

# 硬质合金涂层刀具研究进展

刘海浪<sup>1,2</sup>, 羊建高<sup>1,2</sup>, 黄如愿<sup>1,2</sup>

(1. 江西理工大学材料与化学工程学院, 江西 赣州 341000; 2. 章源钨业股份有限公司, 江西 赣州 341000)

**摘要:**随着现代机械加工工业朝着高精度、高速切削、干式切削技术以及降低成本等方向发展,人们对硬质合金刀具提出了更高的要求,涂层硬质合金具有高硬度和优良的耐磨性,延长了刀具的寿命。当前硬质合金刀具涂层制备方法主要包括化学气相沉积和物理气相沉积,涂层刀具的发展呈现涂层成分多元化、涂层结构多层次化、涂层基体梯度和涂层工艺灵活化的趋势。涂层刀具后处理技术包括热处理、磁化处理及深冷处理等,随着技术的进步,更多更新型的后处理技术将带来涂层刀具的又一次变革。

**关键词:**硬质合金涂层刀具;物理气相沉积;化学气相沉积

**中图分类号:**TG711 **文献标识码:**B

## 1 前言

随着科学技术的进步,难加工材料的使用日益增多,材料的力学性能不断提高,而且,对加工效率的要求也不断提高,传统的未涂层刀具常常不能适应新的要求。尽管硬质合金刀具的硬度为89-93.5 HRA(1300-1850 HV),但是对于难加工材料的高效加工已不适用。虽然可以采取各种措施,提高刀具材料的硬度与耐磨性,但同时必然带来刀具材料抗弯强度和冲击韧性的下降,即材料变脆,从而影响刀具的使用性能。

在硬质合金刀具基体上涂覆一层或多层硬度高、耐磨性好的金属或非金属化合物薄膜(如TiC, TiAlN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等)的涂层刀具,结合了基体高强度、高韧性和涂层高硬度、高耐磨性的优点,降低了刀具与工件之间的摩擦因数,提高了刀具的耐磨性而不降低基体的韧性。因此,涂层硬质合金具有高硬度和优良的耐磨性,延长了刀具的寿命,这是切削刀具发展的又一次变革。

## 2 硬质合金刀具涂层制备方法

硬质合金刀具涂层的制备方法有很多,包括气相沉积、热喷涂、化学热处理、热反应扩散沉积、溶胶凝胶等。气相沉积应用比较多,制备涂层质量好,已经逐步成为刀具涂层制备方法的主导,气相沉积技术分为化学气相沉积(chemical vapor deposition, CVD)和物理气相沉积(physical vapor deposition, PVD)。

### 2.1 化学气相沉积(CVD)

化学气相沉积(CVD)属于原子沉积类,是利用气态的先驱反应物通过原子、分子间化学反应的途径生成固态涂层的技术。基于此特点,CVD过程大多在相对较高的压力和较高的沉积温度环境下进行,因为较高的压力有助于提高涂层的沉积速率,较高的沉积温度可保证化学反应的顺利进行。

早在40多年前,瑞典Sandvik公司和德国Crupp公司研发了化学气相沉积(CVD)涂层技术,1969年向市场推出了CVD TiC涂层硬质合金刀片产品<sup>[1]</sup>。此后,美国、日本等国也相继

**作者简介:**刘海浪(1983-),男,湖南长沙人,硕士研究生,主要从事刀具涂层方面的研究。

生产出同类产品。多年来,CVD 涂层技术不断发展,改进了基体材料和涂层工艺,使用多种和多层涂层材料,出现了第二代、第三代直至第五代、第六代涂层刀具产品。CVD 涂层工艺温度约为 1000℃,结合力可靠,但也带来了一些性能上的缺陷,如刀具切削刃需经过钝化预处理,刀具表面易出现残余拉应力,且不能用于高速钢刀具表面涂层;另外 CVD 技术的沉积温度太高,超过了许多材料的热处理温度,在这样高的沉积温度下,镀层和硬质合金基体材料都面临着晶粒长大和失碳问题,从而产生一种或几种复式碳化物,即所谓的  $\eta$  相,且通常生成在涂层和基体的界面特别是刃口上。这种  $\eta$  相很脆,降低硬质合金的抗弯强度,同时增大刃口的脆性,从而导致刀具在使用过程中过早损坏。人们不断努力,降低工艺温度,改变基体材料组分,改进切削刃钝化方法,使 CVD 涂层硬质合金的性能得到提高。20 世纪 80 年代研发的中温化学气相沉积(moderate temperature chemical vapor deposition, MTCVD)技术,在一定程度上推动了化学气相沉积的发展进步。

