

# 新型镍磷合金弹性材料的性能研究

三五—厂 肖长庚 王玉环  
王伟兰 印伯洪 吴岳兴

## 一、概 述

众所周知，工业上用的金属材料几乎都是经冶炼后成型的各种型材，如作为波纹管元件，通常是采用带材经过下料、碾压、拉伸、液压成型、热处理、表面处理等几十道工序成型出来的。近年来，我们采用化学沉积方法成型镍磷合金波纹管的工艺已获得成功。这种方法具有工艺简单、工艺装备少、生产周期短、成本低等特点，特别适用于小型、薄壁、形状复杂及深波波纹管的制造。所制的波纹管弹性好、迟滞小、耐腐蚀，目前已在一些精密仪器中得到愈来愈广泛的应用。

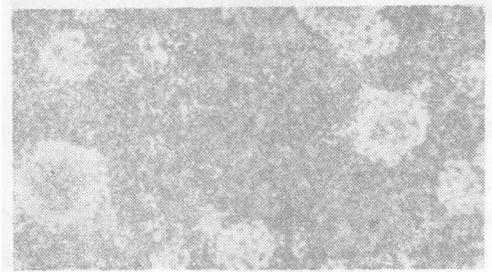
化学沉积镍磷合金材料的有关特征，目前尚未见到过报道。为了对化学沉积镍磷合金波纹管有进一步的认识，便于更好地推广应用，我们对其材料性能进行了试验研究。

## 二、化学沉积镍磷合金的组织结构

一般采用酸性溶液化学沉积镍磷合金，其含磷量可在1~15%范围变化。但含磷量过低或过高，都不适宜选作弹性材料，我们选用含磷量为5%的镍磷合金进行试验。试片系根据试验技术条件要求的尺寸，预先沉积在铝基体上，然后脱模后经热处理而成。

化学沉积的镍磷合金镀态时是一种无定型非晶态结构，这是A·W·Goldenstein及其同事们<sup>[1]</sup>对含磷量为7~10%的镀态沉积层进行

X射线衍射试验得出的结论。近年来，国内也有同样的报道<sup>[2]</sup>。A·H·Graham等人<sup>[3]</sup>通过对X射线和电子衍射图象分析，认为镀态的镍磷合金层是磷在晶态镍中的过饱和固溶体，含磷量超过7%，不仅宽化并移动了X射线或电子反射线条，同时也降低了富镍固溶体中{111}线强度<sup>[3]</sup>。镀态镍磷沉积层晶粒很细，其金相组织见图1。镀态镍磷沉积层可能由于存在应力的关系，在存放一段时间后，发现有自行碎裂现象。



500×

图1 镀态镍磷合金的金相组织

无论在酸性溶液或碱性溶液中所获得的镍磷合金沉积层都呈薄片(层)状结构<sup>[1,3]</sup>，只是薄片厚度有差异。经高达400℃热处理之后，沉积层的显微组织与镀态时具有类似的薄层形状，尽管此时镍磷合金已经转变成Ni和Ni<sub>3</sub>P平衡相<sup>[3]</sup>经600℃2小时热处理后，其薄片层状组织已经消失。

热处理使镍磷合金的结构发生变化，400℃1小时热处理后，完全转变为晶态结构，这与文献中发表的组织结构是一致的。400℃1小时处理后的金相组织见图2。

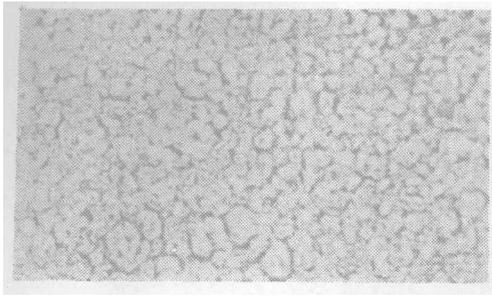


图 2 400°C 1 小时热处理后  
沉积层的金相组织

镍磷合金经 600°C 3 小时热处理后, Ni 和 Ni<sub>3</sub>P 两个平衡相在显微照片中看得很清楚, 但组织太细小, 以致不能清楚地分辨出来。600°C 3 小时热处理后金相组织见图 3。

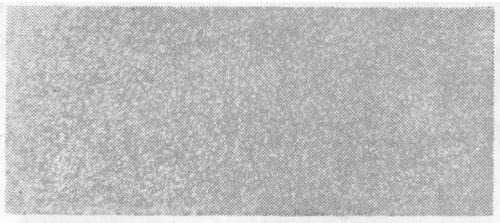


图 3 600°C 3 小时热处理后  
沉积层的金相组织

### 三、热处理对镍磷合金硬度的影响

化学沉积的镍磷合金随配方、工艺不同, 硬度也有差异。镀态镍磷合金的硬度约为 400 ~ 600 kg/mm<sup>2</sup>。

热处理对硬度的影响很大, 随着热处理温度升高, 硬度急剧上升, 大约在 375°C 1 小时热处理出现峰值, 但温度继续升高, 硬度反而急剧下降, 几种不同含磷量的镍磷合金热处理温度与硬度的关系见图 4。

