

58-63

立方氮化硼的应用与机械加工的技术进步

王光祖

(机械工业部磨削磨具磨料研究所·郑州·450007)

TG 711, TG 74



作者学术简历 男, 1933 年生。教授, 享受政府特殊津贴。知名超硬材料专家, 我国第一颗人造金刚石创始人之一。该成果在全国推广, 形成一高新技术产业, 1978 年获全国科学大会奖。从事超硬材料研究 30 多年中, 共完成部级重大课题 8 项, 其中机械工业 2000 年振兴目标研究, 获 1988 年国科技进步二等奖, 1989 年机械电子部科技进步一等奖。编有《立方氮化硼合成与应用》、《超硬材料》等专著。

摘要 立方氮化硼因其具有“三高”特性, 而成为一种理想的硬磨料得以发展。着重介绍了立方氮化硼磨具和刀具及其推广应用, 并阐述其技术的发展对机械加工技术的进步具有重要的意义。

关键词 立方氮化硼, 磨具, 刀具, 推广应用

机械加工

立方氮化硼(CBN)具有高的硬度、热稳定性和化学惰性, 是一种磨削铁基和镍基材料的理想超硬磨料而受到各工业发达国家的青睐, 都把它作为提高经济效益、高效、精密、节能、自动化等目的的重要材料加以发展, 并将其发展水平视为衡量一个国家机械加工技术进步的重要标志。

1 高速发展的立方氮化硼

立方氮化硼经过 30 多年的不断实验研究与实际应用, 取得了很大进展, 具体表现在以下几方面。

(1) 合成方法由静(动)超高压高温法发展到低压气相沉积法。

静态超高压高温触媒法是目前生产 CBN 的主要方法, 用这种方法所生产的 CBN 主要用作工程材料。

低压气相沉积法是 CBN 合成技术的重要分支, 具有潜在的发展前景, 是获取 CBN 功能材料的重要途径。

动态超高压高温法是获取纳米级 CBN 的重要手段。

(2) 由工程材料向功能材料发展。

(3) 产品由单一产品发展为系列产品。

(4) 由细粒度→粗粒度→纳米级。

(5) CBN 表面金属化产品的系列化。

(6) 产量以高于金刚石的增长速度在增加。

从表 1 可见, 尽管 CBN 的消耗量远小于其它材料, 但其增长速度却远远超过整个硬质、超硬材料市场的增长速度。CBN 销售额以年均 40% 的速度增长, 到 1989 年已突破 1600 万美元。

CBN 在 90 年代里的年均价值增长速度和年均数量增长速度将分别达到 15% 和 14%, 到 2000 年其消耗量将达到 8000 万美元。

(7) 产品价格下降。

(8) 应用领域不断拓宽。

从工具行业推广到其它金属加工行业;

表1 美国硬质和超硬材料市场消耗情况表

材料	消耗量(百万美元)					年增长速度(%)	
	1982年	1987年	1989年	1995年	2000年	1982~1989年	1989~2000年
工具钢	773.2	821.0	1238.2	1710.0	2140.0	7.0	5.1
陶瓷	185.8	273.0	242.4	320.0	400.5	3.0	4.7
硬质合金	129.2	91.4	90.0	121.2	154.3	(4.9)	1.0
工业金刚石	135.6	144.7	154.7	275.0	360.0	1.9	8.0
立方氮化硼	1.5	7.3	16.3	40.0	77.0	40.8	15.2
合计	1225.3	1337.4	1741.6	2419.2	3131.8	3.2	5.5

