

## 等离子体科学技术应用专题系列介绍

### 第四讲 离子镀技术在刀具生产中的应用

张世兴

刀具表面强化方法有许多种,主要有:化学处理、渗透处理、镀层法[如化学汽相沉积(CVD)法和物理汽相沉积(PVD)法]。

CVD法的工作温度在900℃以上,主要用于硬质合金基体。CVD法镀层硬质合金刀片是1969年问世的,目前欧美一些国家使用面已达70%,因此,人们在使用CVD法方面已积累了较多的经验。

PVD法包括的内容较多,真空蒸发、真空溅射和离子镀都属于这一类。离子镀技术自1963年提出后,二十年来,已广泛用于航天、航空、电子学、轻工和机械等部门。目前,机械加工所采用的刀具一半以上仍然是由高速钢制造的,特别是象那些几何形状复杂、尺寸精度要求高的刀具,如成型铣刀、铰刀、滚齿刀和插齿刀等不易用硬质合金制造。由于离子镀技术可以在较低的温度下沉积致密、结合牢固的超硬镀层,所以可以使上述高速钢刀具得以强化,延长其使用寿命,提高切削效率,改善被加工部件的精度和光洁度,被称之为高速钢工具的一次革命。

用CVD法和PVD法得到的超硬镀层主要是碳化物、氮化物和氧化物。目前,除单镀层外,还有双镀层、三镀层和复合镀层等。

近年来,少数发达国家已开始工业规模生产镀层高速钢刀具,国内不少单位已在实验室范围取得可喜的成果,可以预见,这一技术将在我国蓬勃发展起来。

本文仅就离子镀技术在刀具中的应用作一简单介绍。

#### 一、镀层方法

在金属基体上镀高硬度、耐磨镀层的方法有两种,即化学汽相沉积和物理汽相沉积。

##### 1. 化学汽相沉积

化学汽相沉积历史悠久,目前已普遍应用于硬质合金刀片。它是利用易挥发的金属卤化物与反应气体,在一定的温度条件下进行反应,在工件表面生成化合物的方法。该方法在硬质合金基体上可以有效地镀TiC, TiCN, TiN和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等。它的主要缺点是化合物必须在高温条件下才能生成,如沉积TiN温度需1000℃,刀具容易退火和变形,这就使它的应用范围受到很大的限制。目前正在研究两种低温化学汽相沉积,一种是采用有机金属化合物,另一种是借助于低气压等离子体。后者是化学汽相沉积和物理汽相沉积的结合,称作等离子体增强化学汽相沉积,简称等离子体化学汽相沉积(PCVD)。上述两种方法可使TiN的化学汽相沉积温度降到500℃,但由于反应速度慢,目前还不能用于生产。

##### 2. 物理汽相沉积

用于刀具生产的物理汽相沉积方法主要有活性反应法、空心阴极辉光放电法和磁控溅射法。

###### (1) 活性反应法

活性反应蒸镀(Activated Reactive Evaporation)法,简称ARE法。该法是采用电子束作

热源,探针作激活极。为了提高离子化效率,在蒸发源和探针之间另加一组灯丝即可制成改进型的 ARE,亦称四极离子镀。ARE 法工作原理见图 1。

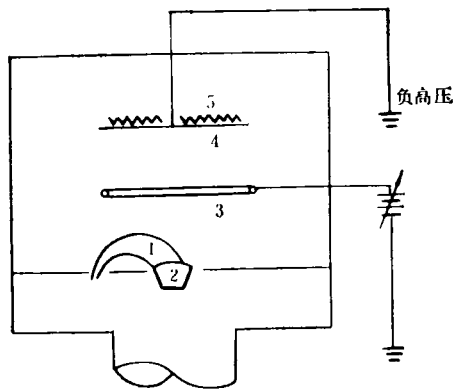


图 1 ARE 法示意图

1.电子束; 2.水冷坩埚; 3.探测极; 4.工件; 5.加热器。

这种方法所使用的电子束的加速电压高达几千伏,当电子束在磁场作用下聚焦在坩埚的蒸发材料上时,金属受热熔化并蒸发,在熔融态的金属表面上产生薄薄的一层等离子体<sup>[1]</sup>,探针将等离子体中的能量很低的二次电子和电子束中的低能电子向上吸引,使之得到一定的动能,这些电子和蒸发材料的分子、反应气体的分子进行非弹性碰撞,使之成为激发态的分子、原子、游离基或离子,这些活性产物极易生成新的化合物。

这种蒸发源的优点是:(a)具有高的功率密度,蒸发速度快。(b)电子束是靠电场、磁场产生的,功率容易控制。缺点是离子化效率低。

### (2) 空心阴极辉光放电法

空心阴极辉光放电法(Hollow Cathode Discharge)简称 HCD 法。它是利用等离子体电子束作热源,在  $10^{-4}$ — $10^{-2}$ Torr 的氩气环境中,借助于从空心阴极内高密度等离子体中引出的电子束来加热蒸发材料。与 ARE 法相反,等离子体电子束是低电压(几十伏)、大电流(几百安)型的。它依据气体放电点燃曲线——巴刑曲线而设计的,着火电压  $V$  是气体压强  $p$  和极间距离  $d$  乘积的函数。当外加电压增加到点燃电压

时,氩气电离,在空心阴极内产生低压等离子体。其中的正离子不断轰击阴极管(钨管)。当钨管的端部受热至 2300—2400K 时,热电子开始逸出,这些热电子一方面去撞击新补充进来的氩气分子,使之离化,同时又以电子束的形式从阴极管中被引出,作为热源。工作原理见图 2。

