

技术开发·

金刚石涂层硬质合金的研究动态[†]()

刘 沙¹, 易丹青¹, 余志明¹, 卢 斌¹, 王 斌¹, 李泳侠², 邹 丹²

(1. 中南大学材料科学与工程系, 湖南 长沙 410083;

2. 湖南银洲有色高技术有限公司, 湖南 长沙 410083)

摘 要: 介绍了金刚石低压气相沉积薄膜的组织结构与性能、应用前景和 market 分析预测, 以及金刚石低压气相沉积基本原理和工艺方法; 并着重介绍了近年来国外有关低压气相沉积金刚石涂层硬质合金方面的研究动态。

关键词: 金刚石薄膜; 涂层; 硬质合金; 组织结构与性能; 应用和 market

中图分类号: TF125.34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0536(2000)03-0036-09

4 国外低压气相沉积金刚石涂层硬质合金的研究动态

4.1 基本技术工艺路线及相关情况

金刚石优异的性能, 使其成为机械加工刀具及耐磨零件最佳候选材料之一。计算机及自动控制技术的高速发展, 促使了现代工业技术的长足进展。作为机械加工刀具及耐磨零件主要材料之一的常规硬质合金, 已越来越难以满足其发展要求。金刚石单晶(PCD)和金刚石复合材料(PDC)的应用, 尽管满足了现代工业技术发展的部分要求, 但由于其产品制造工艺复杂, 成本较高, 且产品形状受到限制, 其应用仍受到极大阻碍。金刚石低压化学气相沉积(CVD)方法的成功开发应用, 为研究和开发金刚石涂层硬质合金产品奠定了基础。与金刚石单晶和金刚石复合材料产品相比, 金刚石涂层硬质合金产品不仅成本低廉, 形状局限性更小, 而且其使用性

能也能与前二者媲美。同时, 作为部分硬质合金及非金刚石涂层硬质合金的替代产品, 开发金刚石涂层硬质合金产品具有特别重要的意义。

金刚石涂层硬质合金产品主要用作切削刀具(车刀、铣刀、钻头、烟刀等), 加工有色金属(如铝合金等)和非金属材料(如碳纤维复合材料等); 并可用作耐磨零件(如轧辊、模具), 加工金属和非金属材料。80年代初期, 美国、日本及欧洲等国家和地区相继开始了金刚石涂层硬质合金的研究。现在该研究仍方兴未艾。除上述国家和地区研究水平较高之外, 近几年来, 很多世界其他国家和地区也正在投入该研究, 这说明该研究已成为世界范围内的研究热点。该研究的基本技术工艺路线如图9所示。

与 Si 及 Si 基陶瓷不同, 由于硬质合金基体与金刚石涂层之间不能形成化学键结合, 而且在高温下 Co 对金刚石薄膜的生长不

收稿日期: 1999-11-30

作者简介: 刘 沙(1961-), 男, 湖南长沙人, 副教授, 在读博士, 主要从事难熔金属及硬质合金材料研究。

† 本文 部分请见本刊上期(总第 141 期)第 53~57 页。

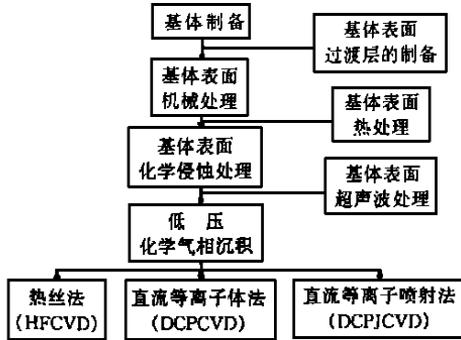


图 9 金刚石涂层硬质合金研究的基本技术工艺路线

利;同时,硬质合金基体与金刚石涂层的热膨胀系数相差悬殊,致使基体与涂层之间的界面结合力较弱,加之基体本身的技术不稳定性,更使得研究结果的可再现性较低,尽管有些国家和地区已研制出产品样品,但其研究仍未取得实质性重大突破^[5]。如何提高基体与涂层之间的界面结合力,是该研究急需解决的问题。目前,有关基体表面预处理的研究着重在三个方面^[5]:(1)基体表面机械处理或热处理,以提高基体与涂层之间的界面结合;(2)侵蚀基体表面除去 Co 相或 WC 相;(3)在基体与涂层之间形成中间过渡层或中间化合物。