从难磨材料的加工普及到常用材料;从一般磨削(如工具磨削、内圆磨削)发展到缓进给磨削和高精度磨削。

CBN 磨具的应用开发过程大致分为 3 个时期:①应用于难磨加工领域时期;②对其经济性具有高度评价时期;③向更高精度努力时期。

2 CBN 工具的开发与应用是促使机械加工技术进步的重要因素

随着 CBN 合成技术水平不断提高,产品系列化和 CBN 工具制造技术的不断完善, CBN 在工业中的应用范围也在不断拓宽。

由于现今 CBN 在工业中的主要用途是磨具和刀具。因此,这里就着重对 CBN 磨(刀)具及其推广应用问题做一简述。

2.1 CBN 磨具

与普通磨料磨具比较,CBN 磨具具有一系列优点。

(1)如前所述,具有“三高”特性,能解决硬韧难磨加工材料的加工问题。

(2)磨具磨削锋利,耐磨性能好,单位磨损小,生产效率高,表面粗糙度一般由 Ra0.8 μ m 降到 Ra0.2 μ m。

(3)加工表面质量得到提高,并可获得残余压应力,使工件的耐用度提高 30%~50%。

(4)由于其导热性比刚玉大得多,磨削时磨削热能迅速逸散,因而可减少工件扭变形,使工件的尺寸精度得以保证。

(5)提高了机械化和自动化程度,减少劳动力。

(6)减少加工件废品率和返工率。

(7)节能和改善环境。

(8)CBN 磨具虽然初始成本高,但从其经济分析表明,使用 CBN 磨具增加的成本在提高生产率和工件质量上将得到补偿,见表 2。

表2 每磨削一个部件成本 (美元/工件)

各项成本	刚玉磨削	CBN 磨削	备 注
磨具费用	0.0022	0.0067	CBN 磨具成本较高
更换磨具费用	0.018	0.00043	一个 CBN 磨具使用时间相当于 155 个刚玉磨具
劳动力费用	0.155	0.122	磨削一个工件,刚玉 14s, CBN 11s, 假定劳动成本 40 美元/h
总成本	0.175	0.129	CBN 磨削节约成本 0.046 美元

从表 2 可知,CBN 磨削比刚玉磨削可节省总成本 20%,提高生产率 40%。

自从 1969 年 CBN 磨具投入工业使用以来得到了很大发展,1985 年 CBN 磨具中树

脂结合剂 CBN 磨具占 60%, 金属结合剂 CBN 磨具占 15%, 电镀结合剂 CBN 磨具占 15%, 陶瓷结合剂 CBN 磨具占 10%。

表 3 美国 G.E 公司在世界市场范围内
CBN 磨料应用中结合剂构成比统计 (%)

结合剂	1980 年	1990 年	发展趋势(%)
树脂	75	43	继续下降
金属	10	8	保持稳定
陶瓷	4	32	迅速上升
电镀	10	17	保持稳定

在上述 4 种结合剂中以陶瓷结合剂 CBN 磨具增长较快, 因为陶瓷结合剂 CBN 磨具具有更多优点。

(1) 具有充足的气孔, 磨削时显示出切削锋利, 磨削力小。

(2) 弹性模量, 热膨胀小, 磨具变形小, 可得到高精度的加工表面。

(3) 经焙烧后, 磨粒与结合剂之间产生化学结合, 磨粒把持力强。

(4) 修整和修锐简便。

(5) 能获得较高的表面光洁度。

由于陶瓷结合剂 CBN 磨具具有上述特点, 因此, 是一种具有发展前景的产品。

例如:

(1) 在金属切除量相差不大条件下, 在内

圆磨床上加工 205 轴承内径, 普通磨具的磨削比(不含修整)为 16, 而 CBN 磨具用相同工艺加工同一批工件时, 其磨削比高达 3231, 两者相差 200 倍。用普通磨具加工内径, 尺寸分散大 ($14\mu\text{m}$), 曲线波动大, 工艺不稳定, 一次合格率仅 67.0%, 而用 CBN 磨具加工内径, 尺寸较集中, 工艺稳定, 产品合格率达 97.8%。用 CBN 磨具磨削轴承内径直线度很好, 平均内径锥度小于 $1\mu\text{m}$ 者占 64.3%, 用普通磨具磨削, 内径大部分出现内凸(平均值 $+1.25\mu\text{m}$), 而用 CBN 磨具磨削, 内径基本平直(内微凹平均值 $-0.4\mu\text{m}$), 克服了用普通磨具磨内径时内凸度大的弊病。