热处理引起镍磷合金硬度的变化, 是由本身结构变化所决定的。随着热处理温度的升高, Ni<sub>3</sub>P 相的析出量增加。Ni<sub>3</sub>P 相是金属间化合物, 具有很高的硬度<sup>[1]</sup>, 这种相弥散析出, 增加了沉积层塑性变形时滑动面的阻力, 使沉积

层强化, 提高了硬度。在 375°C 左右热处理 1 小时, Ni<sub>3</sub>P 相高度弥散析出, 其硬度达到了峰值, 但热处理温度继续升高, 硬质相 Ni<sub>3</sub>P 开始较明显地聚集, 减少 Ni<sub>3</sub>P 在沉积层中的弥散度, 因而导致硬度明显下降。

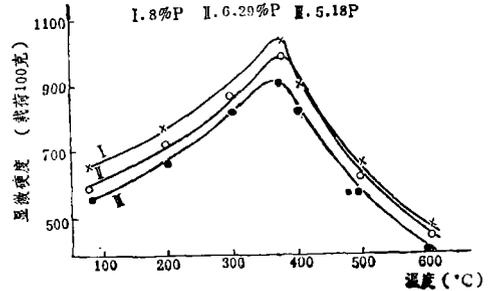


图 4 镍磷合金沉积层的硬度与  
热处理温度的关系

由于沉积层的硬度与 Ni<sub>3</sub>P 相析出量成正比, 因此沉积层热处理后的硬度随着沉积层中含磷量的增加而升高。

低含磷合金沉积层在低温下热处理, 其硬化速率比高含磷合金快, 但仍比高温下热处理的硬化速度小得多。例如, 在 200°C 热处理 10 小时以上才能达到 375°C 热处理 1 小时的硬度值。

在同一温度 (375°C) 下热处理, 随着热处理时间的延长, 硬度上升, 但超过 1 小时后, 几乎没有影响。图 5 为热处理时间与硬度的关系。

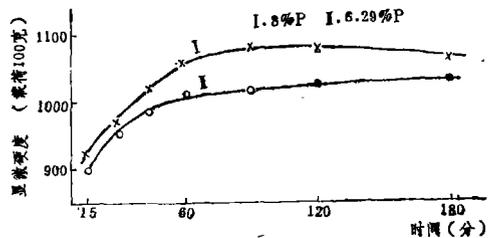


图 5 375°C 热处理中时间与硬度的关系

### 四、镍磷合金的机械强度

机械强度试验是采用薄片沉积层在普通拉力试验机上进行的。但由于镀态镍磷合金材料脆性较大, 未热处理前, 其抗拉强度试验难以

在普通拉力试验机上进行（薄片试样在夹头处断裂）。经热处理后，沉积层的结构发生了变化，应力基本消除，因此材料的性能也产生了变化。我们测得600℃3小时热处理后的抗拉强度为80~100kg/mm<sup>2</sup>，其延伸率为1~1.5%。

## 五、镍磷合金材料的弹性特性

为了探索热处理温度和时间对镍磷合金的弹性特性的影响，我们将镍磷合金试片进行了不同规范的热处理，并委托北京钢铁研究院采用DF-1型带材弹性测试仪进行了性能测试。测试结果已绘成曲线：热处理温度（T）与弹性模量（E）的关系见图6；热处理温度（T）与弹性极限（ $\sigma_{0.005}$ ）的关系见图7；热处理温度（T）与滞后（Hy）的关系见图8；热处