## 2.2 物理气相沉积(PVD)

物理气相沉积是利用某种物理过程(如物质的蒸发或受到粒子轰击时物质表面原子的溅射等现象),实现物质原子从源物质到沉积涂层的可控转移过程,是在分子、原子的尺度上沉积涂层。与 CVD 涂层技术相比,PVD 涂层技术有以下几个优点:

(1)PVD 技术的沉积温度低,可以在 200~600℃及以下沉积 TiN 等超硬涂层,因此不会降低基体材料原有抗弯强度,涂层和基体间也不会产生  $\eta$  相,因此不需采用特殊的硬质合金材料,扩大了应用范围;

(2)涂层具有微细结构,在涂层内部产生压应力,抗裂纹扩展能力强;

(3)涂层表面光滑,比 CVD 涂层更能有效地阻止前刀面的横裂纹扩展,同时还可以降低摩擦系数;

(4)可以使用刃口锋利的刀具作基体,这

一点对于高速切削非常重要。

20 世纪 80 年代以来,PVD 技术成功用于切削刀具的硬质涂层,有效提高表面硬度、韧性、耐磨性和高温稳定性,大幅度提高涂层产品的使用寿命,引起刀具材料和性能的巨变。作为表面改性的新技术,PVD 得到越来越广泛应用,已普遍应用于铣刀、钻头、铰刀、丝锥、异形刀具等的涂层处理,并扩展到模具和摩擦零件及装饰等防腐耐磨镀层,在先进制造技术中占有重要地位,引起材料和机械领域的广泛重视。

目前,采用 PVD 方法可以在硬质合金刀具上制备 TiN、(Ti,Al)N 以及各种难熔金属的碳化物和氮化物。工业发达国家自上世纪 90 年代初就开始致力于硬质合金刀具 PVD 涂层技术的研究,已普遍应用于硬质合金铣刀、钻头、阶梯钻、油孔钻、铰刀、丝锥、可转位铣刀片、异型刀具、焊接刀具等的涂层处理。国内 PVD 涂层技术的研发工作始于 20 世纪 80 年代初,80 年代中期研制成功中小型空心阴极离子镀膜机及高速钢刀具 TiN 涂层工艺技术。由于对刀具涂层市场前景的看好,国内大型工具厂开始引进 PVD 刀具涂层技术与装备。技术及装备的引进调动了国内刀具 PVD 涂层技术的第一次开发热潮,国内各大型真空设备厂及科研单位纷纷展开了离子镀膜机的研制工作,并于 90 年代初开发出多种 PVD 设备。但由于大多数的设备性能指标低,涂层工艺稳定性差,预期的市场效益未能实现,从而导致了近 10 年内国内刀具 PVD 涂层技术处于徘徊不前的局面。尽管 90 年代末国内成功开发出了硬质合金 TiN-TiCN-TiN 多元复合涂层工艺技术,并达到了实用水平,并且 CN<sub>x</sub> 涂层技术也有了重大突破,但其应用价值较为有限,在随后的发展过程中也并未得到市场认可。随着我国汽车工业的迅速掘起和先进制造技术的大量引进以及数控加工技术的广泛普及,自本世纪初,PVD 技术在国内掀起了第二次开发热潮<sup>[2]</sup>。但与国际发展水平相比,我国硬质合金刀具 PVD

涂层技术仍落后 10 年左右。

### 3 硬质合金涂层刀具的发展

目前,硬质合金涂层刀具的发展方向大致归纳为以下几点:

#### 3.1 涂层成分多元化

随着机械工业的发展,人们发现单元涂层已经不能满足生产的需求。而且由于单元涂层刀具的基材与涂层材料的硬度、弹性模量及热膨胀系数不匹配,晶格类型也不一样,致使基体与涂层之间产生残余应力,结合力不强。在单涂层中加入新的元素(如加入 Al、Cr 和 Y 提高抗氧化性,加入 Zr、V、B 和 Hf 提高抗磨损性,加入 Si 提高硬度和抗化学扩散)<sup>[9]</sup>制备出多元的刀具涂层材料,大大提高了刀具的综合性能。

