

# 多弧物理气相沉积技术制备(TiAl)N超硬膜

刘全顺 张静茹 王金发

(哈尔滨第一工具厂, 哈尔滨 150020)

(收稿日期 1997-12-25)

## DEVELOPMENT OF (TiAl)N ADVANCED FILMS BY PVD ARC PROCESS

Liu Quanshun Zhang Jingru Wang Jinfa

(Haerbin First Tool Factory, Haerbin 150020)

**Abstract:** This paper reviews the characteristics of (TiAl)N advanced films by PVD arc process. The structure, composition and surface morphology of (TiAl)N films were studied. And the comparison between the performance of the cutting tools coated with TiN that coated with (TiAl)N is made.

**Keywords:** PVD arc, Advanced films, (TiAl)N.

**摘要:** 主要介绍采用多弧物理气相沉积(PVD)技术研制新型(TiAl)N超硬膜的工艺技术特点。对其膜层相结构、化学成分、显微组织等方面做了分析研究。结合工业生产实际应用进行了(TiAl)N与TiN涂层刀具切削耐用度对比试验。

**关键词:** 多弧物理气相沉积、超硬膜、(TiAl)N。

**分类号:** TQ163、TG71、O484.2。

(TiAl)N超硬膜具有硬度高、耐磨损和较好的抗氧化性能。(TiAl)N涂层的高速钢及硬质合金刀具在切削高硅铝合金、钛镍合金铸铁等材料方面表现出比TiN涂层刀具更加优越的切削性能。美、德、日等国家,目前(TiAl)N涂层刀具占所用涂层刀具的10%左右,且有上升趋势。多弧技术在沉积(TiAl)N超硬膜时,具有离化率高、粒子能量大、可在较低温度(180~500℃)下沉积,且膜层结合度好、组织细密、膜层均匀并通过工艺参数可控制膜中Ti和Al分子百分比。

## 1 主要工艺参数的研究

### 1.1 阴极靶材的选用

在沉积(TiAl)N膜的阴极靶材中加入一定数量的Al。最终膜中Ti、Al分子百分比决定膜的化学物理性质的变化以及(TiAl)N膜的多弧工艺参数的选择与阴极靶材的结构型式和Ti、Al的配比。对于阴极靶材,目前认为Al为10%~50%的合金铸造靶材可供选择使用。

### 1.2 弧源电流密度的选择

弧源电流密度决定靶材的蒸发速率。在相同条件下,(TiAl)N比TiN有较高的沉积速率。试验证明,当电流密度的平均值为 $23 \text{ W/cm}^2$ 时,(TiAl)N的沉积速率是TiN的两倍。(TiAl)N膜中Al含量受弧源电流密度的影响不敏感。当电流密度由 $23 \text{ W/cm}^2$ 增加到 $46 \text{ W/cm}^2$ 时,膜中Al含量的增加不大于3%。

### 1.3 氮分压的选择

多弧沉积(TiAl)N膜与制备TiN膜的情况相同,氮分压的变化对膜核的形成与生长影响不大。图1显示出增加N<sub>2</sub>分压为0.5~5 Pa时,膜中Al的百分比含量有一个较小的变化,大约在3%左右。

#### 1.4 负偏压的影响

工件加负偏压后与真空室壁形成直流电场。试验证明,在沉积过程中工件所加的负偏压对膜中Al含量有较显著的影响。图2显示,膜层中Al的含量随负偏压的增加而减少。负偏压为零时膜中Ti、Al的含量比与靶材中Ti、Al的含量基本相同。