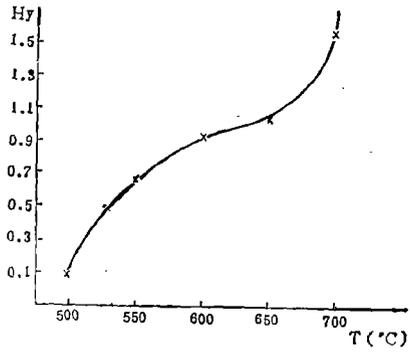


图8 热处理温度与材料的滞后的关系

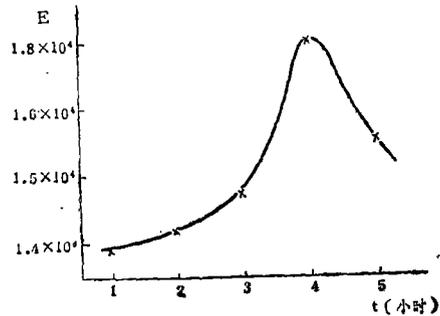


图9 热处理时间与材料的弹性模量的关系（温度为600℃）

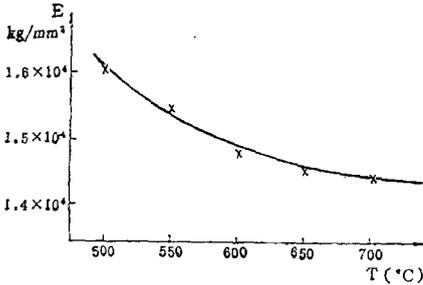


图6 热处理温度与材料的弹性模量的关系

理时间（t）与弹性模量（E）的关系见图9。

试验结果表明，从500~700℃热处理3小时结果来看，镍磷合金材料的弹性模量、弹性极限、弹性滞后都有下降的趋势。

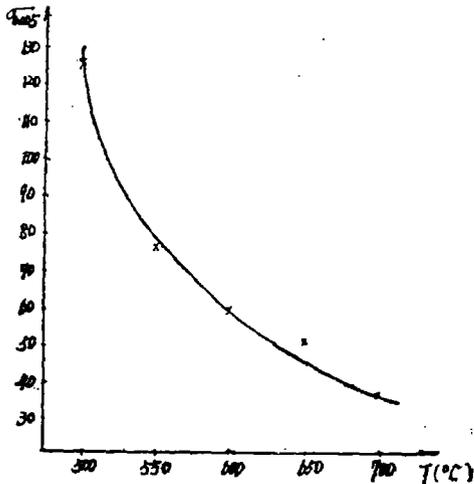


图7 热处理温度与材料的抗弯弹性极限（ $\sigma_{0.005}$ ）的关系

## 六、几点看法

1. 采用化学沉积方法得到的镍磷合金，经适当热处理后是一种性能良好的弹性合金材料，其弹性模量比通常用作弹性元件的铜基合金（如QBe2.0、QBe1.9、QSn6.5-1、H62）大。该材料的强度高，在本试验条件范围内后效一般在0.01%以下。

2. 热处理是决定镍磷合金材料的组织结构、硬度、脆性及其弹性特性的关键，但在较宽温度范围内进行热处理都能得到有使用价值的弹性材料。因此可根据波纹管和其他弹性元件的使用要求，选择不同热处理工艺参数。

# 双氰胺在胶膜中的分布状态及其对胶接性能的影响

唐发伦 郑瑞琪 邹贤武 赖士洪

## 一、前言

双氰胺是环氧树脂较好的潜伏性固化剂。由于双氰胺在一般树脂溶液中是不溶解的，分散的微粒易沉淀析出，给胶粘剂的贮存和使用都带来困难，而且直接影响胶接强度。但是，双氰胺在膜状胶粘剂中的分布状态及其对胶接性能的影响，目前尚未见到报导。

R. B. Perkins 和 S. N. Glarum 介绍了 Narmco 采用不同方法制备的环氧-尼龙-双氰胺胶膜对拉伸剪切强度的影响<sup>[1]</sup>。我们在研究环氧-聚砜-双氰胺膜状胶粘剂的过程中，发现胶膜的制备方法对胶接性能也有明显的影响。本文就两种不同制膜方法所得到的不同胶接性能的原因进行了分析和讨论，实验证明其

※

※

※

※

3. 热处理温度和时间对脆性的影响为低温下热处理脆性大，经高温长时间热处理，如 700℃ 5 小时，可以获得韧性好的材料，但相应的弹性大大下降。

4. 化学沉积的镍磷合金虽具有强度高、弹性好、耐腐蚀性强等特点，但其延伸率还是较小的。不过用化学沉积工艺成型波纹管等弹性元件，不需要经机械碾压、拉伸、成型等工序。我们采用化学沉积的镍磷合金波纹管(φ28×8×0.8)进行寿命试验，其压缩量为最大允许位移的25%，经417000次试验尚未破裂。当压缩量为最大位移20000次时仍未破裂。同时将化学沉积的波纹管装入航空氧气调节器中，经100小时高空和地面模拟振动试验(冲击加速度

原因与双氰胺在胶膜中的分布有关。

## 二、试验和结果

本工作研究的是高强度结构胶粘剂，其主要成分为聚砜改性的环氧树脂，并以纯胶膜的形式提供使用。其试验结果如下：

1. 以二氯乙烷为溶剂配制成的胶液，用流延法制成的胶膜称为流延膜。

2. 将胶粘剂的各组分经混合均匀后，用挤出法制成的胶膜称为挤出膜。

供试验用的硬铝合金采用铬酸阳极化(CA A)和磷酸阳极化(PAA)法进行表面处理后，分别用两种胶膜制备成胶接试样进行抗剪强度、剥离强度等项胶接性能的对比试验，试验结果见表1~3。

为2.5g)，性能良好，并经超寿命试验证明，其波纹管已超过仪表技术条件的要求。

5. 鉴于该种材料是采用特殊成型工艺获得的一种新材料，我们的试验工作还不够全面，有些问题尚待进一步研究探讨。

## 参考资料

[1] Goldenstein, A. W., Rostoker, W., Schossebery, F., Gutzeit, G., J. Electrochem. Soc., 104, No. 2, 1957, 104.

[2] 理化检验通讯(物理部分), 1982, 2.

[3] Grabam, A. H., Lindsay, R. W. and Read, H. J., J. Electrochem. Soc., 112, 1962, 401