多元刀具涂层中,最常用的是 TiCN、(Ti,Al)N 涂层。TiCN 涂层兼有 TiC 和 TiN 涂层的良好韧性和硬度,它在涂覆过程中可通过连续改变 C 和 N 的成份来控制 TiCN 的性质,并可形成不同成份的梯度结构,降低涂层的内应力,提高韧性,增加涂层厚度,阻止裂纹扩展,减少崩刃。九十年代中期,中温化学气相沉积(MT-CVD)新技术<sup>[4-9]</sup>的出现,使 CVD 技术发生了革命性变革。MT-CVD 技术是以有机物乙腈(CH<sub>3</sub>CN)作为主要反应气体,在 700℃以下生成 TiCN 涂层。这种 TiCN 涂层方法有效控制了很脆的 η 相(Co<sub>3</sub>W<sub>3</sub>C)生成,提高了涂层的耐磨性、抗热震性及韧性。研究表明:在 PVD 沉积 TiCN 涂层时适当增加离子束轰击也可明显提高涂层的硬度及耐磨性<sup>[9]</sup>。近年来,以 TiCN 为基的四元成分新涂层材料(如 TiZrCN、TiAlCN、TiSiCN 等)也纷纷出现。

(Ti,Al)N 涂层材料是目前应用最广泛的硬质合金刀具涂层之一,(Ti,Al)N 有很高的耐高温硬度和抗氧化能力,最高工作温度 800℃,氧化起始温度 700℃,涂层硬度 HV 3000,颜色为紫灰色。(Ti,Al)N 涂层比 TiN 更能有效地用于

连续高速车削,也适合于加工铁合金、镍合金不锈钢等工件。这种涂层因固溶硬化而有较好的硬度保持性,其抗氧化性能也比 TiN 和 TiCN 强。TiAlN 在切削时会在刀屑界面上生成一种非晶体的氧化铝,形成一层硬的、惰性的保护膜,此膜的导热性差,可使切削热更多地由切屑带走。高速干式切削最好的涂层是氮铝化钛(TiAlN),涂层的作用就象一层热屏障,因为它有比刀具基体和工件材料低得多的热传导系数,在高温连续切削时,TiAlN 高速干式切削优于 TiN 四倍。

近几年,对涂层成分多元化的研究取得了丰硕的成果。前不久,在日本,日立公司研究出了号称跨世纪水平的 CrSiN、TiSiN、Ti-BON 等新型刀具涂层材料<sup>[7]</sup>。TiSiN 涂层由于加入 Si 元素,其抗高温氧化性较单涂层 TiN 明显提高,适用于硬切削的 TiSiN 涂层具有 36GPa 的硬度和 1100℃的开始氧化温度<sup>[8]</sup>,此外以 Cr 代替 Ti 元素的 TiSiN 涂层相比,TiSiN 涂层更具有润滑性,更适合用于铝、不锈钢等粘附性强的材料加工。添加 B、O 元素的 Ti-BON 系列的涂层材料是日本学者岛顺颜等开发的<sup>[9]</sup>,该涂层刀具的前刀面在高温下铁元素扩散极少,显示出优良的润滑性能,切削不黏刀;在富氧氛围中使用 Ti-BON 涂层硬质合金刀具时,涂层的润滑效果更为显著,延长了刀具的使用寿命,这是因为在富氧气氛中生成的氧化物具有良好的润滑性能。这种利用富氧氛围生成氧化物以消除或减少黏刀,延长刀具寿命和提高加工质量的方法适合于钛合金及 718 镍铬铁耐热合金的切削加工。欧洲 Balzers 公司具有代表性的多元涂层是以 Cr 元素替代 Ti 元素的 AlCrN 涂层,称为 G6,该涂层具有 HV 3200 的显微硬度,使用温度可达到 1000℃<sup>[9]</sup>,更适合断续切削和难加工材料的加工。

在国内,成都工具研究所开发了国内首创的 Ti-C-N-O-Al 和 Ti-C-N-B 两个系列共三种高性能多元复合涂层,具有优异的复

合机械性能和优良的切削性能,主要用于汽车刀具及 Hertel 系列螺纹梳刀片上<sup>[10]</sup>。其他的多元涂层材料还有 TiMoN, TiCrN, NbCrN, NbZrN 等。

### 3.2 涂层结构多层化

随着高速切削、干式切削等机械加工技术的进步,单层涂层已不能满足对刀具涂

层日益苛刻的工作要求。采用形成多层结构的方法,可在充分利用单层涂层原有优良综合力学性能优势的条件下,进一步提高其硬度、韧性和高温抗氧化性能,是目前提高刀具涂层切削性能的重要技术措施<sup>[11-12]</sup>。图 1 显示了单层硬质合金到多层涂层硬质合金界面结构的变化。