(2) 上海磨床厂端面磨削导轨磨床, 原来使用普通磨料环形磨具精磨 5m 以上的大型磨床铸铁床身导轨。由于磨具切削性能差, 虽由经验丰富的师傅精心操作, 导轨在水平面内任意 250mm 长度上的直线度误差还只能达到“GB4658—84 外圆磨床精度标准”合格的边缘。在床身重新安装或环境变化时, 容易超差而返修。导轨表面粗糙度也不能稳定达到要求。因此, 磨具成了贯彻磨床导轨精度国家标准的关键。

磨削 7 台 5m 长床身导轨及 2 台 7m 长床身导轨, 在水平面内局部直线误差如表 4 所示。允差为 $0.006/250\text{mm}$ 。

表 4 不同磨具磨导轨比较

(mm)

磨具	导轨在水平面内任意 250mm 上的直线度误差							平均直线度
CBN 磨具	0.0017	0.0024	0.0025	0.0028	0.0029	0.003	0.0058	0.003
GB 磨具	0.0035	0.0036	0.0036	0.0043	0.0043	0.0048	0.005	0.0042
CBN 磨具	0.002	0.0042						0.0034
GB 磨具	0.0036	0.0038	0.0049	0.0051				0.0044

可见, 陶瓷 CBN 磨具磨削的导轨, 水平面内任意 250mm 上的直线度误差比白刚玉磨具所磨导轨平均可减小 $0.0012 \sim 0.0013\text{mm}$, 解决了普通磨料磨具磨削 5m 以上

长导轨多年来存在的精度问题, 也为大型床身导轨贯彻国家标准解决了极为关键的问题。所磨导轨表面粗糙度合格率为 90.3%, 远远高于白刚玉磨具 66.7% 的合格率。

据了解,日本汽车行业的曲轴和曲轴销已全部采用CBN磨具加工,原苏联、西德的使用经验,CBN磨具主要应用于工具轴承和汽车行业。

由于CBN磨具磨削具高效、精密等一系列优越性,如果把它应用于汽车制造行业,不仅可以提高关键零件(如底盘零件中的转向节、十字轴、发动机中的气阀大头与杆部间的过渡圆弧成型磨削、气缸耐热合金排气阀座锥面)的加工与研磨的生产效率与产品精度,保证零件质量稳定可靠,而且把CBN从工具制造行业的应用领域拓展到支柱产业,开辟一条广阔的应用市场。这无疑将会有力地推动整个机械制造技术的进步。

如果CBN产品不应用于磨削领域,尤其是汽车制造行业,CBN产品就不会有广阔的市场。国外近几年CBN生产发展速度之所以快,也就是因为把CBN应用到了航空、汽车、轴承制造等行业。

为充分发挥CBN磨具的独特性能,还必须满足两个方面的条件。

2.1.1 提高CBN磨具的线速度

众所周知,在研究高效磨削加工问题时,首先要考虑的是高速磨削问题,但普通磨具受其磨粒耐磨性差和磨具强度不高的限制,故只能达到有限的高速化,而采用CBN磨具和磁力轴承则能突破此限制,实现理想的高速化。

例如:日本大坂金刚石公司已开发出磨具线速度140m/s的陶瓷结合剂CBN磨具,与其它公司的磨床配套进行了磨削实验。

日本陶器公司正在大力从事线速度200m/s的陶瓷结合剂CBN磨具的磨削实验,特别是考虑磨具安全,从高速和安全两方面来进行研究。

德国阿亨工业大学研究500m/s超高速磨削,能承受这样高的超高速磨削,当然是电镀CBN磨具。

2.1.2 应在高速度、高刚性、高功率、精细进给及充分冷却等条件下使用

2.2 刀具

在金属切削技术中,刀具技术的革新具有十分重要的意义,为了不断提高生产率,降低产品成本,增加产品竞争力,各工业发展国家都在大力进行刀具新技术的研究开发工作。国际上著名切削与机床方面的权威人士认为,“改进刀具材料对于降低切削成本比其它任何单一过程的改变更具有潜力,合理地选择与应用现代切削刀具是降低生产成本,获得主要经济效益的关键”。在这种认识的推动下,国外新的刀具材料和刀具制造新工艺不断涌现。

