

梯度基体温度法和反应溅射 TiC 过渡层 对钛合金基体沉积金刚石薄膜的影响^{*}

余志明^a, 张益豪^a, 魏秋平^{a, b}, 刘丹瑛^a, 孟令聪^a

(中南大学 a. 材料科学与工程学院 b. 粉末冶金国家重点实验室, 长沙 410083)

摘 要: 以 H_2 和 CH_4 作为反应气体, 采用热丝化学气相沉积法 (HFCVD) 在钛合金 (Ti6Al4V) 平板基体上制备金刚石薄膜, 利用扫描电镜 (SEM)、X 射线衍射仪 (XRD)、激光拉曼光谱 (Raman) 和洛氏硬度仪分析薄膜的表面形貌、结构、成分和附着性能, 研究了高温形核-低温生长的梯度降温法对原始钛合金和反应磁控溅射 TiC 过渡层的钛合金表面沉积金刚石薄膜的影响。结果表明: 原始基体区和 TiC 过渡层区沉积的金刚石薄膜平均尺寸分别为 $0.77\ \mu m$ 和 $0.75\ \mu m$, 薄膜内应力分别为 $-5.85\ GPa$ 和 $-4.14\ GPa$, TiC 层的引入可以有效提高金刚石的形核密度和晶粒尺寸的均匀性, 并减少薄膜残余应力; 高温形核-低温生长的梯度降温法可以有效提高金刚石的形核密度和质量, 并提高原始基体上沉积金刚石薄膜的附着性能。

关键词: 金刚石; 过渡层; 梯度降温; 温度; 热丝化学气相沉积

中图分类号: TG174.44; TB43 文献标识码: A 文章编号: 1007-9289(2012)03-0020-08

Effects of Gradient Substrate Temperature and Reactive Sputtered TiC Interlayer on Diamond Films on Ti6AlV4 Alloy by HFCVD

YU Zhi-ming^a, ZHANG Yi-hao^a, WEI Qiu-ping^{a, b}, LIU Dan-ying^a, MENG Ling-cong^a

(a. School of Materials Science and Engineering b. State Key Laboratory of Powder Metallurgy, Central South University, Changsha 410083)

Abstract: Diamond films were deposited on Ti6Al4V substrates with the mixture gas of methane and hydrogen by hot filaments chemical vapor deposition (HFCVD). The surface structure and cross-section morphology was observed by scanning electron microscopy (SEM) and atomic force microscope (AFM), the components were investigated using X-ray diffraction (XRD) and laser Raman spectrum, and the adhesion of diamond film was characterized by Rockwell hardness tester. A TiC interlayer was deposited on the substrate using reactive magnetron sputtering. Diamond films were grown on original and TiC coated Ti6Al4V substrates with decreasing substrate temperature gradually during the CVD diamond growth. The effects of gradient substrate temperature and reactive sputtered TiC interlayer on the diamond films by HFCVD were investigated. The results show that the average size of diamond films on original and TiC coated Ti6Al4V substrates is $0.77\ \mu m$ and $0.75\ \mu m$, respectively, and the film internal stress is $-5.85\ GPa$ and $-4.14\ GPa$, respectively. A TiC interlayer with appropriate seeding pretreatment is shown to play an important role in improving the nucleation and quality and decreasing the residual stress of the diamond film, relative to that shown by substrates without such pretreatment.

Key words: diamond; interlayer; gradient cooling; temperature; hot filaments chemical vapor deposition (HFCVD)

收稿日期: 2012-01-17; 修回日期: 2012-04-18; 基金项目: * 粉末冶金国家重点实验室开放基金(20110933K); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2012QNZT002)

作者简介: 余志明(1956—), 男(汉), 湖南常德人, 教授, 博士; 研究方向: 超硬涂层、固体薄膜材料、晶体生长的研究

网络出版日期: 2012-05-22 17:02; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20120522.1702.001.html>

引文格式: 余志明, 张益豪, 魏秋平, 等. 梯度基体温度法和反应溅射 TiC 过渡层对钛合金基体沉积金刚石薄膜的影响 [J]. 中国表面工程, 2012, 25(3): 20-27.

0 引 言

钛合金因具有高的强度/质量比、理想的疲劳强度和抗蚀性、低弹性模量、优良的成型和机械加工性而被广泛应用于许多领域,如航空航天、腐蚀环境和生物医学领域^[1-4]。但钛合金存在摩擦因数高、耐磨性和导热性差等缺点^[5-6]。金刚石薄膜应用于钛合金改性方面具有明显的优点,如高硬度、高热导率、低摩擦因数、良好的化学稳定性和生物相容性等,在钛合金表面沉积一层附着力良好的金刚石薄膜可以极大地改善其性能,因而受到了许多学者的关注和重视。但是实际应用中还存在一些问题:①沉积温度过高会影响钛合金基体的性能;②钛合金与金刚石热膨胀系数相差较大,从沉积温度(600~800 ℃)降到室温的过程中,薄膜与基体间会产生巨大的热应力^[7-8],导致薄膜开裂或剥落;③碳、氢等轻元素在钛合金中扩散系数较高,在薄膜沉积初期活性碳原子会溶解于钛合金中并生成一层碳化物^[8],降低基体表面活性碳原子浓度,延长金刚石的形核时间;④常规的微米金刚石薄膜晶粒尺寸较大,薄膜表面粗糙度和摩擦性能不能满足要求^[9-11]。

