

抛光垫特性对硬质合金刀片 CMP 加工效果的影响

毛美姣^{1,2}, 吴锋¹, 胡自化¹

(1.湘潭大学, 湖南 湘潭 411105; 2.湖南大学, 长沙 410082)

摘要: **目的** 研究不同种类的抛光垫对硬质合金刀片表面化学机械抛光 (Chemical Mechanical Polishing/Planarization, CMP) 加工过程的影响, 为实现硬质合金刀片高效精密 CMP 加工提供有效参考。**方法** 利用 Nanopoli-100 智能抛光机, 通过自制的 Al_2O_3 抛光液, 分别采用 9 种不同种类的抛光垫对牌号为 YG8 的硬质合金刀片进行 CMP 实验, 将 0~40、40~80、80~120 min 三个加工阶段获得的材料去除率和表面粗糙度进行对比, 同时观察最佳的表面形貌, 分析抛光垫特性对 CMP 加工效果的影响。**结果** 在抛光转速 60 r/min, 抛光压力 177.8 kPa 的实验条件下, 9 种不同类型的抛光垫中仅有 5 种适合用于 YG8 硬质合金 CMP 加工。而且抛光垫的表面粗糙度在 YG8 刀片 CMP 加工过程中的影响最为显著, 抛光垫表面粗糙度越高, CMP 加工的材料去除率越高。此外, 抛光垫的使用时间对 CMP 过程也有影响, 抛光垫使用时间越长, CMP 的材料去除率越小。**结论** YG8 硬质合金刀片经 5 种不同类型抛光垫 CMP 加工后, 其表面的烧伤、裂纹等缺陷均得到了极大改善。当使用细帆布加工 40 min 时, 材料去除率最高, 为 47.105 nm/min; 当使用细帆布加工 80 min 时, 表面粗糙度最低, 为 0.039 μm 。

关键词: 化学机械抛光; 硬质合金刀片; 抛光垫

中图分类号: TG175 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2017)12-0270-07

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2017.12.042

Effects of Polishing Pad Characteristics on CMP (Chemical Mechanical Polishing) Result of Cemented Carbide Tool

MAO Mei-jiao^{1,2}, WU Feng¹, HU Zi-hua¹

(1.Xiangtan University, Xiangtan 411105, China; 2.Hunan University, Changsha 410082, China)

ABSTRACT: The work aims to study effects of various polishing pads on surface CMP (chemical mechanical polishing/planarization) process of cemented carbide cutting tools, so as to provide an effective reference for high precision chemical mechanical polishing of cemented carbide tools. With Nanopoli-100 intelligent polishing machine as experimental equipment and homemade alumina polishing fluid as polishing liquid, nine kinds of polishing pads were used to carry out CMP experiments to YG8 carbide cutting tools. Material removal rate and surface roughness in machining periods of 0~40, 40~80 and 80~120 min were compared, optimal surface morphology of the carbide cutting tools was observed, and the effects of pad characteristics on CMP result were analyzed. Provided with polishing speed of 60 r/min and polishing pressure of 177.8 kPa, only

收稿日期: 2017-06-19; 修订日期: 2017-09-25

Received: 2017-06-19; Revised: 2017-09-25

基金项目: 湖南省自然科学基金项目 (2017JJ4055); 湖南省科技厅科技计划重点研发项目 (2016GK2014)

Fund: Supported by Hunan Provincial Natural Science Foundation of China (2017JJ4055), The Key Research Program of Science and Technology Supported by Hunan Provincial Department (2016GK2014)

作者简介: 毛美姣 (1977—), 女, 副教授, 主要研究方向为高效精密数控加工技术与装备。

Biography: MAO Mei-jiao(1977—), Female, Associate professor, Research focus: high efficiency and high precision of numerical control technology and equipment.

five of the polishing pads were suitable for CMP of YG8 cemented carbide tools. The surface roughness of polishing pads had most significant effects on CMP of cemented carbide tools. The higher the surface roughness of polishing pad was, the greater the removal rate of polishing material was. In addition, service time of polishing pads also affected the CMP process. The longer the service time of polishing pads was, the lower the removal rate of CMP material was. After receiving CMP by five different kinds of polishing pads, surface burns and cracks on cemented carbide tools were greatly improved. The maximum material removal rate was 47.105 nm/min after being polished with fine canvas for 40 minutes while the minimum surface roughness was 0.039 after being polished with fine canvas for 80 minutes.