这些研究内容主要有:Deuerler 等对中间过渡层进行了广泛的研究,研究材料主要有非晶碳化物、SiC、W、Cu、Mo、Nb、Ti、Ta、Pt 和 WC + 10% TiC 等,以及用各种无机酸侵蚀基体表面,以便溶解 Co 相;用碱性高铁酸盐 Murakami's 侵蚀法,除去 WC 相。除去 WC 相之后,尽管基体表面的 Co 含量增加了,但随后在金刚石微粉悬浮液中经超声波加籽晶处理之后,基体表面的粗糙度增加,使沉积获得的金刚石涂层更加稳定。切削 Al 合金(7075)试验表明,其刀片性能优于未涂层或涂层 TiAlN 的刀片^[11]。

Cappelli 等研究了侵蚀除去 Co 相之后,在 H₂ 中用等离子对基体表面进行脱碳处

理,发现沉积时,基体表面重新碳化,形成细碳化物,从而使生长的金刚石晶体更加稳定^[12]。

在惰性气氛中,对基体进行热处理,由于高温蒸发,可以除去基体表面的 Co 相,并使 WC 长大,导致基体表面的粗糙度增加。这样制得的金刚石涂层(30 μm 厚度)样品,在加工亚共晶 Al 合金时,其性能与 PCD(20 μm 厚度)的相当^[13]。

Toshiba Tungaloy^[14]和 CemeCon^[15]等公司在这方面也进行了研究,并取得了较好的效果。

为了对目前国外低压气相沉积金刚石涂层硬质合金的研究动态有进一步的了解,本文具体介绍近几年来有关基体表面预处理,改进硬质合金基体与金刚石涂层粘结效果等方面的研究。

4.2 K. Vandierendonck 等的研究

比利时的 K. Vandierendonck 等^[16]研究了用 WC 作中间过渡层,在 WC-10%Co 基体上涂层金刚石之后材料的组织和性能。用磁控溅射法制备了中间过渡层 WC。为了研究沉积过程中发生的相变,对中间过渡层 WC 进行了退火(不含 CH₄)试验。沉积方法为 MPCVD。

4.2.1 研究采用的工艺及过程

4.2.1.1 基体表面预处理

磁控溅射(W 靶)法制备中间过渡层 WC(厚度为 3 μm)。

电流:3.2 A;电压:350~440 V

基体温度:500

气体品种和流量:Ar,30 sccm;

CH₄,0~80 sccm

总压力:0.55~0.90 Pa

4.2.1.2 沉积工艺参数

基体温度:920 ;沉积压力:10 526 Pa

沉积功率:3 500 W;沉积时间:4 h

气体品种和流量:H₂,125 sccm;

CH₄,3 sccm

沉积厚度 :10 μm

4.2.2 研究结果

用 XRD 和 SEM 研究了沉积层的组织结构和成分,用 HRC 和 SEM 研究了涂层的粘结效果。研究表明,在沉积过程中,随着磁控溅射工艺和沉积工艺的变化,中间过渡层的组织结构会产生明显的变化,生成 WC、W₂C、WC_{1-x}、Co₃W₃C 等,并影响涂层的粘结效果。用 WC 作中间过渡层,可以有效改善涂层的粘结效果。在沉积过程中,随着 CH₄ 浓度的增加,会导致界面 Co 含量的增加,最大 CH₄ 浓度时,会生成 Co₃W₃C。采用最佳磁控溅射工艺和沉积工艺,可以控制 WC 中间过渡层的组织结构,获得最佳粘结效果的涂层。

4.3 R. Haubner 等的研究

考虑到金刚石涂层的粘结效果与硬质合金基体成分密切相关,特别是与低碳合金成分密切相关。因为在沉积过程中,低碳合金基体会从含碳气氛中吸附碳,而导致延迟形成金刚石。奥地利学者 R. Haubner 等^[17]研究了在含少量碳化物 (Co₃W₃C) 的低碳硬质合金 (WC-10%Co) 上,用 HFCVD 沉积金刚