为了提高膜基结合强度和减小粗糙度,国内外学者们进行了大量研究^[12-15]。早期的研究发现通过热丝距离与热丝功率耦合控制基体温度时,基体温度对金刚石的形核率和生长质量均有很大影响^[16],提高基体的温度能够有效提高金刚石的质量^[17]。在 WC-Co 硬质合金上采用反应溅射制备 W-C 梯度过渡层沉积金刚石薄膜发现,较高的沉积温度能够形成高质量和高形核密度的金刚石薄膜^[18]。

文中采用热丝化学气相沉积法(HFCVD)在钛合金(Ti6Al4V)基体上沉积金刚石薄膜,采用高温形核-低温生长的梯度降温法在钛合金基体表面和反应磁控溅射法 TiC 过渡层表面沉积了金刚石薄膜,研究了梯度降温法和 TiC 过渡层对 HFCVD 金刚石薄膜的影响。

1 试 验

1.1 TiC 过渡层的制备

采用 CSU550-I 型超高真空磁控溅射仪,溅射室配备涡轮分子泵,极限真空度为 8×10^{-5} Pa。试验用气体为体积分数 99.99% 的高纯氩和高纯

甲烷,靶材为纯 Ti 靶(99.9%),磁控溅射参数如表 1 所示。基体为 10 mm×10 mm×3.0 mm 的 Ti6Al4V,分别用 400 号、800 号、1200 号金相砂纸机械初磨后进行抛光。六个样品为一组,按图 1 所示顺序排列后用铝箔沿样品一条边的中垂线进行封装处理,保证每个样品只有一半面积溅射 TiC,以便后续原始基体与溅射有过渡层的基体进行对比。

表 1 磁控溅射参数

Table 1 Parameters of magnetron sputtering				
CH ₄ in Ar	Pressure	Temperature	Power	Time
/ %	/ Pa	/ ℃	/ W	/ h
5	1.4	400	230	2
10	1.4	400	230	2
20	1.4	400	230	2

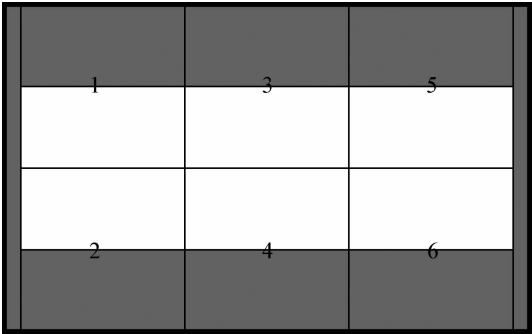


图 1 样品封装示意图

Fig. 1 Schemes of sample encapsulation

1.2 金刚石薄膜的制备

由于每个样品只有一半的面积溅射 TiC,在经过磁控溅射的样品表面进行金刚石薄膜的沉积时,相当于同时在 Ti 合金和 TiC 过渡层上进行金刚石薄膜的沉积,可以保证试验环境完全一致。沉积金刚石薄膜之前,对封装溅射后的样品使用金刚石粉丙酮悬浊液超声振荡 30 min,并用丙酮清洗。HFCVD 参数如表 2 所示。

由于钛合金与金刚石的热膨胀系数差异太大,前期大量研究发现基体温度较高时(>700 ℃)很难获得良好附着力的金刚石薄膜,故采用高温形核-低温生长的梯度降温法沉积金刚石薄膜,在试验开始阶段采用较高的温度形核(850、800、750、700 ℃和 650 ℃下各 5 min)和甲烷浓度(3%,30 min),在没有获得连续致密的金刚石薄

膜之前,再降至低温(600 ℃)下生长连续致密、高质量的金刚石薄膜,以便有效降低薄膜中的热应力。

表 2 金刚石薄膜的沉积参数

Table 2 Deposition parameters of diamond film	
Parameter	Value
Distance /mm	8.0 ± 1.0
Temperature /℃	600.0 ±10.0
Pressure /kPa	3.00 ± 0.05
CH ₄ in H ₂ /%	2
Flow rate /(L·min ⁻¹)	100
Response time /h	3

采用型号为 D/max2500 型 X 射线衍射仪(XRD)分析薄膜的物相组成;采用 Sirion200 场发射扫描电镜和 Solver P47 型原子力显微镜(AFM)观察 TiC 过渡层和金刚石薄膜的表面形貌、压痕形貌和表面粗糙度;采用 Horiba Jobin Yvon Lab RAM HR800 多波长激光拉曼光谱仪对金刚石膜的成分和结构进行分析,其光源为波长 488 nm 的 Ar⁺ 离子激光,衍射光栅为 1800 lines/mm,入射激光斑点的分辨率小于 2 μm;HFCVD 金刚石膜的附着性能采用压痕法进行评估,所用圆锥体金刚石压头的顶角为 120°±20′,顶端球面半径为 (0.2±0.01) mm,所用载荷为 588 N,加载时间 20 s。