KEY WORDS: chemical mechanical polishing; cemented carbide tool; polishing pad

目前,国内外常用的刀具材料有硬质合金、高速钢、陶瓷、金刚石和立方氮化硼等。其中,硬质合金以其高抗压强度、良好耐磨性、高硬度、高抗冲击强度等优点成为汽车制造、航空制造、电力设备和医疗器械等先进制造领域的主流刀具材料^[1-2]。硬质合金是典型的硬脆材料,由 WC、TiC、TaC 等难熔金属碳化物和作为粘结剂的铁族金属,采用粉末冶金方法制备而成,具有一定的难加工性^[3-4],其表面粗糙度和完整性是影响切削性能的重要指标之一。在高速切削过程中,刀具切削区剧烈摩擦和高温高压的共同作用,使刀具表面粗糙度大、表面完整性差的部位逐渐被磨损,严重缩短了刀具寿命^[5],抑制了硬质合金刀具优势的发挥。因此,通过提高刀具表面质量,以有效改善刀具摩擦副表面的摩擦学性能,抵抗疲劳裂纹萌生的能力,抑制刀具磨损,提升加工质量,是切削加工亟待解决的问题^[6]。

金刚石砂轮磨削是目前硬质合金刀具最主要的加工方法。但磨削加工会导致刀片表面产生热变形、磨削烧伤和表面/亚表面损伤(如:变形层、表面/亚表面裂纹、残余应力等)等缺陷^[7]。超精密磨削虽在一定程度上能够改善硬质合金刀具加工表面质量,但昂贵的超精密磨床使生产成本大大提高,且砂轮磨粒的均匀性、等高性难以保证,造成表面划痕。研究表明,化学机械抛光一直都是超精密加工最主要的一种方法,是降低表面粗糙度,去除损伤层,获得光滑、无损伤表面的主要终加工手段^[7-9],这给刀具表面质量的改善提供了新的研究思路 and 方向。目前,该技术被广泛应用于多种材料的精密、超精密加工领域,主要包括金属材料(如 Al、Cu、Pt、Au、Ta、Ti、W)以及其合金、绝缘体材料、半导体材料、陶瓷材料等^[10-11]。

抛光垫在 CMP 过程中起着非常重要的作用,人们对抛光垫特性在 CMP 过程中的作用和规律进行了大量研究工作,但针对抛光垫在硬质合金刀片 CMP 加工过程中的影响规律探究甚少。本文提出一种热变形少、表面/亚表面损伤小的高效低成本硬质合金刀片 CMP 精密加工方法,选用在有色金属及合金粗加工中使用广泛且强度高,抗弯性、抗冲击和抗震性好

的 YG8 刀片为研究对象,研究抛光垫特性对 YG8 硬质合金刀片 CMP 加工后材料去除率和表面粗糙度的影响,为硬质合金刀具 CMP 抛光机理的研究提供理论基础,同时也为硬质合金刀具 CMP 抛光工艺参数优化提供理论依据。

1 试验

1.1 原理

化学机械抛光技术的基本原理是:抛光工件在一定压力下相对于抛光垫做旋转运动,借助化学腐蚀和机械磨削作用来共同完成工件表面材料去除,获得光洁表面^[12]。首先,工件表面和抛光垫之间抛光液中的氧化剂、催化剂等与工件表面材料进行化学反应,在工件表面产生一层化学反应膜。然后,抛光液中的磨粒和高分子材料制成的抛光垫,通过机械作用将这一层化学反应膜去除,露出工件表面。露出的工件表面又会发生化学反应,在这样的化学作用和机械作用交替进行中完成对工件表面的抛光^[10,13]。