石涂层的过程。

4.3.1 研究采用的工艺及过程

4.3.1.1 基体表面预处理

采用 Murakami's 侵蚀法处理组织。

4.3.1.2 沉积工艺参数

基体温度 :900 ;沉积压力 :2 600 Pa

热丝 (Ta, D 0.8 mm) 温度 :2 400

热丝与基体的距离 :10 mm

沉积时间 :20 h, 40 h, 110 h

气体流量 :500 sccm; CH₄ 体积浓度 :1 %

沉积厚度 :10 μm

4.3.2 研究结果

在 900 下对试样进行了退火 50 ~ 110 h 的处理,用 XRD 和 SEM 研究了样品的组织结构和成分的变化。

研究发现,从基体表面到内部,碳的扩散是通过反应 Co₃W₃C + C → Co(C, W) + WC 进行的 (如图 10a ~ c 所示)。在 900 时, C 和 W 的扩散反应速度很高,足以使所有的碳化物 (Co₃W₃C) 转变成 Co(C, W) 和 WC, 其反应深度达 0.9 mm。在沉积过程中,由于

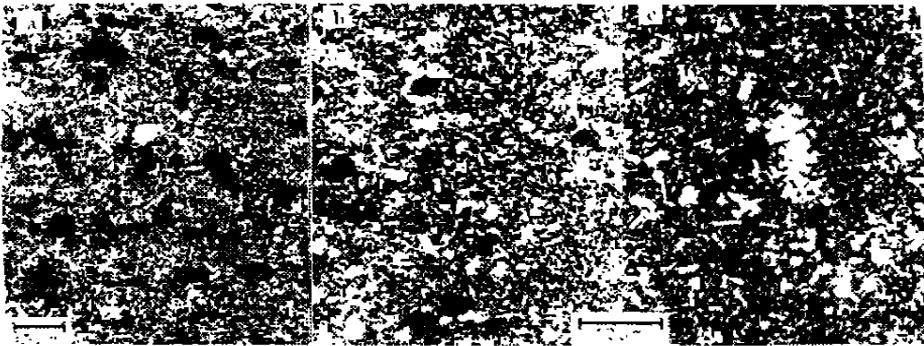


图 10 碳化物 (Co₃W₃C) 转变成 Co(C, W) 和 WC 的过程

a —— 碳化物 (Co₃W₃C); b —— 转变成 Co(C, W) 和 WC; c —— Co 岛和 WC

Co 相与基体的相互作用,Co 蒸气压延缓了金刚石的形核,催化非金刚石的碳形成,影响金刚石晶体的长大;Co 微液滴的形成导致 Co 相迁移;碳的扩散延缓了金刚石的形核;导致金刚石溶解,使表面的 Co 相成分及 Co/WC

的比率变化。为了解决 Co 的负面影响,基体表面预处理采用侵蚀 Co 相、形成中间过渡层、以及形成稳定的 Co 化合物等三种方法 (如图 11 所示)。

用酸除 Co,可以降低基体表面的 Co 含

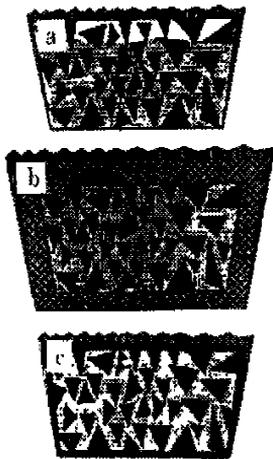


图 11 不同表面预处理方法的比较

a——侵蚀 Co 相;b——形成中间过渡层;
c——形成稳定的 Co 化合物

量,使 Co 的蒸气压下降,减少 Co 向表面的扩散,增加金刚石的形核。但会使基体表面产生孔隙,减弱金刚石涂层与基体的粘结。采用二步侵蚀处理,可以增强金刚石涂层与基体的粘结。第一步用 Murakami 法 { KOH 和 $K_2[Fe(CN)_6]$ 的混合液 } 除 WC,然后再用 H_2SO_4/H_2O_2 除 Co。

用 CVD 和 PVD 制得的各种 TiC 和 WC 中间过渡层,尽管可以完全覆盖在基体表面上,防止 Co 的负面影响,但金刚石的形核率却很低,使沉积变得困难。

在基体表面形成稳定的 Co 化合物,看来是一种较好的改善金刚石涂层与基体粘结效果的方法。在沉积初始过程中,加入硼化物 $[B(C_2H_5)_3]$,可以促进金刚石的生长,虽然表面形成的 Co 化合物很薄,却能有效地阻止 Co 相的迁移,并使 Co 的蒸气压下降几个数量级。鉴于 Co 的负面影响,建议选用 Co 含量低于 6% 的硬质合金作为涂层基体。