2 试验结果与分析

2.1 TiC 过渡层

图 2 为不同碳源浓度的 TiC 过渡层的 XRD 图。在 2θ 分别位于 36°、42°、61°和 73°出现了明显的 TiC 特征衍射峰,如图 2(a)所示。随着碳源浓度的增加,TiC 的峰强度明显增加。当碳源浓度为 10%时,Ti 位于 35.5°处的(100)峰相对强度迅速减小,TiC 位于 36°处的衍射峰强度显著增加,如图 2(b) 所示。当碳源浓度为 20%时,因为临近 TiC 峰的相对强度太大,已经无法在图中观察到 Ti 的(100)峰,如图 2(c)所示。随着碳源浓度的增加,反应室内的含碳活性基团浓度迅速增加,基体表面有更多的含碳活性基团可以与 Ti 原子或原子团反应生成 TiC。对反应磁控溅射

TiC 后的基体进行断面 SEM 分析,可以表征所溅射 TiC 层的厚度。

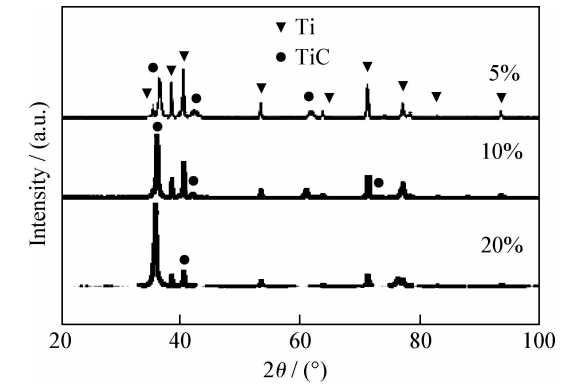


图 2 反应磁控溅射 TiC 层的 X 射线图谱
Fig. 2 XRD of TiC by reactive magnetic sputtering

不同碳源浓度下获得的 TiC 基体断面 SEM 如图 3 所示。使用原子力显微镜对 TiC 过渡层进行分析,图 4 是根据原子力显微分析得到的晶粒尺寸分布图,图 5 是 TiC 过渡层的表面 AFM 形貌。随着碳源浓度的增加,TiC 的表面粗糙度先增大后减小。从图中可以看出原始基体的晶粒尺寸比较平均,约为 12.2 nm,如图 4(a)所示。

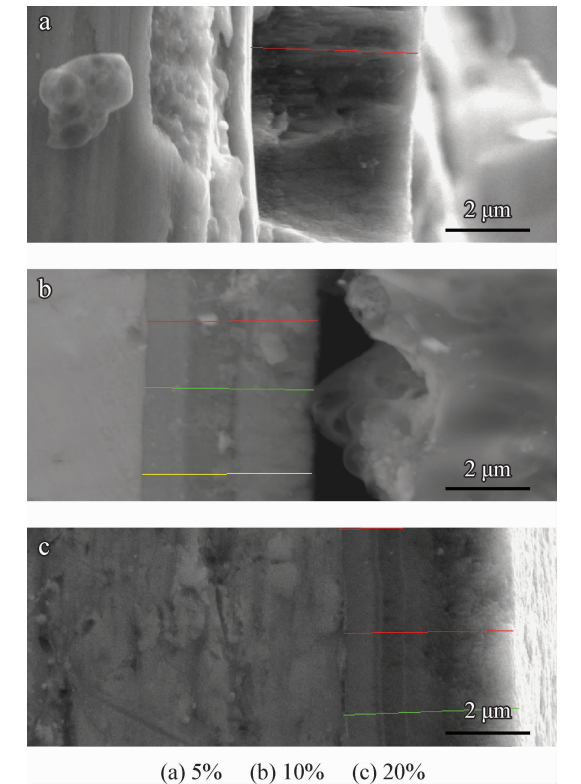


图 3 反应磁控溅射 TiC 层的断面 SEM 图
Fig. 3 SEM of TiC cross section by reactive magnetic sputtering