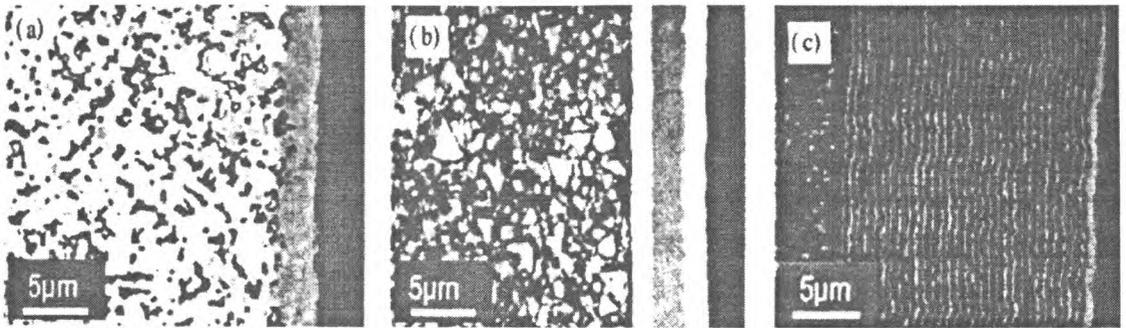


图 1 单层硬质合金涂层到多层硬质合金涂层界面结构的转变<sup>[13]</sup>

(a)单层涂层界面结构 (b)三层涂层界面结构 (c)多层涂层界面结构

单层  $Al_2O_3$  涂层有很多优良的性能,但单层  $Al_2O_3$  涂层与基体的结合强度较差,在基体上先沉积一层 TiCN 或  $(Ti, Al)N$  (如 TiCN/ $Al_2O_3$ ,  $TiAlN/Al_2O_3$ ), 可以显著改善  $Al_2O_3$  涂层的结合强度,并使刀具性能得到很大的提升。目前,国外公司如 Sandvik、Balzers 等已经开发了诸如此类的涂层,并取得了很好的市场经济效益(见图 2)

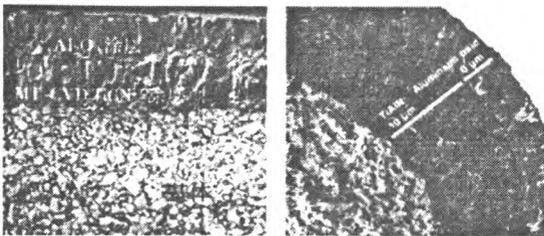


图 2 双层涂层剖面结构

TiN/AlN 多层涂层是多层涂层中比较典型的一种,兼具传统复合材料和纳米材料两者的优越性。TiN 和 AlN 氮化物陶瓷都具有高熔点、高硬度、化学稳定性好的特点,并且 TiN 还具有较高导电性以及良好的热膨胀系数<sup>[14]</sup>, AlN 具有高导热率(为  $Al_2O_3$  的 10 倍)、

良好的热膨胀系数及高抗氧化性<sup>[15]</sup>。两种氮化物以一定形式复合,可发挥性能上的互补,获得增强的综合性能。研究表明, TiN/AlN 纳米多层涂层在小周期范围内 (1~4 nm), AlN 以其亚稳态立方结构生长,此时 TiN/AlN 纳米多层涂层的硬度、抗氧化性能、耐磨性能都优于大周期的 TiN/AlN 纳米多层涂层。据报道<sup>[9]</sup>,日本住友电工公司推出了一种高速强力型钻头,它是在韧性好的 K 类硬质合金基体上交互涂敷了 1000 层 TiN/AlN 超薄涂层,涂层厚度约 2.5  $\mu m$ 。使用情况表明,该钻头的抗弯强度与断裂韧性大幅度提高,其硬度则与 CBN 相当,刀具寿命可提高 2000 倍左右。该公司还开发了 ZX 涂层立铣刀,超薄涂层层数达 2000 层,每层厚度约 1 nm,用该立铣刀加工 HRC 60 的高硬度材料,刀具寿命远远高于 TiCN 和  $(Ti, Al)N$  涂层刀具。

$(Ti, Al)N/TiN$  复合多层涂层是由 TiN 和  $(Ti, Al)N$  复合叠加而成,研究发现,  $(Ti, Al)N/TiN$  复合多层涂层由于层状结构的出现,打断了粗大柱状晶粒的生长,使得晶粒变小,

同时也打断了孔隙的连续性,因此具有良好的机械性能、优良的耐摩擦磨损性能<sup>[16-17]</sup>、良好的抗高温氧化性能<sup>[18-19]</sup>和耐腐蚀性能<sup>[20]</sup>。