4.4 S. Stankovic 的研究

由于氧化性 ($R = C_2H_2/O_2 = 1$), 氧-乙炔火焰与含 H_2/O_2 气氛的等离子处理条件十

分相似^[18,19], 南斯拉夫的 S. Stankovic^[20]研究了用氧-乙炔火焰处理 WC-6%Co 基体表面,以及氧-乙炔火焰 CVD 金刚石涂层的过程。

4.4.1 研究采用的工艺及过程

4.4.1.1 表面预处理

采用氧-乙炔火焰处理 WC-6%Co 基体表面。

基体温度:1 000 ;沉积时间:25 min

气体品种: $C_2H_2/O_2 = 0.96$

侵蚀处理 ($HNO_3/HCl = 1/1$) 及超声波金刚石微粉抛光 30 min。

4.4.1.2 沉积工艺参数

基体温度:800 ;沉积时间:25 min

气体品种和流量: $C_2H_2/O_2 = 1.05$,
270 L/h

沉积厚度:10 μm

4.4.2 研究结果

用 XRD、SEM、STM、EDS 以及 HV 研究分析了样品的组织结构和成分的变化,以及基体表面和金刚石涂层的粘结效果。

研究表明,先用氧-乙炔火焰处理 WC-6%Co 基体表面,会使表面产生 WC 的部分氧化物,生成 W、 W_2C 、 WO_2 以及 CoO 和 Co_2P (P 是乙炔气体中的杂质)。随后进行酸处理,可以溶解上述氧化物,使基体表面和金刚石涂层的晶粒及表面粗糙度下降,从而使基体表面和金刚石涂层的粘结效果改善。

4.5 Dong-Gu Lee 的研究

美国的 Dong-Gu Lee^[21]研究了用激光处理 WC-6%Co 基体表面及 HFCVD 金刚石涂层的过程。

4.5.1 研究采用的工艺及过程

4.5.1.1 激光处理基体表面

$\lambda = 248\text{ nm}$, $\tau = 25\text{ ns}$

激光能量 = 1.7 ~ 7.6 J/cm²

表面粗糙度 $R_z = 0.5 \sim 3.5\ \mu m$

4.5.1.2 二步侵蚀处理

第一步用 Murakami 法 { KOH 和 $K_3[Fe(CN)_6]$ 的混合液 } 除 WC, 然后再用 HNO_3/H_2O 除 Co。

4.5.1.3 超声波处理

超声波清洗抛光 1 h。

4.5.1.4 HFCVD 沉积参数

基体温度 : 960 ;

沉积压力 : 2 666.44 Pa

热丝温度 : 2 100 ; 沉积时间 : 20 h

气体流量 : 200 sccm ; CH_4 体积浓度 : 1 %

沉积厚度 : 10 μm

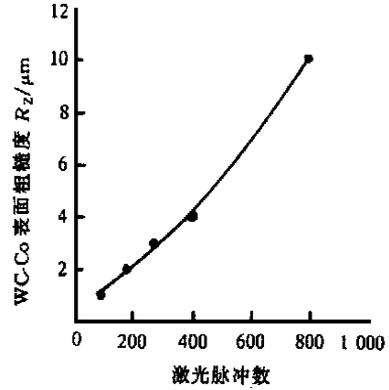


图 12 激光能量对基体表面粗糙度的影响[†]