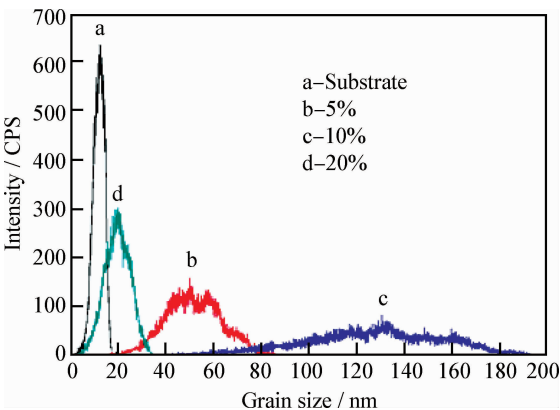
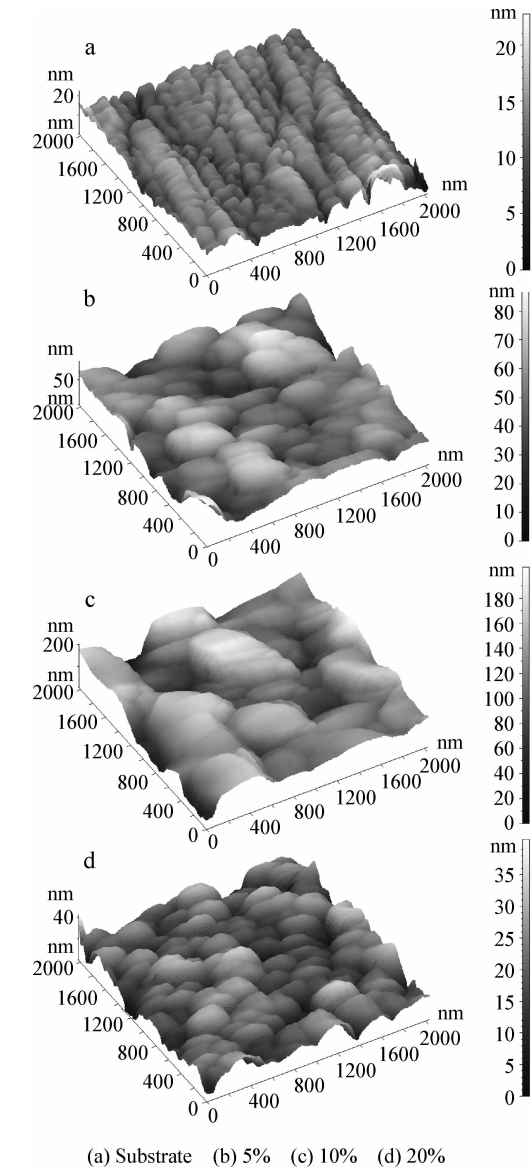


图 4 TiC 过渡层的晶粒尺寸分布
Fig. 4 Grain size distribution of TiC interlayer



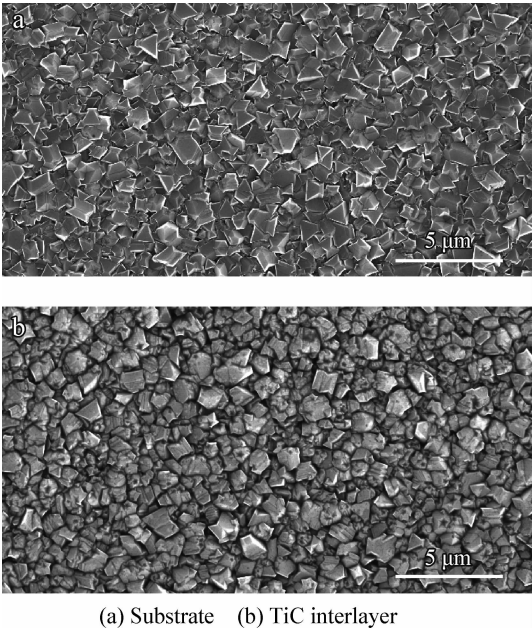
(a) Substrate (b) 5% (c) 10% (d) 20%

图 5 TiC 过渡层 AFM 表面形貌分析
Fig. 5 AFM of TiC interlayer

碳源浓度为 5% 时, 晶粒尺寸比较分散, 平均为 51.6 nm 和 58.6 nm, 如图 4(b) 所示。碳源浓度为 20% 晶粒尺寸分布相对集中, 平均值为 20 nm, 如图 4(d) 所示。碳源浓度为 10% 晶粒尺寸分布最为分散, 平均尺寸也最大, 达到 125.7 nm, 如图 4(c) 所示。反应磁控溅射 TiC 后, 材料的表面粗糙度比原始基体有所增加, 但是仍然在可以接受的范围之内。

2.2 金刚石薄膜

图 6 是原始基体区和 TiC 过渡层区沉积所得金刚石薄膜的表面 SEM 形貌图。从图中可以看出, 在 600 °C 条件下可以沉积得到致密的金刚石薄膜。在原始 Ti6Al4V 基体上沉积得到的金刚石薄膜连续而致密, 晶粒刻面清晰、棱角分明, 显露面多以三角形的(111)为主, 如图 6(a) 所示。在 TiC 过渡层上沉积得到的金刚石薄膜更为致密。图 7 为原始基体区和 TiC 过渡层区所沉积金刚石薄膜的晶粒粒径分布统计图, 从图中可以看出, 原始基体区所沉积金刚石薄膜晶粒尺寸分布于 0.24~1.72 μm, 平均晶粒大小为 0.77 μm; TiC 区所沉积的金刚石薄膜晶粒尺寸分布于 0.44~1.38 μm, 平均晶粒大小为 0.75 μm。由此可见, TiC 过渡层的引入提高了金刚石的形核密度和形核均匀性, 使所得金刚石薄膜晶粒尺寸更为均匀。



