

文章编号:1000-582X(2006)10-0055-03

多弧离子镀技术及其应用*

姜雪峰,刘清才,王海波

(重庆大学机械传动国家重点实验室,重庆 400030)

摘要:多弧离子镀技术是离子镀技术的一种改进方法,它是把弧光放电作为金属蒸发源的表面涂层技术.由于多弧离子镀技术具有镀膜速度快,膜层的致密度大,膜的附着力好等特点,使多弧离子镀镀层在工具、模具的超硬镀膜、装饰镀膜等领域的应用越来越广泛,并将占据越来越重要的地位.介绍了多弧离子镀技术的原理、特点,并在总结和归纳了以往大量实验研究及国内外文献的基础上,分析了多弧离子镀技术的工艺发展及其在各个领域的应用,为今后多弧离子镀技术的研究与应用提供了有利借鉴.

关键词:镀膜;多弧离子镀;氮化钛

中图分类号: TG174.444

文献标识码: A

离子镀技术是在真空蒸镀和真空溅射的基础上于20世纪60年代初发展起来的新型薄膜制备技术.多弧离子镀属于离子镀的一种改进方法,是离子镀技术中的佼佼者,最早由苏联人开发,80年代初,美国的Multi-Arc公司首先把这种技术实用化.

1 多弧离子镀的原理

多弧离子镀的蒸发源结构如图1所示^[1],它由水冷阴极、磁场线圈、引弧电极等组成.阴极材料即是镀膜材料.在 $10 \sim 10^{-1}$ Pa真空条件下,接通电源并使引弧电极与阴极瞬接触,在引弧电极离开的瞬间,由于导电面积的迅速缩小,电阻增大,局部区域温度迅速升高,致使阴极材料熔化,形成液桥导电,最终形成爆发性的金属蒸发,在阴极表面形成局部的高温区,产生等离子体,将电弧引燃,低压大电流的电源维持弧光放电的持续进行.在阴极表面形成许多明亮的移动变化的小点,即阴极弧斑.阴极弧斑是存在于极小空间的高电流密度、高速变化的现象.阴极弧斑的尺寸极小,有关资料测定为 $1 \sim 100 \mu\text{m}$;电流密度很高,可达 $10^5 \sim 10^7 \text{ A}/\text{cm}^2$.每个弧斑存在的时间很短,在其爆发性地离化发射离子和电子,将阴极材料蒸发后,在阴极表面附近,金属离子形成空间电荷,又建立起弧斑产生的条件,产生新的弧斑,众多的弧斑持续产生,保持了电弧总电流的稳定.阴极材料以每一个弧斑60%~90%的

离化率蒸发沉积于基片表面形成膜层.阴极弧斑的运动方向和速度受磁场的控制,适当的磁场强度可以使弧斑细小、分散,对阴极表面实现均匀刻蚀.

多弧离子镀的基本原理就是把金属蒸发源(靶源)作为阴极,通过它与阳极壳体之间的弧光放电,使靶材蒸发并离化,形成空间等离子体,对工件进行沉积镀膜.

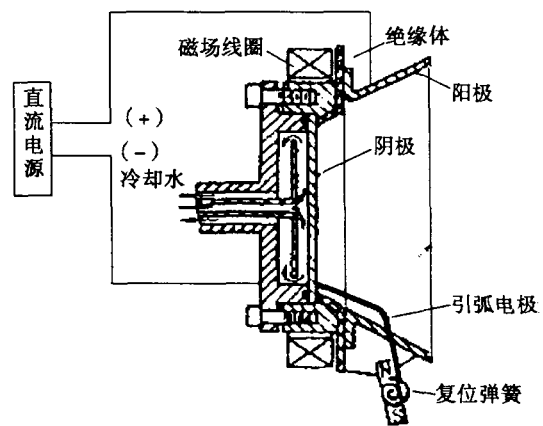


图1 阴极强制冷却多弧离子镀结构示意图

2 多弧离子镀的特点

多弧离子镀是20世纪70年代开始研究的一种新的物理气相沉积工艺,这种工艺的特点如下:

1) 阴极电弧蒸发源不产生溶池,可以任意设置于

* 收稿日期:2006-06-11

基金项目:机械传动国家重点实验室访问学者项目

作者简介:姜雪峰(1974-),男,湖南汉寿人,重庆大学讲师,硕士研究生,主要从事陶瓷材料的研究.

镀膜室适当的位置,也可以采用多个电弧蒸发源.提高沉积速率使膜层厚度均匀,并可简化基片转动机构.

2)金属离子化率高,可达80%以上,因此镀膜速率高,有利于提高膜基附着性和膜层的性能.

