30g/L 的电解液中, 钴固溶提高硬度的作用程度显

著,虽然温度升高,有导致硬度下降的作用,但综合作用结果使硬度提高。

### 2.3 模具的精度

模型及模具的部分尺寸测量结果如表2,模型及模具的表面粗糙度测量结果如图4所示。

表2 模型及模具的部分尺寸测量结果

Table 2 Part dimension of the model and the mold

	1	2	3	4	5	6		$L$	
模型	结果1	60.25	60.30	60.15	59.50	60.15	59.35	39.34	66.78
	结果2	60.45	60.15	59.55	59.50	60.30	59.55	39.14	66.58
	结果3	60.55	60.35	60.15	60.10	60.15	60.00	39.28	66.76
	平均值	60.42	60.27	60.8	59.57	60.20	59.50	39.25	66.71
模具	结果1	60.25	60.15	60.10	60.05	60.25	60.05	39.26	66.78
	结果2	60.25	60.20	60.10	59.55	60.10	60.05	39.35	66.72
	结果3	60.30	60.20	60.15	59.55	60.15	59.55	39.32	66.68
	平均值	60.27	60.18	60.12	59.58	60.17	60.02	29.31	66.72

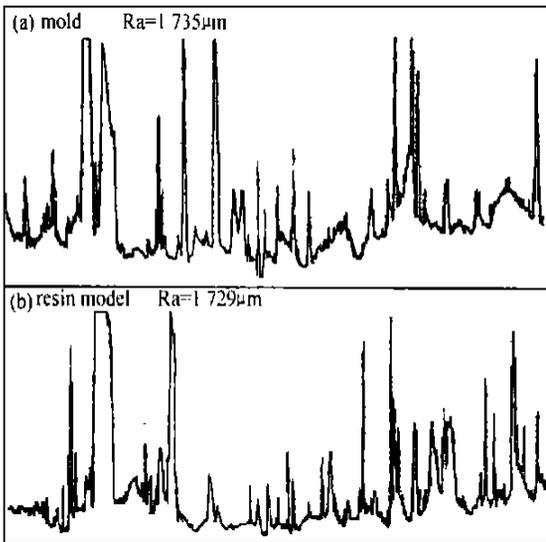


图4 模具与模型的表面粗糙度 (a) 模具; 模型 (b)  
Fig. 4 Surface roughness of mold (a) and resin model (b)

如图1所示的模型与模具,如采用机械制造方法,首先必须采用三坐标测量机等精密仪器精确地测量模型详细的尺寸,再经过车、铣、镗、磨以及热处理等工序,工艺复杂,对设备精度、人员技术水平要求较高,由于此模型材料特殊,表面形状不十分规则,测量误差较大,机械加工比较困难,因此模具的尺寸精度难以保证,特别是模具型腔难以磨削加工,表面粗糙度也不容易保证,只能采用手工抛光,制造周期长,成本较高。如图5所示的模型CAD中的尺寸 $L$ 及 $a_1$ 至 $a_6$ ,如果是接触式测量, $L$ 及 $a_1$ 至 $a_6$ 测量误差一般为 $\pm$

0.2,六个顶角的测量误差一般为 $\pm 0.2$ 。采用电铸与电弧喷涂相结合的模具制造方法,不需要尺寸测量,从表2的测量结果看出,模型与模具的尺寸相差不超过测量误差,从图4的表面轮廓测量结果可以看出,模型的粗糙度达到 $Ra1.753$ ,模具的粗糙度达到 $Ra1.729$ ,相当于7级,虽然不及手工抛光的质量,但却完美地再现了模型的表面型貌。

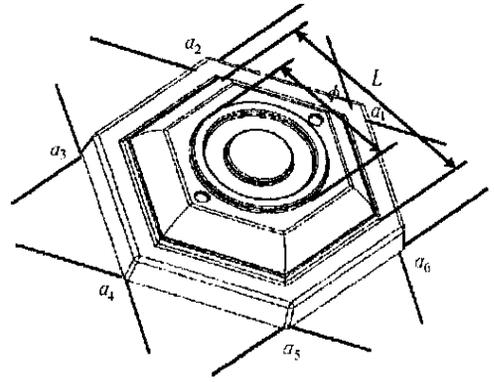


图5 模型的CAD

Fig. 5 CAD of the model

### 3 结论

电铸与电弧喷涂相结合用于模具制造,比电铸相同模具节省时间60%~90%,可降低制造成本80%;通过优化电铸工艺,可使模具表面硬度达到HV600以上,与电弧喷涂模具相比,性能大幅度提高;与机械加工相比,模具的制造不需要尺寸测量,能够完美地再现模型的尺寸与表面形貌。

#### 参考文献

- [1] [美]弗利得里克A洛温海姆主编.现代电镀[M].北京:机械工业出版社,1982:189.
- [2] Wang Yiqing, Zhao Wenzhen, Tang Yiping, Lu Bingheng. Selection of Material and Process for Arc Spray Molding [C]. I-CAMT 1999, Xi'an, China.
- [3] 上海轻工业专科学校编.电镀原理与工艺[M].上海:上海科学技术出版社,1978:11.
- [4] 朱龙章,张庆元等.镍钴合金镀层的电沉积及其耐腐蚀性的研究[J],材料保护,1997,5:4.
- [5] 黄子勋,吴纯素编.电镀理论[M].北京:中国农业机械出版社,1982:65.

基金项目:国家“九五”重点科技攻关项目(96-A22-02)

收稿日期:1999-12-20; 修订日期:2001-02-20

作者简介:王伊卿(1964-),男,博士,研究方向:金属表面工程,模具快速制造。联系地址:西安交通大学机械学院先进制造技术研究所(710049)。

本文编辑:孙常青