图 1 为实验原理和设备示意图。该设备由杭州智邦纳米技术公司生产,由抛光盘、抛光垫、抛光液供给装置、夹具组成。刀片由夹具固定并随其旋转,刀片被一定载荷压在旋转的抛光垫上。在对刀片进行化学机械抛光时,抛光液在刀片与抛光垫之间流动,产生化学反应。同时,刀片表面生成的化学反应物由抛光垫和磨粒的机械作用去除,在化学成膜与机械去膜的交替过程中使表面变平。

1.2 抛光垫特性

一般来说,抛光垫主要用来承载抛光液,使抛光温度始终稳定在 25~35℃。抛光垫旋转方向与运载工具正好相反,通过旋转的方式传递抛光用的正交力和剪切力^[14]。其表面的微凸起直接与工件接触产生摩擦,以机械方式去除抛光层;其表面的抛光液在离心力作用下被均匀地抛洒到抛光垫表面,以化学方式去除抛光层,并将反应物带出抛光垫^[15-16]。通常,抛光垫按是否含有磨料可分为有磨料抛光垫和无磨料抛

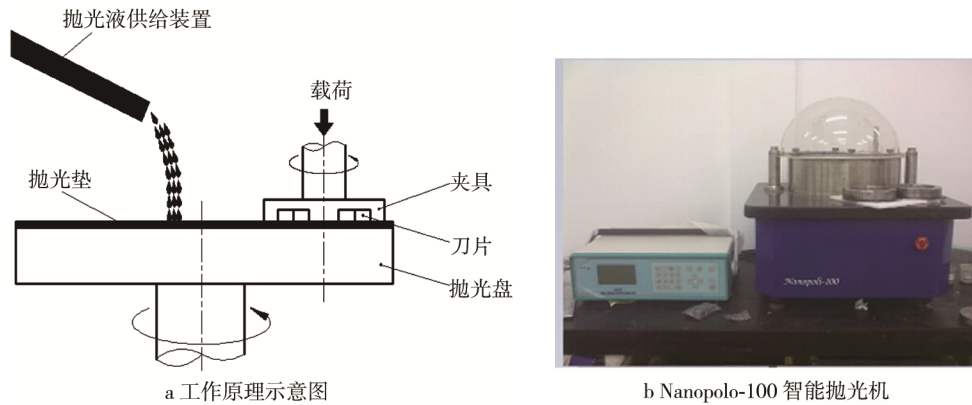


图 1 实验原理和设备图

Fig.1 Schematic diagram of experiment principle and equipment: a) working principle diagram, b) intelligent polishing machine

光垫；按材质可分为聚氨酯抛光垫、无纺布抛光垫和复合型抛光垫；按表面结构可分为平面型抛光垫、网格型抛光垫和螺旋线型抛光垫^[17-18]。此外，抛光垫也可以分为硬质抛光垫和软质抛光垫两种。一般，硬质的抛光垫可较好地保证工件表面的平整度和较高的材料去除率，软质的抛光垫可获得加工变质层和表面粗糙度都很小的抛光表面^[19]。其中，硬质抛光垫包含有各种粗布垫、纤维织物垫、聚乙烯垫等，软质包含有各种绒毛垫、聚氨酯垫和细毛毡垫等。

本文广泛地选取 9 种不同种类和特性的抛光垫，分别为细帆布、呢料化纤布、超纤化合布 3 种硬质类抛光垫和中密人造植绒、高密人造金丝绒、精密尼龙、

阻尼布、聚氨酯化合物、聚氨酯抛光皮 6 种软质类抛光垫。其中，高密人造金丝绒、精密尼龙、呢料化纤布、阻尼布这 4 种抛光垫经反复实验后，发现在 CMP 过程中其表面组织物极易被刀片破坏，并出现不同程度撕裂、褶皱和破洞（如图 2 所示），从而导致夹具和刀片在抛光机上出现严重的蹿动，部分刀片由于受到抛光垫较大的阻力而从夹具上脱落。考虑到实验的可靠性和经济性，优选了细帆布、超纤化合布、中密人造植绒、聚氨酯化合物、聚氨酯抛光皮 5 种适合硬质合金刀片抛光的抛光垫，其分类和物理特性见表 1，表面外观见表 2。