(a) Substrate (b) TiC interlayer

图 6 金刚石薄膜的表面 SEM 形貌
Fig. 6 SEM of diamond films

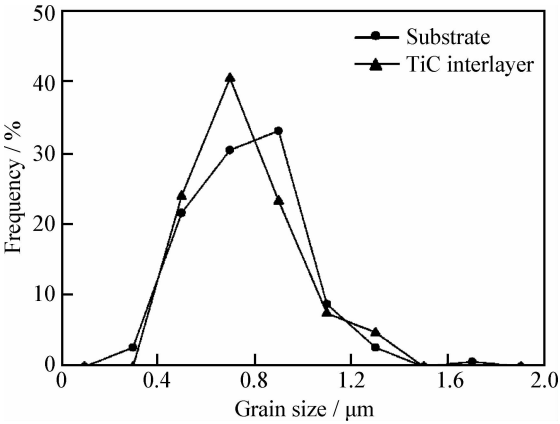


图 7 原始基体区和 TiC 过渡层区所沉积金刚石薄膜晶粒粒径分布统计

Fig. 7 Grain size distribution statistics of diamond films of substrate and TiC interlayer

图 8 给出了原始基体区和 TiC 过渡层区沉积所得金刚石薄膜的激光 Raman 光谱。从图中可以看出,在 1332 cm^{-1} 附近出现了比较尖锐的金刚石特征峰,而在 $1450\sim 1650\text{ cm}^{-1}$ 之间石墨峰高度很小。由于石墨的 Raman 光谱灵敏度远大于金刚石的,因此,在原始基体区和 TiC 过渡层区表面沉积所得薄膜以金刚石成分为主,其他非金刚石杂质(包括石墨及非晶碳等)成分相含量很少,金刚石的质量很好。比较图 8 中两个样品的 Raman 光谱可以看出,TiC 过渡层上沉积所得金刚石薄膜的金刚石特征峰更加尖锐,峰强比 I_D/I_G 更大,说明金刚石相含量更高。

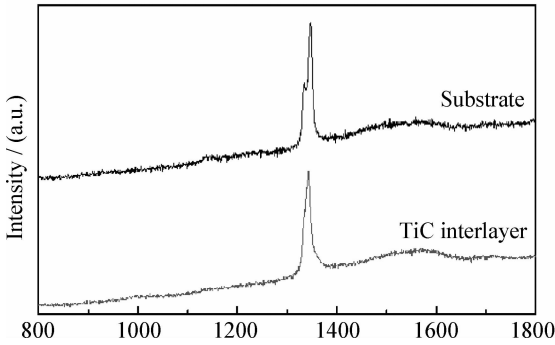


图 8 金刚石薄膜的 Raman 光谱

Fig. 8 Roman spectrum of diamond films

从 Raman 试验结果可以得到各样品金刚石 Raman 特征峰的频率,然后与标准金刚石 Raman 特征峰(1332.2 cm^{-1})进行比较计算出拉曼峰偏移量($\Delta\nu$),从而估算出残余应力(σ)^[19]。

Joel W、Ager III 等^[20]对 Ti6Al4V 基体上 CVD 金刚石膜内双轴残余应力进行了研究:

对单线声子: $\sigma(\text{GPa})=-1.08\Delta\nu(\text{cm}^{-1})$ (1)

对偶极声子: $\sigma(\text{GPa})=-0.384\Delta\nu(\text{cm}^{-1})$ (2)

图 8 中原始基体区和 TiC 过渡层区所沉积金刚石薄膜的 Raman 特征峰分别在 1347.44 cm^{-1} 和 1343.08 cm^{-1} ,根据上式(偶极声子)计算所得内应力分别为 -5.85 GPa 和 -4.14 GPa ,所得内应力 σ 均为负值,表明内应力为压应力,并且 TiC 过渡层的加入减少了内应力。从图 8(a)中可以看出,直接在原始基体区沉积所得金刚石薄膜的 Raman 光谱的金刚石特征峰趋向于劈裂为两个特征峰,而在 TiC 过渡层上沉积所得金刚石薄膜的金刚石特征峰没有观察到类似现象,有文献^[21]认为金刚石薄膜生长过程中由于基体与金刚石热膨胀系数相差较大,从沉积温度冷却至室温时会产生较大的内应力,当这种内应力分布不均匀时就会导致金刚石薄膜 Raman 特征峰劈裂为两个尖锐的特征峰。

图 9 是原始基体区和溅射有 TiC 过渡层基体区表面沉积金刚石薄膜后的 X 射线衍射图谱。从中可以看出,在 TiC 过渡层上得到的金刚石薄膜中 TiC 的峰强度明显高于原始基体,如图 9(a)、9(b)所示。通过 9(b)、9(c)可知,TiC 过渡层经 HFCVD 沉积金刚石后,样品的 TiC 峰发生明显的加强。这很可能是因为反应磁控溅射的非平衡生长条件下 TiC 过渡层中含有较多的亚稳态或无定形态的 Ti-C 相,在 CVD 高温反应过程中,由于活性碳基团的扩散反应,使 Ti-C 相发生了明显的晶化,形成了更为稳定的 TiC 相,体现