三层涂层的组合方式很多,例如 TiC/TiCN/TiN、TiC/TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiC/TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN、TaC/TiC/TiN、TiN/TiC/TiN 和 TiCN/TiC/TiCN 等<sup>[21]</sup>,都是利用各个单涂层的优点根据不同的切削条件组合而成的。最常见是 TiC/TiCN/TiN 涂层,这种涂层与 TiC/TiN 涂层相同,切削性能优于单层 TiC 和 TiN 涂层。大多数刀具涂层厂家都有这种组合方式的涂层牌号,如美国 Carmet 公司的 CA9443、CA9721; Kennametal 公司的 KC210、KC250 等。目前,国外已发展到在基体涂 10 层、甚至更多层,每层厚度越来越薄,刀片质量越来越好。利用多层膜具有的界面效应和层间藕合效应以及裂纹尖端钝化、裂纹分支及沿界面的界面开裂等增韧机制来提高多层涂层的韧性,从而获得与单层涂层不同的特性。据报道,美国现在近 70% 的涂层刀具采用多层涂层。一般多层涂层刀具的寿命要比单涂层高 50%~200%<sup>[22]</sup>。

### 3.3 涂层基体梯度化

涂层与合金基体之间的结合强度是制约刀具使用寿命的关键因素,涂层必须与合适的基体相结合才能达到预期的性能。由于不同材料的热膨胀系数不同,涂层冷却过程中可能因为热应力而产生裂纹<sup>[23-24]</sup>。由于涂层材料的脆性,通常裂纹更容易在涂层表面产生并向基体中扩展。为了尽可能防止由于裂纹扩展而导致的材料失效,并有利于获得高性能的硬质合金切削工具材料,可对基体进行梯度处理,形成如图 3 所示的结构,使涂层基体表面区域形成立方相碳化物和碳氮化物的韧性区域,此区域的粘结剂含量高于涂层基体的名义粘结剂含量;当涂层中形成的裂纹扩展到该区域时,由于其良好的韧性,可以吸收裂纹扩展的能量,因而能够有效地阻止裂纹向合金内部的扩展,提高硬质合金切削工具的使用

性能<sup>[25-26]</sup>。目前,这种具有梯度结构基体的涂层刀片在我国已有研究<sup>[27-28]</sup>,并在少数硬质合金企业中形成了产品。

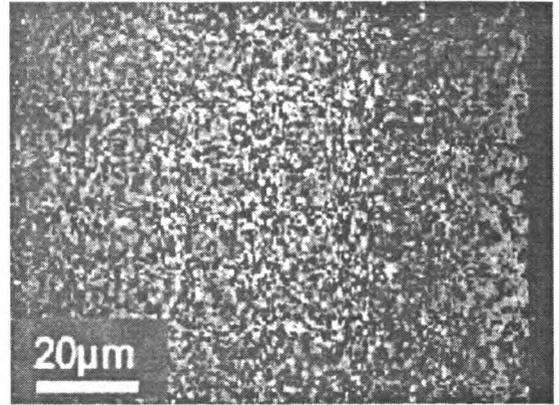


图 3 梯度结构硬质合金涂层基体界面结构<sup>[23]</sup>

梯度结构硬质合金的制备方法有很多,大概可以归纳为两种主要的类型,第一类制备方法称为构造法,通过在空间精确地叠加材料而构成,这种方法为设计者获得性能优异的梯度结构硬质合金材料提供了很好的灵活性。但是采用构造法制备梯度结构硬质合金时,由于在合金中存在比较明显的界面,并且不同的材料其热膨胀系数可能有较大的差异,因而,可能会在合金的界面处产生较大的应力,并且合金在冷却过程中会产生应力集中,故应该对不同材料的热膨胀性能具有很好的了解,并且尽量调整好不同层的成分和颗粒的大小,以便不同层之间有相同或相近的烧结速率。第二类制备梯度基体的方法称为传输法,即成分与结构的梯度是利用自然传输现象在构件内部形成的。它以传输为基础,利用流体的流动,原子的扩散或热传输在材料中产生梯度,这种方法制备的材料其梯度范围较宽,目前大多数的梯度基体制备都通过此方法获得。

对梯度硬质合金的研究,早在 1986 年,瑞典的 Sandvik 公司就推出了 DP (Dual Properties) 系列梯度硬质合金球齿以及 GC215、GC425 等牌号的涂层硬质合金梯度刀片;美国 GTE.Valenite 公司推出的 SV200