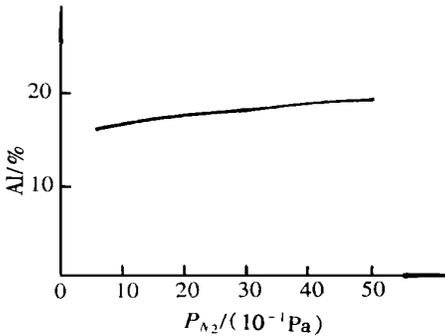


图1 氮分压对膜中Al含量的影响

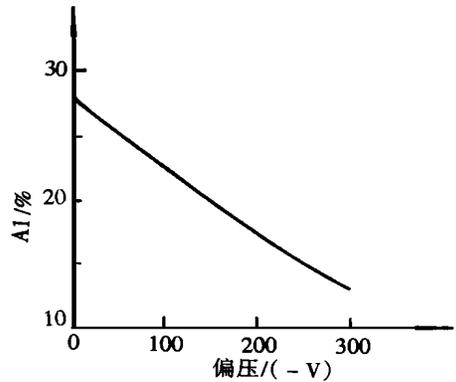


图2 负偏压对膜中Al含量的影响

## 2 膜层的检测与分析

### 2.1 显微硬度

将膜厚为4.48 μm的(TiAl)N高速钢试片,经HXD-1 000型显微硬度计测定,25 g载荷时的显微硬度值为HV2 200~2 700。

### 2.2 结合度

经17.5 kW、20 kHz超声波振荡10 min,膜层无剥落。用划痕测试仪对Al含量为20%的(TiAl)N膜的评定负荷为45~55 N。

### 2.3 X射线衍射分析

经D/max-γB X射线衍射仪分析,膜层组织致密,Ti、Al原子呈置换型面心立方晶格,点阵常数与TiN相同,为 $4.24 \times 10^{-7}$  mm。图3为X射线衍射图显示的晶面峰值强度。图中的数字单位为 $10^{-7}$  mm,横坐标为 $2\theta$ , $\theta$ 为衍射角度。(111峰)较突出,(220)晶面峰值较高,而(200)、(311)峰值强度较低。说明(TiAl)N膜晶体在生长过程中与TiN一样,具有一定的择优取向。由于晶体的各向异性,晶面的择优取向将影响着膜层的机械性能。由于试片膜层较薄,基体中Fe<sub>3</sub>WC和Fe<sub>4</sub>W<sub>2</sub>C也衍射出明显的峰值强度。

### 2.4 (TiAl)N膜化学成分的测定

经能谱成分检测,膜中Ti原子为79%~80%,Al原子为20.1%~20%。Ti、Al原子百分比为69.01%、30.99%。没有其它元素的含量。

### 2.5 扫描电镜形貌分析

经S-570扫描电子显微镜扫描,(TiAl)N膜的表面形貌和膜层表面存在弥散分布的颗粒。直径一般在1~4 μm之间,最大的约为8 μm。这是由于多弧靶源放电蒸发时产生的微小

液滴以扁平形状附着在膜层中,没有形成(TiAl)N相,且颗粒的硬度低于膜层,并使膜表面的粗糙度加大。

### 3 (TiAl)N 涂层刀具的对比切削试验

刀具:  $\varnothing 25.4 \text{ mm} \times 114.3 \text{ mm}$  高速钢立铣刀(M7);加工材料: 15~5 PH;硬度: RC30~32;切削速度: 16.764 m/min;进给: 127 mm/min。磨损量相同时的切削长度分别为: 未涂层刀为 1 016 mm;TiN 涂层刀为 1 828.8 mm,是未涂层的 1.8 倍;(TiAl)N 涂层刀为 2 438.4 mm,是未涂层刀的 2.46 倍,是 TiN 涂层的 1.33 倍。

### 4 结论

(TiAl)N 膜的沉积速率是 TiN 的两倍。(TiAl)N 膜中 Al 元素含量低于靶材中 Al 元素的含量,且沉积过程中随偏压的降低膜中 Al 元素的含量增加。

当膜中 Al 元素的含量达到 13%~17% 时,(TiAl)N 膜的颜色由金黄色变为黑紫色。(TiAl)N 膜的抗氧化温度(750 °C)高于 TiN 膜(300 °C~400 °C),其(TiAl)N 膜的显微硬度为 2 200~2 700,略高于 TiN 膜。

(TiAl)N 涂层刀具的切削性能优于 TiN 涂层刀具。

**作者简介:**刘全顺,1968年毕业于济南机器技术学校后到哈尔滨第一工具厂热处理分厂工作。1985年后从事真空镀膜工作,现任技术科科长,工程师。

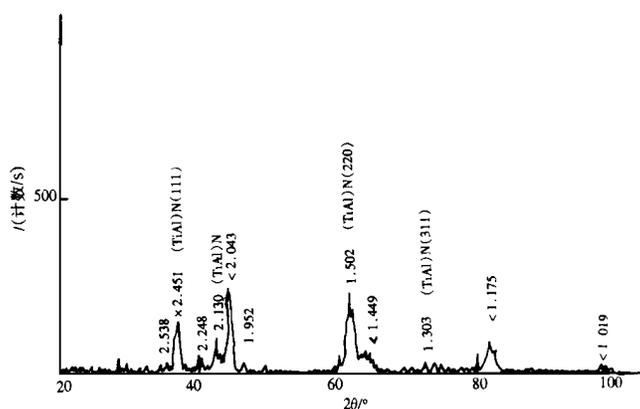


图3 (TiAl)N膜X射线衍射图