[†] 激光能量为 $1.7 J/cm^2$

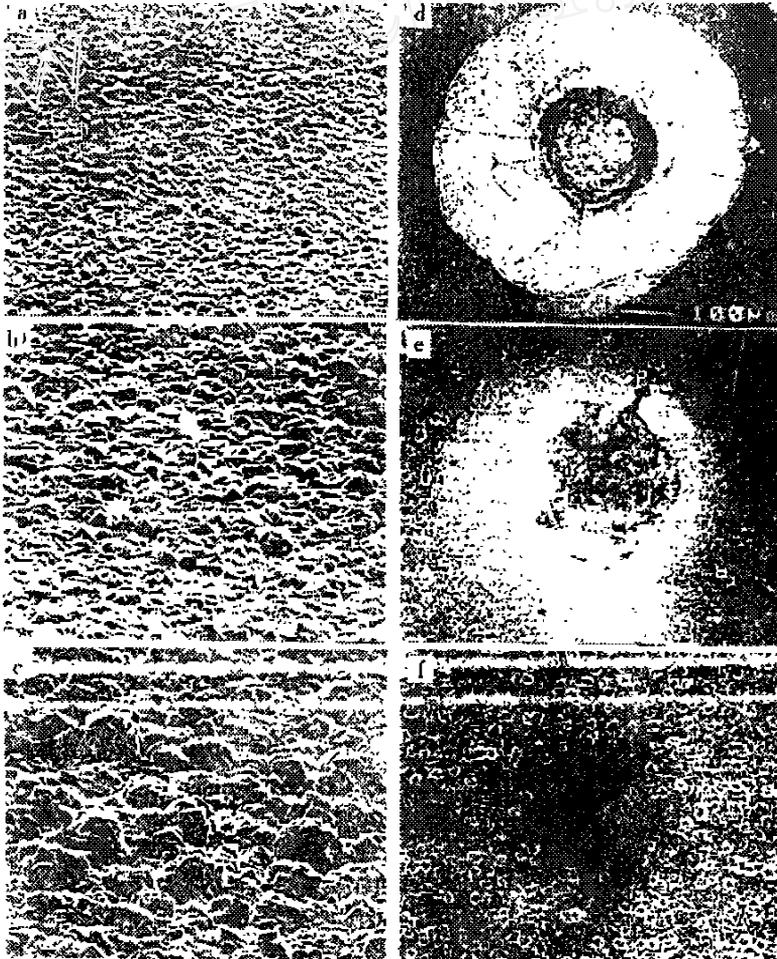


图 13 激光处理对基体表面组织和粘结效果(硬度压痕裂纹)的影响

4.5.2 研究结果

用 XRD、SEM、HV 研究分析了样品的组织结构、成分和相变,以及基体表面和金刚石涂层的粘结效果。研究发现,由于热膨胀性能的不匹配,涂层时产生高应力,导致分层裂纹及其他有害结果。用激光处理改变基体,在界面上创造三维热和成分梯度,是改善金刚石涂层与基体粘结效果的有效方法之一。

研究结果表明,随着激光能量的增加,基体表面的粗糙度增加(如图 12 所示),致使金刚石涂层的表面粗糙度也增加,结果改善了金刚石涂层与基体的粘结效果(如图 13a~f 所示)。沉积过程中还发现,基体表面的成分有所改变,形成 WC_{1-x} ($x = 0 \sim 0.3$)、 $\alpha-W_2C$ (如图 14 所示),气相中有 CO 、 CO_2 产生。

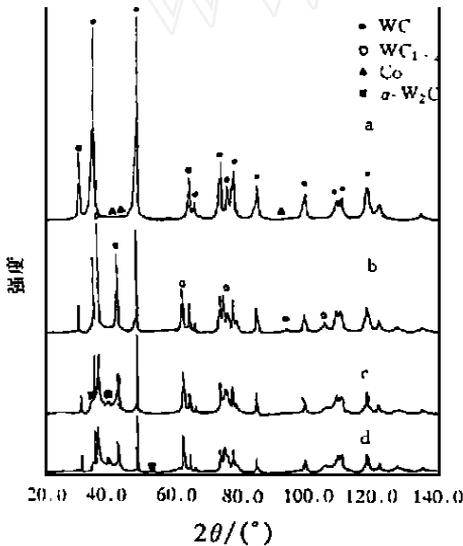


图 14 基体表面激光处理后的组织 X 衍射图谱

a——表面未处理试样;b——1 J/cm²,90 个脉冲;
c——1 J/cm²,180 个脉冲;d——1 J/cm²,270 个脉冲

4.6 Takayasu Sato 等的研究

日本东京大学的 Takayasu Sato 等^[22]研究了用碳氮共渗等离子预处理硬质合金(WC-1%Ta-5%Co)基体的过程。

4.6.1 研究采用的工艺及过程

4.6.1.1 表面预处理

等离子枪功率:4 MHz,5~10 kW

气体成分:

N_2 $C_2H_2 = (100\ 0) \sim (90\ 10)$

气体压力和流量:45 Pa,100 sccm

基体温度:450~900 ;

处理时间:60 min

4.6.1.2 沉积工艺参数

氧-乙炔火焰 CVD:氧/乙炔 = 0.87

气体流量:6.45 × 10⁻³ m³/min

基体温度:250 ;沉积时间:30 min

4.6.2 研究结果

用 Raman 光谱、XRD、SEM 研究分析了样品的组织结构、成分和相变。

研究结果表明,碳氮共渗等离子预处理时, N_2 C_2H_2 的浓度对金刚石的形成有很大影响(如图 15 所示)。C₂H₂ 的浓度为 0 时,表面无金刚石沉积;C₂H₂ 的浓度为 3% 时,