3)一弧多用.电弧既是蒸发源和离子化源又是加热源和离子溅射清洗的离子源.

4)沉积速度快,绕镀性好.

5)入射粒子能量高,膜的致密度高,强度和耐磨性好.工件和膜界面有原子扩散,因而膜的附着力高.

3 多弧离子镀工艺的发展

30多年以来,中国已经用多种PVD方法成功制备了多弧离子镀涂层.由于影响膜层质量的因素多而复杂,针对不同的用户,需要设立不同的优化设计方法,以开发质量稳定的、可满足不同用户膜厚要求的工艺条件.因此,不断研究镀膜工艺(参数)与膜层性能(指标)之间的关系,以实现膜层性能预报与工艺优化设计,始终是研究人员致力的目标^[2-6].

主要影响因素分析:1)氮分压的影响^[7-11].研究表明,如果提高氮分压则会改变TiN涂层的相结构,显著增强显微硬度.磁场强度氮分压的提高有利于增强TiN涂层的耐磨性.2)择优取向的影响因素^[12-16].具有强烈择优取向的涂层表面光亮度高、硬度高、耐磨性好,与基体有较高的结合强度.3)温度^[17-20].在保证基体材料不过热的前提下提高沉积温度,有利于提高TiN涂层的性能.4)基体硬度影响^[21].基体材料的硬度越高,TiN涂层的结合力越好,选择含V量高的材料沉积TiN涂层,有利于提高涂层结合力.5)膜层的抗高温氧化性的影响因素^[22-23].由于TiN存在高温下抗氧化性较差,薄膜韧性较低,内应力较大等不足.AL原子的加入极大地改善了薄膜的抗氧化性能,并且改善了薄膜的脆性.但AL的含量与薄膜硬度并不是完全的线形关系,实验表明:薄膜硬度随薄膜中AL含量的增加呈先升后降的趋势.因此AL含量的确定是关键.另外,工艺因素对TiAlN涂层也有较大的影响.TiAlN涂层的组成要受到N₂分压、阴极弧流等的影响.

4 多弧离子镀的应用

自20世纪80年代以来,随着离子镀氮化钛超硬耐磨镀层工艺逐渐完善、镀膜质量的提高,多弧离子镀已广泛地在冶金、机械加工材料上得到实际应用^[24-27].

4.1 多弧离子镀膜技术在高速钢刀具上的应用

涂层高速钢刀具是多弧离子镀最成功的应用之一.涂层高速钢刀具最常用的涂层是TiN.经过TiN涂层的高速钢刀具比没有涂层的高速钢刀具硬度提高

2~3倍,镀TiN后的高速钢刀具的摩擦系数大大降低,耐磨性大大提高,说明TiN涂层具有一定的减摩作用.另外,经过TiN涂层的高速钢刀具可以提高刀具的使用寿命1~5倍.目前,多弧离子镀膜技术在齿轮刀具、钻头等众多高速钢刀具中都有广泛的应用.

4.2 多弧离子镀膜技术在车辆零部件上的应用

离子镀表面涂层技术可在以下场合应用于车辆零部件.

1)在轴类零件的表面镀制硬质耐磨膜.离子镀用于轴类等易磨损零件的表面处理,可大大提高所镀表面的显微硬度,改善表面耐磨性,减小摩擦系数,从而降低表面磨损,延长零件使用寿命,还可降低零件运动时产生的噪声,减少环境污染.

2)在发动机零件上镀制耐磨耐蚀膜.在活塞顶部、活塞环、汽缸套等直接与燃气接触的发动机零件上镀制一层耐磨损、耐气蚀、隔热的复合膜,使这些零件可在高温下工作,降低其冷却要求,可使大部分热量通过排出的气体带走,大大提高发动机的有效系数和经济性.如果不使用冷却系统,还可减小动力装置的重量和体积,并且有利于降低噪声.

3)在发动机曲轴衬套等运动零件上镀制润滑膜层.非平衡纳米等离子体镀膜法(简称NCUPP法)是多弧离子镀范畴内的一种薄膜制备方法,它可镀制出具有良好润滑性能的固体润滑膜.

4.3 多弧离子镀膜技术在航空业上的应用

1)用于修复速率陀螺的马达轴承,进行轴承外圆表面的增厚处理.用真空多弧离子镀膜技术进行轴承的外圆增厚处理可达到理想的效果,这是因为它所沉积的膜层具有膜厚均匀一致,无边界效应,膜层硬度高,与基体结合牢固,耐磨性及表面光洁度好,沉积厚度可严格控制等优点.