图 2 抛光垫破损示意图

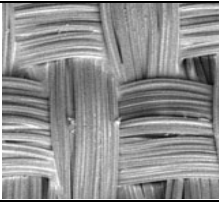
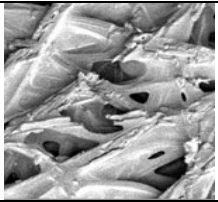
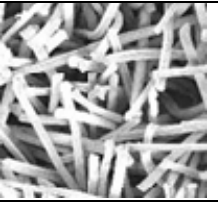
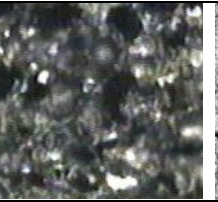
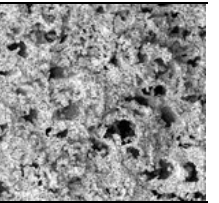
Fig.2 Schematic diagram of damaged polishing pad: a) high-density artificial pleuche, b) precision nylon, c) polishing cloth

表 1 五种抛光垫的分类及物理特性

Tab.1 Classification and physical characteristics of five kinds of polishing pads

抛光垫	厚度/mm	$Ra/\mu m$	硬度 (Shore-A)	密度 $/(g \cdot cm^{-3})$
细帆布	1.20 ~ 1.30	22.3	82	0.40±0.05
超纤化合布	2.50 ~ 2.60	13.2	80	0.40±0.02
中密人造植绒	1.25 ~ 1.35	15.5	64±5	0.42±0.06
聚氨酯化合物	1.55 ~ 1.65	19.3	50±2	0.47±0.02
聚氨酯抛光皮	2.00 ~ 2.10	19.8	78±2	0.47±0.02

表 2 五种抛光垫的表面外观
Tab.1 Surface morphologies of five kinds of polishing pads

抛光垫	细帆布	超纤化合布	中密人造植绒	聚氨酯化合物	聚氨酯抛光皮
外观 (50×)					

1.3 抛光液制备及 CMP 工艺参数

抛光液的主要成分有磨料粒子、腐蚀介质和助剂。实验以 1000 mL 去离子水为基液，取 0.5 g 的分散剂聚羧酸钠溶解于去离子水中，在机械搅拌下加入 176.471 g 粒度号为 W5 的 Al₂O₃ 磨粒。搅拌均匀后，

在 100 kHz 下超声分散 0.5 h，然后加入质量分数为 30% 的双氧水作为氧化剂（双氧水呈弱酸性），再加入适量的络合剂(AH₄OH)和腐蚀抑制剂(苯丙三唑)，两者质量分数均为 0.2%，搅拌均匀，得到磨粒质量分数为 15% 的硬质合金刀片抛光液。

实验采用的 CMP 工艺参数如表 3 所示。

表 3 CMP 工艺参数
Tab.3 Process parameters in the CMP

抛光盘转速 $v/(r \cdot min^{-1})$	抛光压力 P_w/kPa	抛光液流量 $Q_v/(mL \cdot min^{-1})$	抛光时间 t/min	温度 $\theta/^{\circ}C$
60	177.8	25	40	25±0.5

实验采用精度为 0.1 mg 的天平，通过称重后计算出硬质合金刀片的材料去除率，计算方法为式（1）。

$$MRR = \frac{\Delta m}{\rho S \Delta t} \times 10^7 \tag{1}$$

其中，MRR 为硬质合金刀片的材料去除率，单位 nm/min； Δm 为化学机械抛光前后硬质合金刀片的质量差，单位 g； ρ 为硬质合金刀片的密度； S 为硬质合金刀片与抛光垫的接触面积(YG8 刀片的表面面积为 144.43 mm²)； Δt 为化学机械抛光前后时间的差