系列和 Kennametal 公司生产的 KC792M 牌号的涂层硬质合金刀片；爱尔兰 Boart 公司生产的 WC 晶粒梯度硬质合金顶锤等。这些产品以其优越的使用性能，很快得到了广泛的使用。目前国内梯度硬质合金的研究仍处于初始阶段，株州硬质合金厂、自贡硬质合金厂、中南大学粉末冶金厂等厂家也开始了一些研究，但至今仍然无法批量生产。随着现代化机加工工业的大规模发展，对硬质合金刀具、矿山工具等的使用寿命，切削效率提出了更高的要求。作为满足这一特殊要求的钴梯度硬质合金材料，其发展愈来愈受到各国重视<sup>[29]</sup>。

### 3.4 涂层工艺灵活化

涂层的另一趋势是工艺组合的多样化。从 20 世纪 60 年代至今，涂层技术在刀具上的应用已发展了近 50 年，人们一直在致力于寻找最佳的刀具表面改性技术，以改善刀具的切削性能和切削寿命。目前单一涂层无法适应现代切削加工中日趋复杂的工况和服役条件，为此，涂层多样化的工艺组合便应运而生。“渗氮/PVD”复合涂层技术就是其中的一种。事实上，早在 1983 年 Korhnen 等就已经提出等离子氮化与离子镀工艺结合起来。近十几年来，通过基体的热化学预处理来提高硬质防护涂层性能的技术越来越受到关注。胡树兵、崔皇等研究发现，对基体进行渗氮和离子镀 TiN 复合处理后，可形成一个合理的硬度梯度分布，而在沉积过程中又由于 TiN 与 N 的作用及向渗氮层内部进一步扩散，使过渡层的硬度比单一渗氮层要高 100 HV0.1 左右，从而使复合涂层得到强化。另外，将 CVD 与 PVD 的工艺进行组合是涂层工艺多样化的一个重要的发展方向，如美国 Kennametal 公司推出的 KC792M 和日本不二越公司推出的 SG 新型涂层就是利用了 PVD 和 CVD 相结合的方法，起始层是由 CVD 形成的 TiN，目的是提高涂层与基体的结合强度，中间层是 CVD 的 TiCN，外层是 PVD 的 Ti 系特殊膜，使其具有较好的耐热性即提高

刀具刃口的锋利性。因为残余应力在 CVD 层是拉应力，在 PVD 层是压应力，其结果是提高了涂层刀具的抗热震性能<sup>[30]</sup>。目前国外已发展到在基体涂 10 层、甚至更多层，每层厚度越来越薄，刀片质量越来越好。利用多层膜具有的界面效应和层间耦合效应以及裂纹尖端钝化、裂纹分支及沿界面的界面开裂等增韧机制来提高多层涂层的韧性，从而获得与单层涂层不同的特性。据报道，美国现在近 70% 的涂层刀具采用多层涂层。一般多层涂层刀具的寿命要比单涂层高 50%~200%<sup>[31]</sup>。

## 4 硬质合金涂层刀具后处理研究

刀具涂层后处理是在刀具涂层完毕之后采取某些工艺措施对涂层刀具进行相应处理以提高涂层寿命，但是目前对刀具涂层的后处理没有受到重视，有些公司也只是进行简单的浸油防锈处理，国外对后处理技术研究比较早，但一直持保密态度。目前，涂层刀具的后处理工艺包括涂层刀具热处理，深冷处理和磁化处理。三种处理方法虽然有所差别，但是都是为了减小涂层刀具内部的应力并使其重新分布，增强刀刃的抗崩刃能力，从而提高刀具的使用寿命。

### (1) 涂层刀具热处理。

由于在电弧离子镀过程中，基体温度比较低(200~400℃)，涂层材料沉积在基体表面骤然冷却，涂层材料由于热膨胀系数的差别有不同的热收缩倾向，从而在涂层各晶粒之间产生热应力，这种应力的存在加快了刀具在机械切削过程中的失效。而热处理能吸收部分应变能，缓和松弛应力，协调各种相应变状态。青岛化工学院的彭红瑞<sup>[32]</sup>等研究了钢基 CVD-TiN 涂层的热处理，涂层经 1030℃ 淬火+250℃ 回火后，TiN 涂层的显微硬度有所提高，涂层的晶体结构更趋于完整，其晶面间距也更接近 TiN 晶面间距的标准值，同时涂层的致密性有所增加，与基体的结合强度良好。

