

# 离子镀碳膜

D. G. Teer M. Salama〔英〕

## 摘 要

利用电弧或电子枪蒸发源的离子镀工艺可成功地沉积碳膜。该膜具有良好的粘结性、耐磨性以及低的摩擦系数。

衍射分析表明,沉积的碳膜呈石墨状态。本文介绍镀膜工艺、膜的粘结性、摩擦磨损试验以及衍射分析等。

## 一、前 言

离子镀的金属膜即使与基体不熔合成合金,一般都具有良好的粘结性。这种良好的粘结性对于在那种膜一旦脱落就会产生很大摩擦系数的轴承表面上沉积低摩擦膜极为有利。实验证明低摩擦是由于在硬质基体上沉积软膜而产生的,而不只是膜材料的固有特性。具有六方层状结构的材料,例如 $\text{MoS}_2$ 和石墨,无论作为固体或表面镀膜都具有低摩擦。利用真空蒸镀和高温分解含碳的气体,例如甲烷,即可沉积碳膜。利用离子束沉积碳膜,可获得类金刚石的结构。但是,目前还没有关于离子镀碳膜方面的报导,因此,决定从摩擦学应用的角度来研究离子镀碳膜的性能。

## 二、离子镀工艺

目前有两种方法可沉积碳膜。第一种只适用于沉积较薄的膜(厚度 $< 1$ 微米),采用常用的离子镀方法,所用的蒸发源为通过大电流的、接触式的尖碳棒。为了增加膜的厚度,可采用四个同样的蒸发源连续进行操作。第二种采用差压抽气的15匝电子束枪,使碳蒸发,利用这种方法可沉积较厚的膜。

基体材料为铜和软钢。第一种方法中所用的碳棒是光谱纯的高石墨化碳。第二种方法中所用的碳都是高纯度的,但是其石墨化程度可从极低变到很高。

采用标准的离子镀方法。研究的偏压为 $-500$ 伏 $\sim -5000$ 伏,氩气压力的范围也比较大。在沉积前基体受离子轰击30分钟,用以清洁表面。沉积是在与离子轰击同样的偏压和氩气压力下进行的。基体安装在水冷式电极上,利用热电偶测量基体的整体温度。在任何一种离子镀条件下,基体的整体温度不超过 $400^\circ\text{C}$ 。

## 三、碳膜外观

离子镀的碳膜具有无光泽的深灰色,与基体无分离现象。相反,真空蒸镀的碳膜具有光

亮的黑色，在内应力作用下呈气泡状从基体上剥离。在-3千伏偏压和10微米氩气压力下，将碳沉积在铜基体上，基体表面预先未经辉光放电清洁，碳膜成黑色棉绒状。扫描电子显微镜中显示出碳膜按晶须形式增长。对这种奇特的结果未作进一步的研究。

#### 四、 粘结试验

离子镀碳膜的粘结性，用胶带粘贴法试验未产生粘结失效。后采用金刚石划痕法，用Leitz显微硬度计在可控制负荷的条件下进行。划后在显微镜下进行观察。铜基体上用500克负荷时，金刚石已在基体上犁出一条沟；钢基体上用200克负荷，基体发生塑性变形，膜也随着基体而变形，但仍附在钢上。所有的试验中，膜只有一点或没有剥离。

#### 五、 晶格组织

利用X射线衍射仪和反射电子衍射研究Debye-Scherrer粉末图形，该图形是由碳膜表面上刮下的材料形成的。真空蒸镀的碳膜以及晶须增长的图形中都有宽的扩散带，表明是石墨化程度低的碳。离子镀的碳膜其Debye-Scherrer图形中具有明显的线条，表明是高石墨化的碳。在铜基体的离子镀碳膜上可按其园形计算出晶格参数 $a = 2.465$ 埃， $c = 6.705$ 埃，几乎等于ASTM中列出的石墨的晶格参数（ $a = 2.463$ 埃， $c = 6.714$ 埃）。从钢基体的离子镀碳膜上可获得同样的图形，但是其中由于 $Fe_3C$ 而产生的夹杂线。