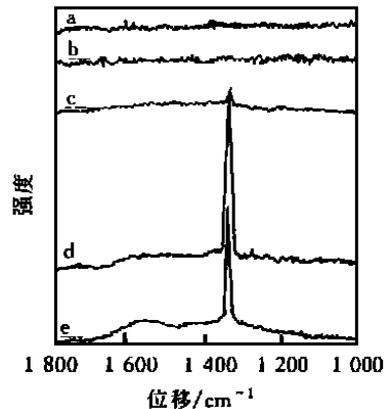


图 15 N_2 C_2H_2 浓度对金刚石形成的影响[†]

[†] 碳氮共渗等离子预处理后组织的 Raman 光谱图,其 a~e 的碳氮共渗乙炔浓度分别为 0%,1%,3%,5%,10%。

表面发现金刚石沉积;C₂H₂ 的浓度为 5% 时,Raman 光谱峰值很高,表面沉积出连续金刚石;C₂H₂ 的浓度为 10% 时,Raman 光谱峰值变宽,说明表面存在非金刚石物如非晶碳。XRD 分析表明,预处理之后,基体表面有 Co_2N 和 WC 相存在(如图 16 所示),未发现 WC 的分解反应和独立的 W 相存在。

Co_2N 的形成,有效地防止了 Co 的影响,且预处理温度为 600°C , C_2H_2 的浓度为 5% 时,效果最佳。SEM 分析表明,预处理前后,试样的表面粗糙度变化不大。而传统侵蚀 Co 相的方法,会产生非金刚石物如非晶碳。由于此研究中不用化学法侵蚀除 Co ,故基体的机械强度不会降低。

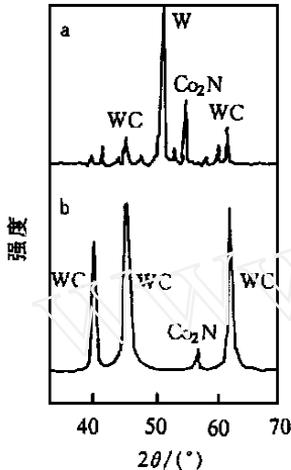


图 16 碳氮共渗等离子处理后的组织 X 衍射图谱

a — C_2H_2 浓度为 0%, 900°C ;
b — C_2H_2 浓度为 5%, 600°C

4.7 M. Lahres 等的研究

德国的 M. Lahres^[23] 等详细研究了金刚石涂层硬质合金刀片组织和干式切削加工的性能。为了保护环境,严格控制污染,采用绿色制造工艺如干式切削加工,是未来发

展方向。干式(无切削液)切削加工,不仅符合绿色制造要求,而且能降低生产成本(切削液成本约占切削总成本的 17%)。

4.7.1 干式切削试验条件

在该干式切削加工试验中,所采用的刀片型号为 SPGN120308,车削和铣削的具体参数分别列于表 4 和表 5。

4.7.2 试验结果

对进行切削加工后的刀片试样,用 Raman 光谱、XRD、SEM、AES、HRD 研究分析了其组织结构和成分变化。

研究样品包括不同组织和成分的金金刚石涂层硬质合金,如中间过渡层为 $1\ \mu\text{m}$ 的样品;基体由 WC、TiC、 Co 多相组成,且 TiC 在界面呈梯度变化(控制烧结过程得到)的样品;各种 Co 在界面偏析(不同沉积工艺产生)的样品;以及作对比用的 PCD 和硬质合金样品。

研究结果表明,与 PCD 和硬质合金样品相比,金刚石涂层硬质合金具有较好的干式切削加工性能,而且不同金刚石涂层的干式切削加工性能又各有所不同,如图 17 所示。所以,不同的干式切削加工方法应选用不同的金刚石涂层硬质合金。如车削时,应着重考虑金刚石涂层的组织结构(sp^3/sp^2 的比值及薄膜的均匀性);而铣削时,更重要的是金刚石涂层与基体的粘附效果。

4.8 S. Amirhaghi 等的研究

表 4 车削加工参数

工件尺寸 mm	刃倾角 (°)	前角 (°)	后角 (°)	主偏角 (°)	切削速度 $\text{m}\ \text{min}^{-1}$	进给量 $\text{mm}\ \text{r}^{-1}$	切削深度 mm	车削宽度 mm
L250 × D90	0	+6	+5	75	500	0.1	1	75