## (2) 涂层刀具的深冷处理

在硬质合金涂层刀具中,刀具基体的粘结相 Co 的成分和性质在很大程度上决定着硬质合金刀具的强度和变形特性,而改变这种成分和合金的特性有两种方法,一种是热处理,另外一种就是对刀具进行深冷处理,深冷处理为硬质合金刀具创造了一个超低温环境,增大了过冷度,使合金中钴的相变自由能差增大,增大了相变驱动力,从而减小刀具在切削过程中的磨料磨损和扩散磨损。另外一个方面,有资料认为<sup>[3]</sup>,Co 的热膨胀系数比 WC 大三倍多,粘结相是硬质合金的主要破坏相,存在于 Co 相中的很大热应力是不利因素。深冷处理能够使得 WC-Co 系硬质合金获得较理想的表面残余应力值。李勇<sup>[9]</sup>对比研究了 YW1 硬质合金刀具经过深冷处理和未处理的表面残余应力值,结果表明,残余应力值由未处理的 4858.665 MPa 降为 4192.297 MPa。

## (3) 涂层刀具的磁化处理

刀具磁处理就是把含磁性元素的刀具放于高强度脉冲磁场中,在交变磁场作用下刀具内部晶粒产生磁致伸缩效应,以致发生晶格移动乃至引起内部结构的变化,使刀具在制造过程中产生的表面残余应力得到缓解和释放,减小了刀具在涂层、刃磨以及在使用中产生的应力并使应力重新分布,增强刀刃的抗崩刃能力,提高了刀具的使用寿命,从而减少换刀而停机的时间,增大刀具与设备之间的稳定性,并改善工件表面的光洁度。切削时,切削力和切削温度有明显降低,从而磁化后的刀具耐用度有显著提高。

据报道<sup>[9]</sup>,福特公司用磁处理机处理钻头和硬质合金插刀,将处理后的钻头切削 1010 钢,可加工 700~800 件,未处理的钻头只能加工 500~600 件;用 WC-Co 硬质合金(KC-950)刀具加工同样材料的工件,未处理的刀具只能加工 60~80 件,处理后的刀具可加工 100~159 件。另外,同样加工此种材料的工件,处理后的 sandvik TiN 涂层刀具的寿命可提高 50%,570

碳化钨氧化物涂层刀具的寿命提高 83%。在 Kurt Mfg 公司,用 TiN 涂层刀具(19 把钻头,5 把铰刀)切削 303 不锈钢(转速 1100 转/分、进给量 3.5 吋/分,用多用机床 240 号切削液),刀具寿命提高 66%。国内也有对刀具磁处理的研究,唐馨如<sup>[9]</sup>发明的刀具磁处理装置经试验,刀具耐用度至少提高 30%~50%,经济效益十分明显。

## 5 结束语

(1) 硬质合金涂层方法在不断地进步,日趋复杂化和多样化,从最初的高温化学气相沉积涂层发展为等离子化学气相沉积涂层、中温化学气相沉积涂层和离子辅助物理气相沉积涂层等。目前涂层方法的发展方向是物理气相沉积。

(2) 硬质合金涂层种类也在不断地更新,从单一的化合物涂层朝着多元复杂化合物涂层发展;涂层层数也从几层到十几层;新型的涂层基体也在不断推出,具有梯度结构的硬质合金涂层基体使硬质合金涂层刀具性能进一步得到提高;涂层工艺方法不仅不断更新换代,而且实现了多种工艺的灵活组合,以得到高性能的刀具涂层。

(3) 涂层刀具后处理技术对刀具性能有一定的影响,目前涂层刀具后处理技术包括热处理、磁化处理,深冷处理,随着技术的进步,更多更新型的后处理技术将带来涂层刀具的又一次变革。

### 参考文献:

- [1] 于启勋.涂层刀具的新进展[J].机械工人:冷加工,2007,9:34-36.
- [2] 赵海波.我国刀具涂层技术现状及展望[J].表面工程资讯,2006,6(2):5-8.
- [3] Bmokes K J A. World Directory and Handbook of Hardmetals and Hard Material (Sixth edition)[M]. United Kingdom: International Carbide Data 1996.
- [4] 陈旭.MT-CVD 氮碳化钛涂层新工艺[J].工具技术,1998,32(1):20.
- [5] 赵海波.国内外切削刀具涂层技术发展综述[J].工