值，取 40 min。

实验选择牌号为 YG8 的硬质合金刀片（株洲钻石切削刀具股份有限公司）进行抛光，该材料的力学性能如表 4 所示。实验过程中采用超声波清洗工艺对抛光后的刀片进行清洗处理。采用精度为 0.1 mg 的电子秤和 JB-IC 表面粗糙度测试仪（上海泰明光学仪器有限公司）测量质量和表面粗糙度，通过 VHX-200C 超景深三维显微镜系统（日本基恩士）观察刀片的表面形貌。

表 4 YG8 硬质合金刀片的力学性能
Tab.4 Mechanical properties of YG8 cemented carbide tool

材料	成分	硬度（HRA）	弹性模量/GPa	密度/(g·cm ⁻³)	表面粗糙度/ μm
YG8	WC+8%Co	89.0	600	14.5 ~ 14.9	0.576

2 结果及分析

2.1 对材料去除率的影响

抛光垫表面粗糙度及抛光时间与 YG8 硬质合金刀片 CMP 加工材料去除率的关系如图 3 所示。由图可知，在 0 ~ 40、40 ~ 80、80 ~ 120 min 三个阶段中，5 种抛光垫均是在 0 ~ 40 min 阶段的抛光效率最高，并且 5 种抛光垫的抛光效率均随着抛光时间的增大而减小。其中，超纤化合布的抛光性能最稳定，材料去除率的下降趋势最小，而细帆布的抛光稳定性最差，和 0 ~ 40 min 阶段相比，80 ~ 120 min 阶段的材料去除率性能下降了 50%。此外，通过比较抛光垫的表面粗糙度和同一阶段各材料的去除率，发现材料去

除率和抛光垫的表面粗糙度成正比，即随着抛光垫表面粗糙度的增加，抛光垫的抛光效率越高，材料去除率越大。抛光垫表面粗糙度值最高的细帆布，在 0 ~

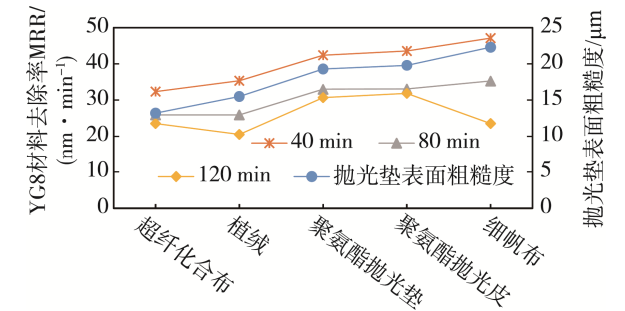


图 3 材料去除率与抛光垫表面粗糙度及抛光时间的关系
Fig.3 Relationship between material removal rate and surface roughness, polishing time of polishing pad

40 min 阶段的材料去除率是 5 种抛光垫中最高的, 达到 47.105 nm/min。因此, 在硬质合金刀片的化学机械抛光加工过程中, 综合抛光时间和抛光垫表面粗糙度与材料去除率的关系, 得出细帆布在 40 min 时能获得最高的材料去除率。

2.2 对表面粗糙度的影响

抛光垫表面粗糙度及抛光时间与 YG8 硬质合金刀片表面粗糙度的关系如图 4 所示。由图可知, 随着抛光时间的增加, 硬质合金刀片的表面粗糙度值整体呈降低趋势, 但也有反弹, 细帆布和植绒抛光垫在 120 min 时的表面粗糙度就要比 80 min 时的高。主要是由于这两类抛光垫的使用寿命相对较短, 在长时间的使用中, 丧失了承载抛光液和运输废料的基本功能, 导致磨粒在刀片表面留下了损伤的划痕。对比抛光垫的表面粗糙度和 5 类抛光垫在抛光过程中能够获得的最佳表面粗糙度值, 同样可以发现抛光垫的表