表 5 铣削加工参数

工件尺寸 mm	轴向前角 (°)	径向后角 (°)	主偏角 (°)	切削速度 $\text{m}\ \text{min}^{-1}$	进给量 $\text{mm}\ \text{tooth}^{-1}$	切削深度 mm	铣削宽度 mm
500 × 150 × 60	+5	+2.5	75	2 700	0.4	3	75

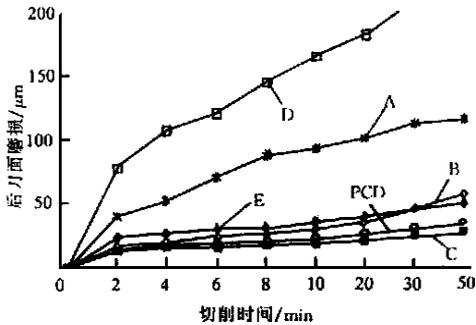


图 17 各种金刚石涂层硬质合金及 PCD 样品的干式车削加工性能的比较[†]

† A~E 为不同的金刚石涂层样品,PCD 为金刚石聚晶样品

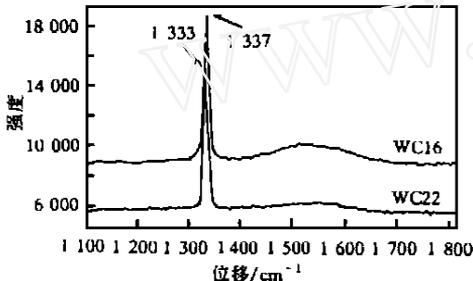


图 18 表面预处理对残余应力的影响[†]

† 表面预处理后组织的 Raman 光谱图

为解决海上石油设备所用阀门耐固体颗粒冲击应力的问题,英国的 S. Amirhaghi^[24]等研究了金刚石涂层硬质合金(WC-6%Co)的过程及其耐磨性。

4.8.1 研究采用的工艺及过程

4.8.1.1 表面预处理

采用二步侵蚀处理及超声波金刚石微粉抛光进行表面预处理。

4.8.1.2 沉积工艺参数

MPCVD

CH₄/ H₂ = 0.5 ~ 1 (体积分数)

气体压力 :6 666.1 ~ 9 332.5 Pa

基体温度 :700 ~ 800

沉积厚度 :30 μm

4.8.1.3 耐磨试验

耐磨试验条件为:空气-砂(194 μm);速度 340 m/s。

4.8.2 研究结果

用 Raman 光谱和 SEM 研究分析了样品的组织结构变化。

研究表明,金刚石涂层的性能,特别是残余应力和粘结力,与表面预处理及沉积过程紧密相联,如图 18 所示。金刚石涂层与非涂层样品相比,其耐磨性要高 5 倍,见图 19。不同的表面预处理,导致薄膜不同的残余应力。薄膜残余应力较小时,寿命更长。

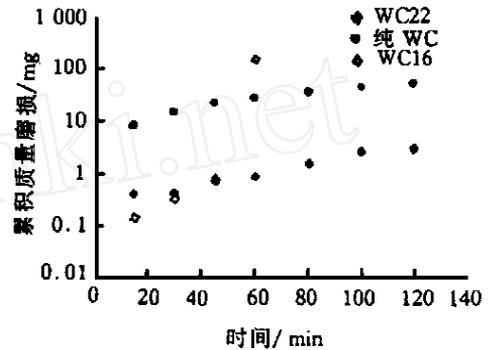


图 19 金刚石涂层硬质合金与其他样品的耐磨性能的比较

5 结 论

近几年来,国外有关金刚石涂层硬质合金的研究发展十分迅速,这是因为金刚石涂层硬质合金具有广阔的市场前景。目前的研究重点仍是如何改善硬质合金基体与金刚石涂层的粘结效果。尽管研究已取得了较好的效果,但要将研究转化为商品,还有待于进一步的深入研究。而国内在此方面的研究还比较落后,应尽快开始有关金刚石涂层硬质合金方面的研究。

参考文献:

[1] DEUERLER F, *et al.* Process Control during Diamond Coating of Tools[J]. Int J Refractory Metals & Hard Materials, 1998, 16:191.
 [2] YU Z, *et al.* Pressure Dependence of Growth Mode of HFCVD Diamond[J]. Diamond and Related Materials, 1997, (6) :81.
 [3] YU Z, *et al.* Orientation of (1 ×1)-Surface Free Energies of Crystals[J]. Surface Science, 1998, 401:236.