- 具技术,2002,36(2):3-7.
- [6] 余东海,胡社军,曾鹏.离子束加速电压对真空电弧沉积 Ti(C,N)涂层性能的影响[J].电镀与涂饰,2005,24(4):4-6.
- [7] 聪慧五金.日本切削技术和刀具材料的发展[EB/OL].www.clii.cn,2007-04-20.
- [8] 赵炳桢.先进刀具的大聚会[J].现代金属加工,2005,7:90-92.
- [9] 张文毓.硬质合金涂层刀具研究进展[J].稀有金属与硬质合金,2008,36(1):59-63.
- [10] 周彤.刀具涂层技术的应用[J].机械工人,2002,9(2):22-25.
- [11] Paldey S,Deevi S C.Single layer and multilayer wear resistant clatings of (Ti,Al)N:a review [J].Material Science and Engineering A,2003,342(1-2):58-79.
- [12] Nordin M,Larsson M.Deposition and characterisation of multilayered PVD TiN/CrN coatings on cemented carbide [J].Surface and Coatings Technology,1999,116-119:108-115.
- [13] Lengauer W,Dreyer K.Functionally graded hardmetals[J].Journal of Alloys and Compounds,2002,338(1-2):194-211.
- [14] Akira K.Fomation of TiN coatings by gas tunnel type plasma reactive sporaying [J].Surface and Coatings Technology,2000,132:152-157.
- [15] 胡传,张科,李晋炜等.火焰喷涂法制备纳米改性陶瓷涂层[J].新技术新工艺,2001,21(8):44-46.
- [16] Braic M,Balaceanu M,Braic V,etal.Synthesis and characterization of TiN,TiAlN and TiN/TiAlN bio-compatible Coatings [J].Surface and Coatings Technology,2005,200:1014-1017.
- [17] Ducros C,Benevent V,Sanchette F.Deposition Characterization and machining performance of multilayer-PVD coatings on carbide cutting tools[J].Surface and Coatings Technology,2003,163:681-688.
- [18] Hsieh J H,Tan A L K,Zeng X T,Oxidation and wear behaviors of Ti-based thin films [J]. surface and coatings technology,2006,201:4094-4098.
- [19] Harish C.Barshilia,Suya Prakash M,Anjana Jain.etal. Structure haedness and thermal stability of TiAlN and nanolayered TiAlN/Cr multilayer films[J], Vacuum,2005,77:169-179.
- [20] Soutoa R M,Alanyali H,Electrochemical characteristics of steel coated with TiN and TiAlN coatings[J], Corrosion Science,2000,42:2201-2211.
- [21] 肖诗纲.刀具材料及其合理选择(第二版)[M].北京:机械工业出版社,1990.
- [22] 叶伟昌,严卫平,叶毅,涂层硬质合金刀具的发展与应用 [J].硬质合金,1998,(1):54-57.
- [23] Rosso M ,Porto G,Geminiani A.Studies of graded cemented carbides components[J].International Journal of Refractory Metals & Hard Materials,1999,17 (1-3):187-192.
- [24] Karner J,Pedrazzini M,Reineck I,et al.CVD diamond coated cemented carbide cutting tooling [J].Materials Science and Engineering A,1996,209(1-2):405-413.
- [25] Krishnan N,Boppana S P,Deepak G B.Development of a graded TiCN coating for cemented carbide cutting tools:a design approach [J].Wear,1995,188 (1-2):123-129.
- [26] Ekroth M,Frykholm R,Lindholm M,etal.Gradient zones in WC-Ti(C,N)-Co-based cemented carbides:experimental study and computer simulations [J].Acta Mater,2000,48(9):2177-2185.
- [27] 张武装,刘咏,贺跃辉等.Co含量对硬质合金梯度结构和性能的影响 [J].中国钨业,2004,19(6):34-37.
- [28] 尹飞,陈康华,王社权.基体的梯度结构对涂层硬质合金性能的影响[J].中南大学学报:自然科学版,2005,36(5):776-779.
- [29] 邹志强.难熔金属与硬质材料进展.全国粉末冶金会议论文集[C],北京,地震出版社,1994:1-3.
- [30] 方斌,黄传真,许崇海等.涂层刀具的研究现状 [J].机械工程师,2005,10:22-24.
- [31] 于启勋.涂层刀具的新进展[J].机械工人:冷加工,2007,9:34-36.
- [32] 彭红瑞,赵程,石玉龙. PCVD-TiN涂层及其钢基体的热处理[J].青岛化工学院学报,1995,20(1):44-47.
- [33] (苏)B.M 库德利耶夫采娃等.硬质合金[M],1988年5月.
- [34] 李勇.刀具深冷处理机理与应用技术研究[D].华南理工大学,2002.
- [35] 叶永彬,金戈.一种处理刀具的新技术[J].国外金属加工,1989,5:1-3.
- [36] 唐馨如.刀具磁处理装置[P].中国专利:93212370.8,1996-02-28.