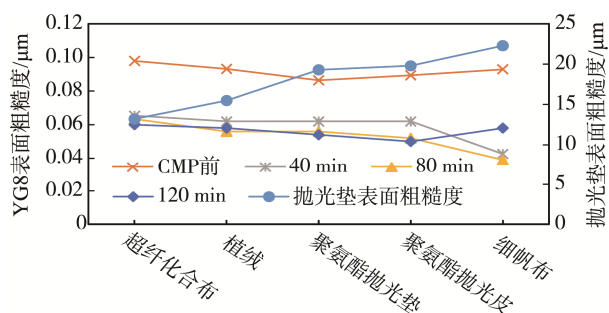


图 4 材料表面粗糙度与抛光垫表面粗糙度及抛光时间的关系
Fig.1 Relationship between surface roughness and surface roughness, polishing time of polishing pad

面粗糙度值越高, 刀片表面的表面粗糙度值越低, 获得的表面质量越好。其中, 细帆布抛光垫在抛光 80 min 时获得的表面质量最佳, 表面粗糙度为 0.039 μm。因此, 在硬质合金刀片的化学机械抛光加工过程中, 抛光垫的使用寿命和加工获得的表面粗糙度紧密相关, 不同的抛光垫应合理选择不同的抛光时间。

2.3 对表面形貌的影响

YG8 硬质合金刀片经不同种类的抛光垫 CMP 加工后的表面形貌如图 5、6 所示。由图 5 可见, YG8



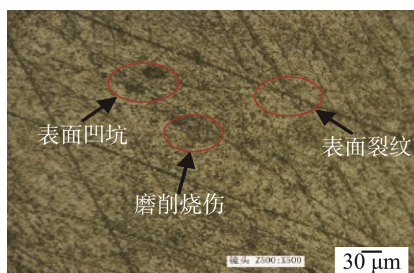
a CMP 加工前



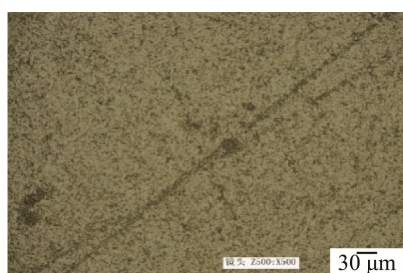
b CMP 加工后

图 5 抛光前后的刀片

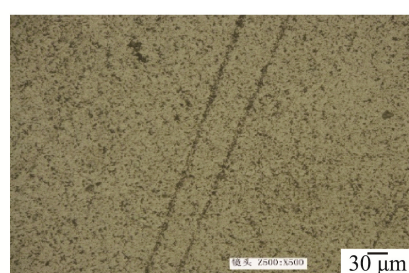
Fig.5 Cemented carbide tool before (a) and after (b) polishing



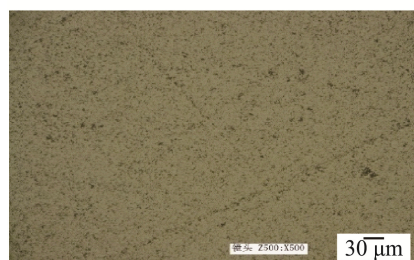
a CMP加工前



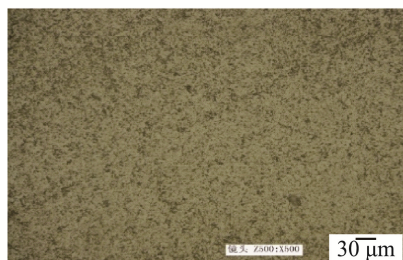
b 植绒CMP加工



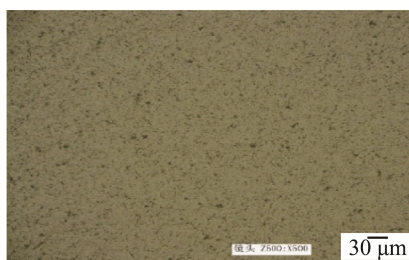
c 超纤维复合布CMP加工



d 聚氨酯抛光垫CMP加工



e 聚氨酯抛光皮CMP加工



f 细帆布CMP加工

图 6 不同抛光垫 CMP 加工后 YG8 的表面形貌

Fig.2 Surface morphologies of YG8 cemented carbide tool after CMP of different polishing pads: a) before CMP, b) CMP of flocking, c) CMP of microfiber compound cloth, d) CMP of polyurethane polishing pad, e) CMP of polyurethane polishing leather, f) CMP of fine canvas