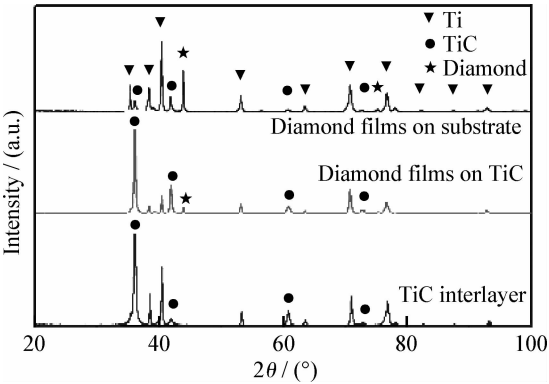


图 9 X 射线衍射图谱

Fig. 9 XRD of diamond films and TiC

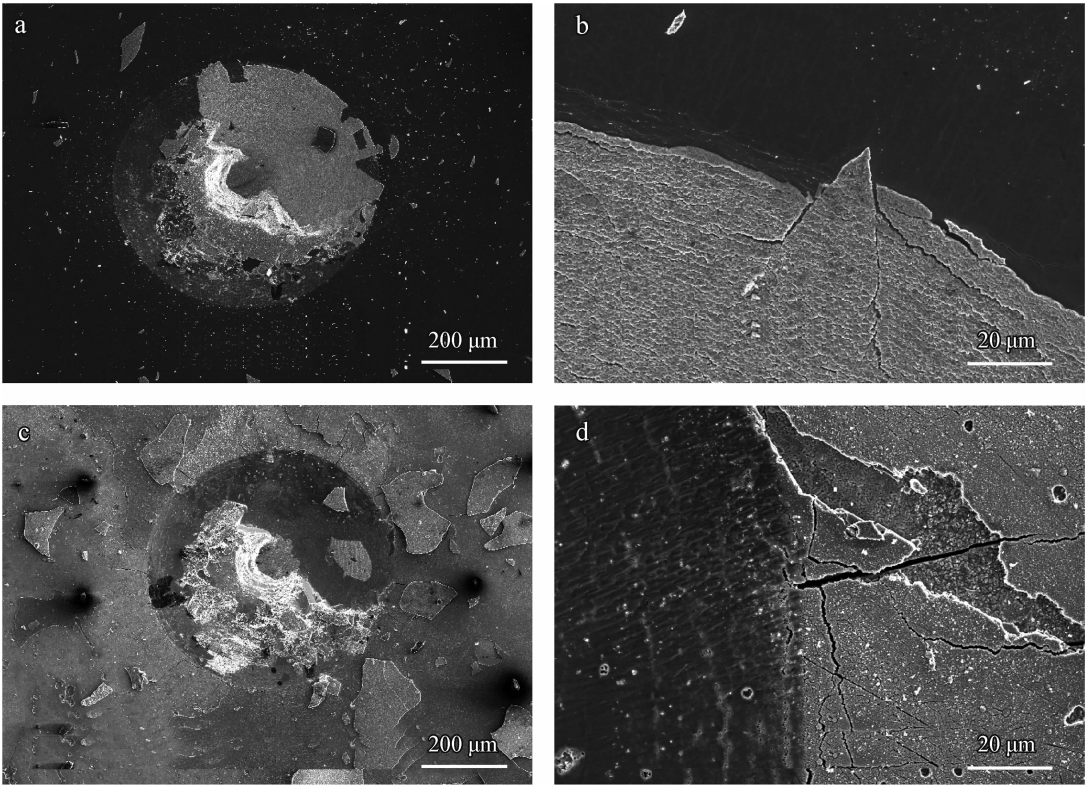
在 X 射线衍射图谱上就表现为 TiC 峰变的更为尖锐和峰强更大。此外,从图中可知,在 2θ 约为 43.8° 和 75.3° 处均出现了明显的金刚石特征衍射峰。

2.3 金刚石薄膜的附着性能

对原始基体和 TiC 上沉积的金刚石膜进行压痕测试。用洛氏硬度计对薄膜施加 588 N(60 kg) 的压应力,用扫描电镜观察压痕处的形貌。如图 10(a)所示,压头已经将原始基体上的金刚石薄膜全部破坏,有金刚石膜的碎片崩落在压痕周围,在压痕边缘处还存在很多裂纹。TiC 过渡层上沉积的金刚石薄膜同样被严重破坏,压痕周围散落的 TiC 和金刚石薄膜碎片比原始基体稍多,如图 10(c)所示。由此看来,TiC 过渡层在解决金刚石与 Ti6Al4V 基体附着强度上的作用是复杂的,本试验并没有从根本上解决金刚石与 Ti

合金的结合力问题,通过溅射 TiC 过渡层来提高 Ti 合金上金刚石薄膜的结合力还需要进一步的研究。但是,梯度降温法有效提升了原始基体上沉积金刚石薄膜的附着性能。

使用洛氏硬度计对 TiC 过渡层上沉积的金刚石薄膜进行压痕试验。对薄膜施加 588 N(60 kg) 的力,使用场发射扫描电镜分析薄膜剥落边界处的样品形貌情况。在图 11 中可以清晰地看到剥落边界的形貌,原始基体、TiC 过渡层、金刚石薄膜层可以同时图 11(b)中展现出来。图 11(a)是原始基体的表面形貌,上面有少量剥落的金刚石和 TiC 过渡层碎片。图 11(c)是 TiC 过渡层的放大图片,TiC 的晶粒明显比金刚石要小,TiC 层的出现说明金刚石和 TiC 之间的结合力并不理想。图 11(d)是金刚石表面形貌的放大图像。