当前刀具制造技术的主要发展方向是:

(1)提高寿命;(2)提高切削效率;(3)降低加工成本;(4)保证高精度(小于 $1\mu\text{m}$)和粗糙度(小于 $0.2\mu\text{m}$)满足难切削材料加工要求等。1972年美国G.E公司率先推出的“Compact”刀具材料正好满足这种需求。

CBN刀具具有:(1)高的耐磨性;(2)良好的抗冲击性——硬质合金衬底,增强了抗冲击性,适应断续切削;(3)极低的表面粗糙度 $Ra0.4\sim Ra0.2\mu\text{m}$;(4)极高的热稳定性—— 1400°C 仍保持其硬度。

CBN刀具由于其具有切除率高、切削精度高、加工工件表面质量好等优点,现已在刀具工业中占据重要地位。过去需采用磨削加工的淬火钢部件,现在则越来越多地使用CBN刀具切削或车削加工。这种切削替代磨削的趋势给生产者带来了许多好处,人们也开始探索CBN刀具新的切削应用领域。最典型的例子是切削大齿轮齿;另一个新应用是高速加工铸铁。聚晶立方氮化硼(PCBN)刀具替代陶瓷刀具进行精加工,是由于PCBN的良好韧性和耐磨性,即刀具的寿命大大提高。

目前,在加工汽车部件时,切削广泛替代了磨削,汽车变速箱的齿轮和转动轴,由于其

要求的精度高和批量生产的需要,特别适于切削精加工。在普通 CN 车床上车削这些零件即可达到所要求的精度,而且加工时间较短。

以前加工灰口铸铁常用陶瓷刀具。但是,工厂自动化程度越来越高,则要有更高的金属切率和加工速度,一般刚玉、陶瓷刀具无法满足这样的要求。PCBN 刀具由于具有高强度和高硬度的特性,在高速加工铸铁方面得到了越来越多的应用。

粉末金属(PM)零件经压制成形,烧结后,有时还需经切削加工才能满足要求。试验证明,由于铁基 PM 件的可加工性差,用硬质合金和金属陶瓷刀片加工这类零件,不仅刀具寿命短,而且限制了 PM 的应用。使用 PCBN 刀具就能有效地加工 PM 件,刀具寿命亦较硬质合金涂层刀具长 15 倍。

对于堆焊过的零件,一般都要求精整加工,以使其达到所规定的尺寸精度。在实际生产中,所应用的堆焊钴基硬质合金层,具有很高的热稳定性、韧性和耐磨性。因此,在精整加工时对刀片材料提出了很高要求。在加工最外面的堆焊层时,由于堆焊表面是不规则波浪形,因此,切深是变化的,并且是断续切削,在这样的切削条件下,采用硬质合金和陶瓷刀片会过早磨损。因此,要求采用 CBN 刀具进行加工。

所以,可以认为,PCBN 的出现意味着刀具材料的革命性变化。实践上已证明,它确实解决了一系列难加工材料的加工问题,并取得明显的技术经济效益。因而,在许多工业发达国家中已广泛用于数控机床、多用途机床、自动线、专用高速机床、柔性生产或柔性生产系统为基础的自动化生产,只有这样才能充分发挥这些先进设备的效能,推动机械加工的技术进步。

3 推广应用 CBN 是提高机械加工水平的最优选择

如何加快我国 CBN 发展速度,扩大 CBN 的应用范围,促进机械加工技术进步,赶上国际 CBN 发展步伐,提出以下几点想法。

(1)大力宣传 CBN 工具在机械加工中的优越性,增强广大干部和技术工作者自觉应用 CBN 工具的意识,无数事实证明,只有提高广大干部、工人、技术人员的认识,特别是领导干部的认识,是实现磨(刀)具技术进步的必要条件。

(2)国家要重视基础工业的发展,加速工具行业产品结构的调整,没有先进的工具工业,不可能实现整个机械行业磨(刀)具的技术进步,不可能有高的加工效率和加工质量。因此,加快 CBN 磨(刀)具的发展步伐,是振兴机械加工事业的重大举措。