- [4] YU Z, *et al.* Diamond Growth on Turbostratic Carbon by Hot Filament Chemical Vapor Deposition [J]. *Journal of Applied Physics*, 1993, 74:7 235.
- [5] KLAGES C P, *et al.* Diamond Coatings and CBN Coatings for Tools [J]. *Int J Refractory Metals & Hard Materials*, 1998, 16:171.
- [6] 方啸虎. 超硬材料科学与技术(下卷) [M]. 北京:中国建材工业出版社, 1998.
- [7] 李惠琪, 等. 等离子体喷射法气相生长金刚石 [M]. 北京:煤炭工业出版社, 1995:11.
- [8] DERYAGUM B V, *et al.* *Sci Amer*, 1975, 233(5):102.
- [9] FEDOSEEV D V, *et al.* *Russ Chem Rev (Eng Transl)*, 1984, 53(5):435.
- [10] 郭志猛, 等. 超硬材料与工具 [M]. 北京:冶金工业出版社, 1996:230.
- [11] DEUERLER F, *et al.* Pretreatment of Substrate Surface for Improved Adhesion of Diamond Films on Hard Metal Cutting Tools [J]. *Diamond and Related Materials*, 1996, (5):1 478.
- [12] CAPPPELLI E, *et al.* Diamond Nucleation and Growth on Different Cutting Tool Materials [J]. *Diamond and Related Materials*, 1996, (5):292.
- [13] OLES EJ, *et al.* The New Diamond-coated Carbide Cutting Tool [J]. *Diamond and Related Materials*, 1996, (5):617.
- [14] TAKATSU S. *Proc of Coat Tech* [M]. Wiesbaden: Germany, 1989:26.
- [15] LEYENDECKER A, *et al.* A New Coating Process Integrated in an Innovative Coating System for Production of Well-adherent Diamond Coatings [J]. *Int J Refractory Metals & Hard Materials*, 1998, 16:187.
- [16] VANDIERENDONCK K, *et al.* W/WC Diffusion Barrier Layers for CVD Diamond Coating Deposited on WC-Co: Microstructure and Properties [J]. *Surface and Coatings Technology*, 1998, 98:1 060.
- [17] HAUBNER R, *et al.* Interactions of Hard Metal Substrates During Diamond Deposition [J]. *Int J Refractory Metals & Hard Materials*, 1998, 16:177.
- [18] SHIBUKI K, *et al.* *Diamond Films Tech*, 1993, (3):31.
- [19] PENG XL, *et al.* *Thin Solid Films*, 1994, 29:47.
- [20] STANKOVIC S, *et al.* Effects of the Pretreatment of a Cemented Carbide Surface on Its Properties and on the Properties of Diamond Coatings Deposited by Oxygen-acetylene Flame CVD [J]. *Diamond and Related Materials*, 1999, (8):207.
- [21] DONG GU LEE, *et al.* Novel Method for Adherent Diamond Coatings on Cemented Carbide Substrates [J]. *Surface and Coatings Technology*, 1998, 100-101:189.
- [22] SATO TAKA YASU, *et al.* Plasma Carbonitriding of Cemented Carbide Substrate as an Effective Pre-treatment Process for Diamond CVD [J]. *Surface and Coatings Technology*, 1999, 112:189.
- [23] LAHRES M, *et al.* Properties and Dry Cutting Performance of Diamond-coated Tools [J]. *Surface and Coatings Technology*, 1997, 96:198.
- [24] AMIRHAGHI S, *et al.* Growth and Erosive Wear Performance of Diamond Coatings on WC Substrates [J]. *Diamond and Related Materials*, 1999, 8:845.

Research Information on Diamond-coated Hard Metals ()

LIU sha¹, YI Dan-Qing¹; YU Zhi-ming¹; LU Bin¹, WANG Bin¹, LI Yong-xia², ZOU Dan²

(1. Central South University, Changsha 410083, China

2. Hunan Yingzhou Nonferrous Metals Hi-Tech, Ltd Company, Changsha 410083, China)

Abstract: The principal and technology of diamond CVD, structure and properties of CVD film, its application prospect and market all are presented with focus on research of diamond CVD hard metals.

Key words: diamond CVD film; coating; hard metals; structure and property; application and market