(a) Substrate (b) Substrate (c) TiC interlayer (d) TiC interlayer

图 10 金刚石薄膜压痕 SEM 形貌
Fig. 10 Indentation SEM of diamond films

3 结 论

(1) 使用反应磁控溅射的方法可以在

Ti6Al4V 合金基体上获得较好的 TiC 过渡层。溅射了 TiC 的基体表面粗糙度比原始抛光处理后有所增大。TiC 过渡层的晶粒尺寸和粗糙度随

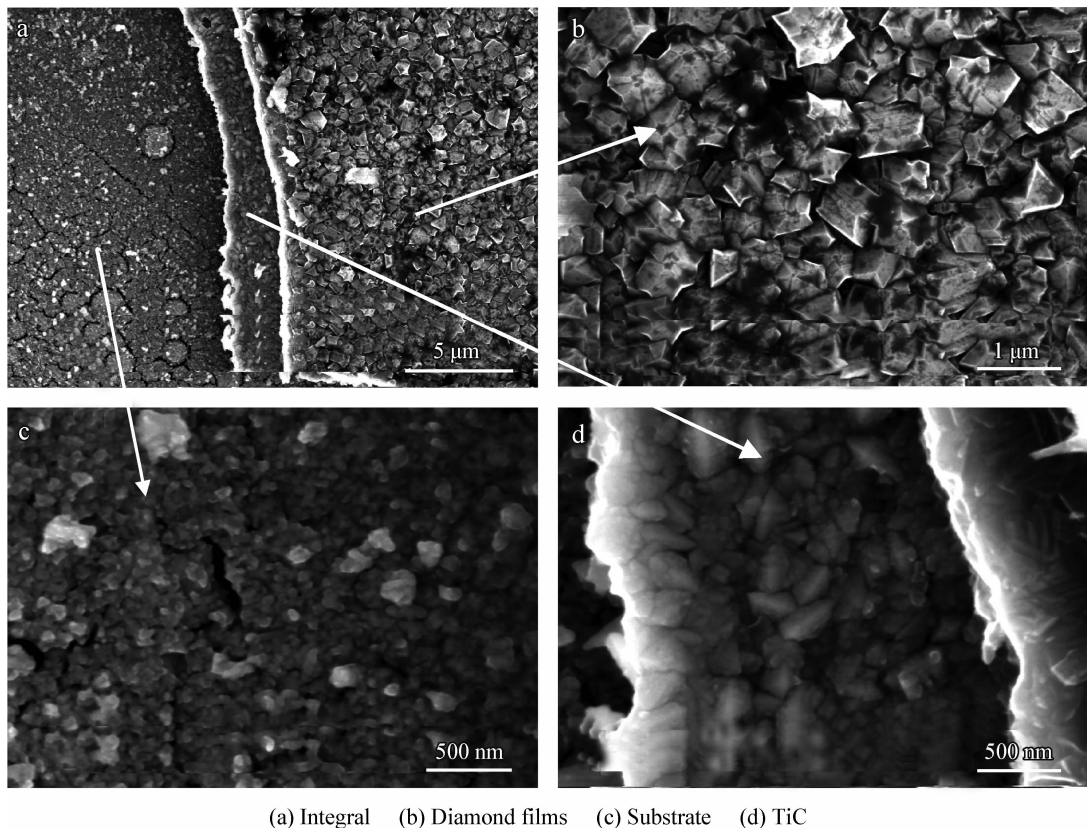


图 11 压痕边缘扫描电镜图
Fig. 11 SEM of indentation edge

着碳源浓度的增大先增大后减小,在碳源浓度 10%时达到最大。

(2)原始基体区和 TiC 过渡层区沉积的金刚石薄膜平均晶粒尺寸分别为 $0.77\ \mu\text{m}$ 和 $0.75\ \mu\text{m}$,薄膜内应力分别为 $-5.85\ \text{GPa}$ 和 $-4.14\ \text{GPa}$,TiC 层的引入不会影响 HFCVD 金刚石的质量,而且可以提高金刚石的形核密度和晶粒尺寸的均匀性,并减少薄膜残余应力。

(3)在 $588\ \text{N}$ ($60\ \text{kg}$) 的压应力作用下,原始基体和 TiC 过渡层金刚石薄膜均被破坏,TiC 过渡层的加入并未从根本上解决膜基结合力的问题。

(4)高温形核-低温生长的梯度降温法有效提高了金刚石的形核密度和质量,并提高了原始基体上沉积金刚石薄膜的附着性能。

参考文献

[1] Barros M I D, Vandenbulcke L, Fontaine J, et al. Tribological performance of diamond-coated Ti6Al4V alloy with respect to diamond characteristics [J]. Surface and Coatings Technology, 2000, 127: 193-202.

[2] Grogler T, Zeiler E, Dannenfeldt M, et al. Growth stage of chemical vapor deposited diamond on the titanium alloy Ti6Al4V [J]. Diamond and Related Materials, 1997(6): 1658-1667.

[3] Heinrich G, Grogler T, Rosiwal S M, et al. The influence of diamond chemical vapour deposition coating parameters on the microstructure and properties of titanium substrates [J]. Diamond and Related Materials, 1996(5): 304-307.