(3)切实解决好对原料 CBN、制品和应用三者之间在发展过程中既相互促进、又相互制约关系。从我国现阶段 CBN 材料品种发展水平来看,应该说基本上能满足发展制品的需求,CBN 制品开发虽已取得初步成效,但应清醒地看到,我国 CBN 工具研究水平与国外比较所存在的差距更大,是严重制约我国 CBN 材料进一步发展的重要原因之一。

(4)加大 CBN 工具的开发力度,提高 CBN 工具质量,增加 CBN 工具产品品种。

(5)加强应用技术的系统研究,对选择原则、磨削参数的优化、修整技术和冷却技术以及与之配套的专用设备 etc 要全面解决。CBN 磨具的使用得当与否,对于充分发挥 CBN 的磨削性能及经济性收益有着直接关系。磨削研究作为磨具与应用的接口,对于 CBN 磨具的推广应用起着至关重要的作用。此外,正确地指导用户使用 CBN 磨具也是需要亟待解决的一个十分重要的课题。

(6)随着 CBN 磨(刀)具的广泛应用,必将促进机床制造业的变革与发展,而高效机(磨)床的发展,又将进一步推动 CBN 磨(刀)具的使用。

(7)CBN 的推广应用是个系统工程问题,只有把搞 CBN 材料的、搞 CBN 制品的、搞 CBN 应用的以及搞专用设备的几股技术

力量联合起来,共同攻关,才有可能实现我国 CBN 快速、稳步、健康、持续的发展。

TECHNICAL ADVANCES ON THE APPLICATION AND MECHANICAL PROCESSING OF CUBIC BORAZON

Wang Guangzu

Abstract Cubic borazon has been developed as an ideal hard abrasive due to its high hardness, high thermal stability and high chemical inertia properties. Grinding tools and cutting tools of cubic borazon and some conditions about their popularization and application are presented.

Key words cubic borazon, grinding tool, cutting tool, popularization and application

(上接第57页)

使倒垂线从孔底引至孔口而不至接触套管内壁。施工正在进行,主要从3方面入手:①综合“保值”钻进技术措施;②研制新型纠斜工具与工艺;③提高测斜仪制造精度和测量精度,并研制新型高精度测斜仪。

局部不稳定块体,则采用倾斜仪、地音仪滑动定位器、地表位移计等综合手段对比观测;采用基岩变形计来监测基岩断层面的变位位错;并用岩石滑动定位仪监视岩石的滑动方位;在排水廊道(平洞)内顶部埋设多点钻孔挠度计或倾斜仪;通过测压管、渗压计测定地下水以验证边坡计算中的水压力。

为了解岩石预应力拉锚所引起的岩体变形以及锚索在岩体中的工作状态,在平衡于锚束的不同深度岩体钻孔中布置二向多点钻

孔位移计或三向应力计,并在预应力锚束上布置测力器。以测定锚索预应力沿程损失情况。

总之,通过埋设各类仪器监测取得的资料输入电子计算机控制系统、信息检证和数据处理,同时,发出警报分析,对于超界作出警报,促使对危险部位及时进行加固处理,以确保边坡施工。

由于工程正在施工,许多技术上的问题尚未完全暴露,各种大规模的试验工作正全面展开,上述开挖施工方案及加固处理措施可能会作出修改和调整,以达到动态优化设计目的,从而使高边坡的开挖和加固处理,既能满足安全运行的要求,又能达到经济合理的目的。

PROBLEMS ON THE CONSTRUCTION OF HIGH BENCH SLOPE OF SANXIA SHIP LOCK AND THEIR SOLUTION

Liu Zhenrong

Abstract Sanxia permanent ship lock is one of the three principal parts of Sanxia key water control project. To guarantee the construction and consolidation of the ship lock high bench slope is a vital technical problem of the project. A series of construction designs and consolidation treatment measures are presented.

Key words permanent ship lock, high bench slope, consolidation treatment