在离子镀的碳膜反射电子衍射图形中同样表明是典型的高石墨化碳，其基面（002）环要比期望的随机方位石墨镀层弱得多，这意味着由于基面平行于基体表面而产生了晶格缺陷。

#### 六、 摩擦试验

利用改装的Leitz显微硬度试验机测定碳膜的摩擦系数。半径1.08毫米、维氏硬度850的半球形钢栓代替锥形金钢石压头。离子镀的试件被安装在特殊结构的试件台上，该试件台由4片悬臂弹簧支持。试件台本身安装在显微硬度试验机的标准样品台上。钢栓压紧在试件上，标准样品台由马达驱动。试件产生运动，钢栓与试件之间的摩擦力使叶片弹簧变形、弹簧变形与摩擦力成正比。利用传感器测定弹簧变形，其信号被输入到一记录器中。

经过一次摩擦后，钢栓被抬起，试件台回复到其原来的起始位置，然后把钢栓再压在试件上，进行下一次的摩擦。可以这样重复多次，并利用显微镜观察磨损轨迹。图1表示在铜基体上的离子镀碳膜在两种不同的载荷下，摩擦系数随滑动次数而变化。在这两种载荷下，摩擦系数都在最初的跑合阶段中下降到一较低的稳定值。较大的载荷在铜基体上产生较大的塑性变形、从而得到较高的摩擦系数。

较长时期的运转是在标准的栓-盘试验机上进行的。采用半径3.97毫米、维氏硬度850的半球形钢栓。转速为100转/分、图2表示在0.5公斤和2公斤载荷下摩擦系数随转数而变化。到失效时摩擦轨迹不是突然增大，而是像离子镀金属膜那样逐渐增大。利用扫描电子显微镜观察后证明，离子镀的碳膜是被逐渐磨掉的，并未发现碳膜与基体分离的现象。

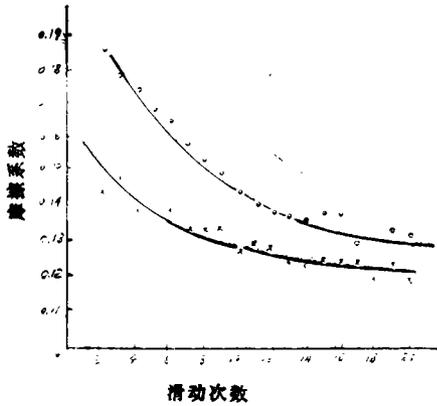


图1 铜基体上离子镀碳膜的摩擦系数随滑动次数而变化  
○—负荷500克；×—负荷200克

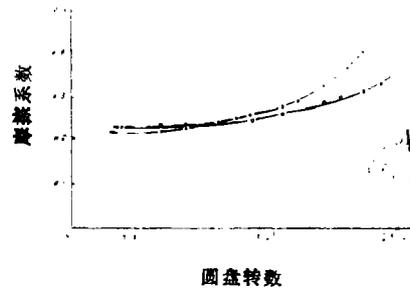


图2 钢基体上离子镀碳膜的摩擦系数随圆盘转数而变化  
●—负荷0.5公斤；○—负荷2公斤

## 七、结 论

真空沉积的碳膜其粘结性较差，具有较大的内应力以及较低的石墨化，而离子镀的碳膜具有较大的粘结力、低的内应力和高的石墨化。真空沉积与离子镀碳膜的结构也是不同的。从含碳的气体例如甲烷中将热解碳沉积在加热的基体上，基体的温度要求高达 $1000^{\circ}\text{C}\sim 2000^{\circ}\text{C}$ ，为得到高石墨化的碳，要达 $3000^{\circ}\text{C}$ 。而离子镀工艺中基体的整体温度通常低于 $400^{\circ}\text{C}$ ，但是由于碳原子沉积时具有较大的动能，所以基体表面的温度是相当高的。较高的表面温度对于产生高度石墨化具有决定性的作用。

邵本述摘译自《Proceedings of Conf. of Ion Plating and Allied Techniques》1977, 103~114.