[4] Rats D, Vandenbulcke L, Herbin R, et al. Characterization of diamond films deposited on titanium and its alloys [J]. Thin Solid Films, 1995, 270: 177-183.

[5] Barros M I D, Vandenbulcke L. Plasma-assisted chemical vapor deposition process for depositing smooth diamond coatings on titanium alloys at moderate temperature [J]. Diamond and Related Materials, 2000(9): 1862-1866.

[6] Souza T M D, Leite N F, Trava-Airoldi V J, et al. Studies on CVD-diamond on Ti6Al4V alloy surface using hot filament assisted technique [J]. Thin Solid Films, 1997, 308/309: 254-257.

[7] Fan W D, Jagannadham K, Narayan J. Adhesion of diamond films on Ti-6Al-4V alloys [J]. Surface and Coatings Technology, 1997, 91: 32-36.

[8] Peng X L, Clyne T W. Formation and adhesion of hot filament CVD diamond films on titanium substrates [J]. Thin

Solid Films, 1997, 293: 261-269.

[9] 王玲, 余志明, 魏秋平, 等. 不同过渡层对钢基金刚石薄膜的影响 [J]. 中国表面工程, 2011, 24(1): 33-39.

[10] Askari S J, LU F. Characteristics of a well-adherent nanocrystalline diamond thin film grown on titanium in Ar/CH₄ microwave CVD plasma [J]. Vacuum, 2008, 82(6): 673-677.

[11] Askari S J, Chen G C, Akhtar F, et al. Adherent and low friction nano-crystalline diamond film grown on titanium using microwave CVD plasma [J]. Diamond and Related Materials, 2008, 17(3): 294-299.

[12] Bonetti L F, Capote G, Santos L V, et al. Adhesion studies of diamond-like carbon films deposited on Ti6Al4V substrate with a silicon interlayer [J]. Thin Solid Films, 2006, 515(1): 375-379.

[13] Wang D Y, Chang Y Y, Chang C L, et al. Deposition of diamond-like carbon films containing metal elements on biomedical Ti alloys [J]. Surface and Coatings Technology, 2005, 200(7): 2175-2180.

[14] Azevedo A F, Corata E J, Leitea N L F, et al. Chemical vapor deposition diamond thin films growth on Ti6Al4V using the surfatron system [J]. Diamond and Related Materials, 2002(11): 550-554.

[15] Grogler T, Plewa O, Rosiwal S M, et al. CVD diamond films as protective coatings on titanium alloys [J]. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 1998, 16: 217-222.

[16] Wei Q P, Ashfold M N R, Mankelevich Y A, et al. Diamond growth on WC-Co substrates by hot filament chemical vapor deposition: Effect of filament-substrate separation [J]. Diamond and Related Materials, 2011, 20(5/6): 641-650.

[17] Wei Q P, Yu Z M, Ashfold M N R, et al. Synthesis of micro- or nano-crystalline diamond films on WC-Co substrates with various pretreatments by hot filament chemical vapor deposition [J]. Applied Surface Science, 2010, 256(13): 4357-4364.

[18] Wei Q P, Yu Z M, Ma L, et al. The effects of temperature on nanocrystalline diamond films deposited on WC-13wt. % Co substrate with W-C gradient layer [J]. Applied Surface Science, 2009, 256(5): 1322-1328.

[19] Windischmann H, Gray K J. Stress measurement of CVD diamond films [J]. Diamond and Related Materials, 1995(4): 837-842.

[20] Ager J W, Drory M D. Quantitative measurement of residual biaxial stress by Raman spectroscopy in diamond grown on a Ti alloy by chemical vapor deposition [J]. Physical Review B, 1993, 48: 2601-2607.

[21] 魏秋平, 王钰言, 陈中, 等. W18Cr4V 高速钢渗铬热处理对 HFCVD 金刚石膜生长的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2011, 21(7): 1623-1631.

作者地址: 湖南省长沙市中南大学 410083
校本部材料楼 103
Tel: (0731)8883 0335(魏秋平)
E-mail: qiupwei@mail.csu.edu.cn

• 本刊讯 •

波兰《哥白尼索引》(IC)收录《中国表面工程》

《哥白尼索引》(IC, Index of Copernicus)是由“国际医学”组织(Medical Science International)创办的国际检索系统,以收集生物学、医药学内容为主。近年来逐步扩大收录的学科范围,同时收集数学、物理、化学、地学等科学信息,成为世界性门户。每年,《哥白尼索引》根据期刊“科学质量”、“编辑质量”、“国际影响力”、“按时发行”和“印刷质量”等评价标准对其收录期刊进行多参数的质量评价。日前,本刊编辑部获悉被波兰《哥白尼索引》(Index Copernicus, IC)收录为来源期刊,现评估值 ICV 为 4.38。

据此,本刊已入编《中文核心期刊要目总览》2011 版,收录本刊的检索系统有:中国期刊全文数据库、中国学术期刊综合评价数据库、中国科学引文数据库、《中国学术期刊文摘》、美国《化学文摘》(CA)、美国《剑桥科学文摘(工程技术)》(CSA (Tech.)),《剑桥科学文摘(自然科学)》(CSA (NS))、波兰《哥白尼索引》(IC)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)和美国《乌利希期刊指南》(UPD)。