在经过 CMP 加工后, 原来比较粗糙的制件表面变得十分光滑而平整, 刀片表面的光洁度和折射率都明显提高, 镜面效果明显。如图 6 所示, 在 CMP 加工前, 硬质合金刀片表面存在由磨削加工产生的热变形、磨削烧伤和表面裂纹等缺陷, 经 5 种材质的抛光垫 CMP 加工后, 刀片缺陷得到极大改善, 表面上的烧伤基本上完全被去除, 表面光泽度有很大提高。其中, 植绒抛光垫的加工效果最差, 表面仍存在较多凹坑和裂纹, 而细帆布抛光垫获得的表面形貌最好, 加工后的表面完整光洁。因此, 在硬质合金刀片的化学机械抛光加工过程中, 实现表面完全平坦化程度最高的是细帆布抛光垫。

3 结论

1) 用细帆布抛光垫对 YG8 硬质合金刀片表面进行化学机械抛光加工处理, 抛光压力为 177.8 kPa、转速为 60 r/min、磨粒为 W5 的 Al_2O_3 磨粒、氧化剂为双氧水、加工时间为 80 min 时, YG8 的表面粗糙度达 $0.039 \mu\text{m}$, 平均材料去除率达 47.105 nm/min 。

2) 在使用不同的抛光垫对 YG8 硬质合金刀片表面进行化学机械抛光过程中, 抛光垫的表面粗糙度对材料去除率和刀片表面粗糙度的影响最为显著, 抛光垫的表面粗糙度越高, CMP 过程中的材料去除率越大, CMP 加工后得到的表面质量整体呈变好趋势。

3) 随着 CMP 进行时间的增加, 抛光垫的使用性能越差, 材料去除率越低。过度地使用抛光垫将导致磨粒对工件表面产生压痕, 进一步破坏表面的完整性。因此, 在 CMP 过程中应合理控制抛光垫的使用时间。

参考文献:

- [1] 陈曜. 金属切削原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
CHEN Yao. The Theory of Metal Cut[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2012.
- [2] 张卫兵, 刘向中, 陈振华, 等. WC-Co 硬质合金最新进展[J]. 稀有金属, 2015(2): 178-186.
ZHANG W B, LIU X Z, CHEN Z H, et al. Latest Development of WC-Co Cemented Carbide[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2015(2): 178-186.
- [3] LING Y, SPOWAGE A C, RAMESH K, et al. Influence of Microstructure on Ultra-precision Grinding of Cemented Carbides[J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2004(44): 533-543.
- [4] SU W, SUN Y S, YANG H L, et al. Effects of TaC on Microstructure and Mechanical Properties of Coarse Grained WC-9Co Cemented Carbides[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2015, 25(4): 1194-1199.
- [5] 何柏林, 邓海鹏. 表面完整性研究现状及发展趋势[J]. 表面技术, 2015(9): 140-146.
HE B L, DENG H P. Research Status and Development Trend of Surface Integrity[J]. Surface Technology, 2015(9): 140-146.
- [6] 苏永生. 表面织构刀具切削钛合金的基础研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2015.
SU Yong-sheng. Research on Machining of Titanium Alloy Using Cutting Tool with Surface Texture[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2015.
- [7] 袁巨龙, 王志伟, 文东辉, 等. 超精密加工现状综述[J]. 机械工程学报, 2007, 43(1): 35-48.
YUAN J L, WANG Z W, WEN D H, et al. Review of the Current Situation of Ultra-precision Machining[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(1): 35-48.
- [8] ABELEV E, SMITH A J, HASSEL A W, et al. Potassium Sorbate Solutions as Copper Chemical Mechanical Planarization (CMP) Based Slurries[J]. Electrochim Acta, 2007, 52(16): 5150-5158.
- [9] 李敏, 袁巨龙, 吴喆, 等. 复杂曲面零件超精密加工方法的研究进展[J]. 机械工程学报, 2015(5): 178-191.
LI M, YUAN J L, WU Zhe, et al. Progress in Ultra-precision Machining Methods of Complex Curved Parts[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015(5): 178-191.
- [10] 武昌壕, 郭冰, 姚光, 等. 硬脆材料的化学机械抛光机理研究[J]. 机械设计与制造, 2014(2): 37-39.
WU C H, GUO B, YAO G, et al. The Chemical Mechanical Polishing Technique Research of the Hard and Brittle Materials[J]. Machinery Design & Manufacture, 2014(2): 37-39.
- [11] 储向峰, 汤丽娟, 董永平, 等. 化学机械抛光在光学晶体加工中的应用[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2012(1): 23-28.
CHU X F, TANG L J, DONG Y P, et al. Application of Chemical Mechanical Polishing in the Processing of Optical Crystals[J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2012(1): 23-28.
- [12] 雷红, 雒建斌, 张朝辉, 等. 化学机械抛光技术的研究进展[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2003, 9(6): 494-502.
LEI Hong, LUO Jian-bin, ZHANG Chao-hui. Advances in Chemical Mechanical Polishing[J]. Journal of Shanghai University (Natural Science), 2003, 9(6): 494-502.

- 494-502.
- [13] 董伟. 化学机械抛光技术研究现状及进展[J]. 制造技术与机床, 2012(7): 93-97.
DONG W. The Current Research Situation and Development of Chemical Mechanical Polishing[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2012(7): 93-97.
- [14] CASTILLO-MEJIA D, KELCHNER J, BEAUDOIN S. Polishing Pad Surface Morphology and Chemical Mechanical Planarization[J]. Journal of the Electrochemical Society, 2004, 151(151): 271-278.
- [15] 王同庆, 韩桂全, 赵德文, 等. 抛光垫特性及其对 300 mm 晶圆铜化学机械抛光效果的影响研究[J]. 摩擦学学报, 2013, 33(4): 394-399.
WANG T Q, HAN G Q, ZHAO D W, et al. Comparison of Polishing Pad Characteristics in Copper Interconnect Chemical Mechanical Polishing of 300 mm Wafer[J]. Tribology, 2013, 33(4): 394-399.
- [16] 吕玉山, 张辽远, 王军, 等. 抛光垫提高化学机械抛光接触压强分布均匀性研究[J]. 兵工学报, 2012, 33(5): 617-622.
LYU Yu-shan, ZHANG Liao-yuan, WANG Jun, et al. Contact Pressure Distribution during Chemical Mechanical Polishing with Bionic Cutting Polishing Pad[J]. Acta Armamentarii, 2012, 33(5): 617-622.
- [17] 钟静, 魏昕, 谢小柱, 等. CMP 过程中抛光垫表面沟槽对液膜厚度影响研究[J]. 制造技术与机床, 2015(5): 92-96.
ZHONG Jing, WEI Xin, XIE Xiao-zhu, et al. Study on Polishing Pad Surface Groove on the Thickness of Slurry Film during CMP[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2015(5): 92-96.
- [18] 方照蕊, 魏昕, 杨向东, 等. 新型抛光垫沟槽及其在化学机械抛光中的作用研究进展[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2012, 32(2): 77-81.
FANG Z R, WEI X, YANG X D, et al. Research Progresses on the New Groove Shapes of Polishing Pad and Their Effects on CMP Processes[J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2012, 32(2): 77-81.
- [19] SHAH V K. Development of a New Generation Polyurethane Polishing Pad Used in Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials[D]. Boston: University of Massachusetts Lowell, 2002.