2)提高航天用球轴承表面的耐磨性.中国第一代特殊用途卫星测量照相机的镜片托架、镜筒、支撑框架、焦面框架等件采用的都是钛合金材料,其表面处理采用多弧离子镀黑色氮钛膜层工艺处理,可满足产品使用要求.对该航天产品返回地面后跟踪检查,未发现任何问题,黑色氮钛膜层无磨损或脱落现象.

3)离子镀工艺镀制热障膜层.为了提高航空发动机涡轮叶片的寿命,增强其抗高温烧蚀的能力,需在涡轮叶片表面镀制一层热障膜层.用多弧离子镀膜工艺镀制NiCrAlY热障涂层已成功地应用于航空发动机涡轮叶片的表面处理上,经试验及实际应用,取得了满意效果,并逐步应用到多种型号发动机的涡轮叶片的表面处理上.国外用离子镀技术制备了性能更好的优质复合膜层,正研究用于喷气发动机的叶片制造上.

4)航空发动机中的应用.在航空发动机制造中,将离子镀技术应用于涡轮叶片镀NiCrAlY涂层和压气

机叶片镀 TiN 涂层等工艺。

4.4 多弧离子镀膜技术在冲孔冲模上的应用

多弧离子镀入射粒子能量高,在高能量的离子轰击下,可使膜的致密度高,强度和耐久性好。特别是膜层和基体界面原子扩散,因此不仅膜的附着强度好,而且形成了一个有一定厚度的高硬度过渡层。涂层膜本身具有很高的硬度,最高达 2 000 HV 左右,故涂层膜和过渡层组成了稳定的耐磨损耐冲击强化区,这显著提高了冲模的耐磨性能和抗冲击疲劳性能。冲孔冲头经多弧离子镀 TiN 涂层处理后,使用寿命比原冲头可提高 5 倍,可显著降低冲模的制造费用。

4.5 多弧离子镀膜技术在钟表行业上的应用

采用多弧离子镀技术制备各种钟表表面 TiN 装饰膜,充分利用弧光放电中高密度、高能量的金属离子流,可成功地制得既具有“伪扩散”层又具有微细柱状晶组织的理想耐磨损和耐腐蚀的 TiN 仿金涂层。多弧离子镀技术在装饰膜方面的应用有很好的前景。当前,多弧离子镀是沉积 TiN 装饰膜的最佳工艺,该技术具有较高的金属离子化率和较高的离子能量,因而有利于提高涂层的均匀性和附着性。

4.6 多弧离子镀膜技术在装饰上的应用

目前很多宾馆大厦外表不是金碧辉煌,就是色彩绚丽。室内装饰或满堂金色,或富丽堂皇,其实这些都是多弧离子镀的杰作。多弧离子镀不仅膜层具有较好的耐磨性和耐蚀性,而且还可在多种材料(包括金属与非金属)上镀制,其色泽变化多样,十分丰富,这是传统的电镀等方法所不能比拟的。

5 结 语

多弧离子镀能获得普通电镀难以获得的涂层而无污染,除了能镀合金外还能镀活泼金属,如钛、铝等,也可以在钛或铝合金上镀其他金属。离子镀工艺的可镀性极好,基体和镀材的限制很少,在各行各业多弧离子镀镀层的应用正在逐步扩大之中,并将占据越来越重要的地位。

参考文献:

- [1] 胡传. 表面处理技术手册[M]. 北京:北京工业大学出版社,1997.
- [2] KAMAR N. Failure Mechanisms of TiN Thin Film Diffusion Barriers[J]. Thin Solid Films, 1988, 164: 417 - 420.
- [3] MATTAX D M. Particle Bombardment Effects on Thin Film Deposition: A Review [J]. J Vac Sci Technol, 1989, 17(3): 1 105 - 1 110.
- [4] TANAKA Y, GUR T M. Properties of (Ti, XAlX) N Coating for Cutting Tools Prepared by the Cathodic Arc Ion Plating Method [J]. J Vac Sci Technol, 1992, 10(4): 1 749 - 1 756.
- [5] WANG Y K, XIA L F, LEI T O, et al. A Research on Microstructure and Properties of (Ti, Al) N Coating [J]. Surf & Coat Technol, 1995, 72: 71 - 75.
- [6] SANCHETTE F, CZERWIEC T. Sputtering of Al - Cr and Al - Ti Composite Targets in Pure Ar and in Reactive Ar - Cr Plasmas [J]. Surf & Coat Technol, 1997, 96: 184 - 190.
- [7] 曾凤章, 徐新乐, 吴玉广. 多弧离子镀膜工艺的技术开发 [J]. 北京工业大学学报, 1999, 19(1): 127 - 132.
- [8] 周细应, 万润根, 陈凯旋. TiN 涂层的正交设计工艺分析 [J]. 热加工工艺, 1996, (4): 22 - 23.
- [9] 王福贞. 表面沉积技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- [10] 薛钰芝, 林纪宁, 周立梅, 等. 氮分压对 TiN 离子镀层影响的研究 [J]. 大连铁道学院学报, 1998, 19(1): 25 - 29.
- [11] 严岱年. 表面处理 [M]. 南京: 东南大学出版社, 1996.
- [12] 周细应, 万润根, 陈凯旋. TiN 涂层的工艺分析 [J]. 南昌大学学报, 1994, 16(3): 30 - 35.
- [13] 宫秀敏, 叶卫平, 孙伟, 等. TiN 涂层中的择优取向及其对涂层性能的影响 [J]. 机械工程材料, 2000, 24(1): 20 - 22.
- [14] 陈国平. 薄膜物理与技术 [M]. 南京: 东南大学出版社, 1993.
- [15] 黄子勋. 电镀理论 [M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1982.
- [16] 宋人娟. 多弧离子镀 TiN 低温涂层的研究 [J]. 金属热处理, 1994, (6): 17 - 20.
- [17] 胡树兵. 多弧离子镀 TiN 涂层在冲孔模上的应用 [J]. 金属热处理, 1997, (2): 16 - 20.
- [18] 孙伟, 宫秀敏, 叶卫平, 等. 多弧离子镀沉积温度对 TiN 涂层性能的影响 [J]. 电加工与模具, 2000, (5): 26 - 28.
- [19] RICHERBY D S, BULL S J. Engineering with Surface Coatings: The Role of Coating Microstructure [J]. Surf & Coat Technol, 1989, 66: 39 - 40.
- [20] 汪泓宏. 离子束表面强化 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [21] 孙伟, 宫秀敏, 叶卫平, 等. 基体材料硬度和化学成分对 TiN 涂层结合力的影响 [J]. 金属热处理, 2000, (8): 13 - 14.
- [22] 熊仁章, 夏立芳, 雷廷权. 工艺因素对 TiAlN 多元涂层成分的影响 [J]. 兵器材料科学与工程, 2000, 23(5): 55 - 58.
- [23] 王永康. Ti_{0.5}Al_{0.5}N 涂层的抗高温氧化行为 [J]. 材料工程, 2001, (1): 12 - 14.
- [24] 吴玉广, 任德亮, 徐前. 离子镀膜技术在制造业中的应用 [J]. 航空制造技术, 2003, (9): 64 - 66.
- [25] 吴玉广, 李荣雪. 多弧离子镀技术在航天航空制造维修业中的应用实例 [J]. 航空工程与维修, 1999, (2): 47 - 48.
- [26] 杨建宏. 多弧离子镀技术在钟表行业中的应用 [J]. 钟表, 1994, (2): 26 - 29.
- [27] 许樵府. 离子镀在航空发动机中的应用 [J]. 航空制造技术, 2002, (7): 71 - 72.

Automatic Measuring Method of Eyeglass Lens Power

YANG Bing-shang, LIAO Hai-yang

(Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems, Ministry of Education ,
Chongqing University , Chongqing 400030 , China)

Abstract: A method of measuring eyeglass lens power is proposed. A position detector and 3 beams of ray are used to measure the prismatic, spherical and astigmatic powers. Based on the method, an automatic focimeter with simple structure can be developed. The measure errors of prismatic and spherical powers are analyzed, from which it is concluded that the precision of the position detector is the key to the method.

Key words: eyeglasses; eyeglass lens power; position detector; focimeter

(编辑 张小强)

(上接第 57 页)

Technology and Application of Multi-Arc Ion Plating

JIANG Xue-feng, LIU Qing-cai, WANG Hai-bo

(State Key Laboratory of Mechanical Transmissions Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Multi-Arc Ion plating technology is an improved method of Ion plating and it is a surface coating technology that uses arc as the fountain of vaporizing. It plating rapidly with fine-tissued coat. It can be applied to many aspects such as high-rigidity coating of tools and mould and decoration coating more widely and occupy a more important place. This paper introduces the principle and characteristics of multi-arc ion plating, and on the conclusion of many studies and experiments done in the previous years, this paper also analyses the development and application of multi-arc ion plating technology in some areas. It will offer favorable reference for the study and application of multi-arc ion plating technology in future.

Key words: multi-arc ion plating; coating; TiN

(编辑 李胜春)