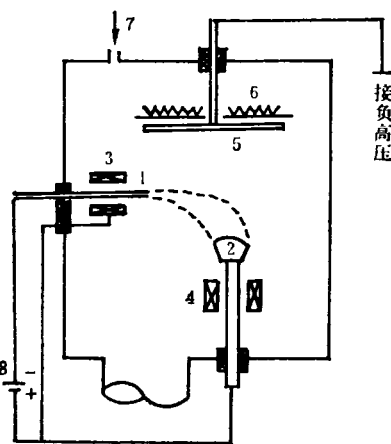


图 2 HCD 法原理图

1.空心阴极; 2.水冷坩埚; 3,4.聚束线圈; 5.工件; 6.加热器; 7.进气管; 8.电源

这种方法的优点是:(a)离子化效率高,有利于化合物的形成;(b)高速中性粒子多达  $11 \times 10^{19}$ ,较 ARE 法高二个数量级;(c)低电压,大电流,操作安全,设备简单。ARE 法和 HCD 法同属于离子镀范畴。

### (3) 磁控溅射

磁控溅射是 1939 年由 F. M. Penning<sup>[2]</sup> 提出的。1974 年, J. Chapin<sup>[3]</sup> 首先发明了平面磁控溅射装置。与普通溅射相比,磁控溅射具有高速、低温等优点。高速是指溅射速率高、成膜快;低温是指基片温升高。上述特点是由于阴极靶面上的环状磁场区域对靶面发射的二次电子进行了有效的控制。这一环状磁场区域称为跑道,磁力线由跑道的外环指向内环,横跨跑道。靶面上发出的二次电子,在电场和上述磁场的作用下,跨越磁力线,轨迹是一条摆线。(见图 3)。电子在沿跑道转圈过程中,与气体分子发生多次碰撞。与普通溅射相比,磁控溅

射中每个电子与气体分子碰撞几率大增。于是,磁控溅射的真空度较普通溅射可以提高一个数量级,溅射电压由千伏降到百伏,溅射电流密度从每平方厘米几毫安增大到每平方厘米数十毫安,从而使溅射功率大幅度地提高。高真空、低电压、大功率这三点都有利于提高溅

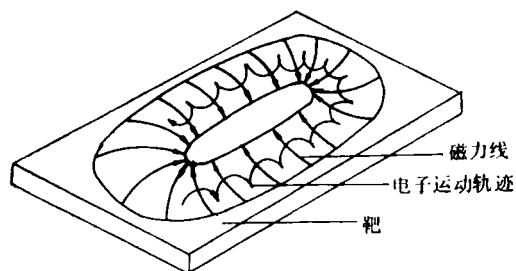


图3 平面磁控溅射原理图

射速度。磁控靶是磁控溅射装置的关键部件。它对磁场有两项基本要求:(1)要构成封闭的环状跑道;(2)磁感应强度的水平分量(即平行于靶面的分量)其最大值要达到200—500Gs。

## 二、应用效果

### 1. 镀层高速钢工具的特点和优越性

(1) 能保持高速钢固有的韧性而耐磨性可以大幅度提高。其他表面硬化处理方法常常是耐磨性得到改善而基体韧性却变低。

(2) 由于低温处理,所以高速钢基体的硬度和形状不变,又因镀层只有几微米,所以刀具的尺寸不变,适合于精加工。

(3) 镀层后工件表面的光洁度不变。

(4) TiN 和 TiC 镀层较高速钢对钢材的亲合性小,故切削时可以提高光洁度1—2级。

(5) 刀具重磨容易,通常重磨后耐用度仍可提高数倍。

### 2. 镀层工具的经济效益

据报道,一些发达国家使用的不重磨的刀具中,有30—50%是加耐磨镀层的。机夹可转位镀层硬质合金刀片,今天已在许多场合占重要地位,欧美一些国家硬质合金刀片使用面已

达70%。

近年来,国际市场已开始出售高速钢镀层刀具,通常售价较无镀层者高1/3—1/2。国内一些单位试用后认为,由于刀具寿命提高3—5倍,降低了刀具成本,节约了大量辅助时间,产品质量也有所改善,因此带来了明显的经济效益。表1是某单位滚齿刀和插齿刀用量调查。由表1可知,仅此一项该厂全年可节省开支约35000元。据某市几个大机床厂调查,每年消耗刀具费用近百万元,如果使用镀层刀具,寿命按平均提高一倍计算,全年可节省几十万元。从全国角度来看就可想而知了。由于刀具寿命提高,还可以节省大量高速钢材料。另外,许多机械制造行业,对机械加工工艺提出了更高的要求,如齿轮加工工艺,迫切需要解决中硬和高硬齿面滚削和插削问题,国防和尖端部门所采用的新的难加工材料,都迫切需要超硬刀具,因此镀层刀具的应用为解决中硬材料的加工开拓了一条新途径。所以,不少发达国家十分重视这一技术的开发和研究。可以肯定地说,人们

表1 镀层刀具经济效益分析

刀具名称与状态		全年用量 (件)	单价 (元)	全年合计 (元)	节约开支 (元)
滚齿刀	未镀	450	80	36000	
	镀膜	150	106.7	16005	20000
插齿刀	未镀	250	90	22500	
	镀膜	63	120	7560	14940

将会比他们试用镀层硬质合金更早地试用镀层高速钢刀具,至少在某些领域镀层高速钢刀具将比镀层硬质合金刀具更快地为人们所接受。

离子镀技术强化刀具是开发不久的新课题,许多问题尚须进一步研究,例如TiN(或TiC)的反应机理,等离子体与材料表面相互作用

(下接第416页)