

硬态切削工艺中PCBN刀具的最新发展*

Latest Development of PCBN Cutting Tool in Hard Cutting Process

哈尔滨理工大学机械动力工程学院 岳彩旭 刘献礼



岳彩旭

哈尔滨理工大学机械动力工程学院硕士研究生,主要研究方向为硬态切削机理、切削表面质量控制和切削过程的有限元仿真。

聚晶立方氮化硼(Polycrystalline Cubic Boron Nitride, PCBN)是以立方氮化硼(CBN)作为主要成分,与结合剂在高温高压下烧结而成的聚晶体,结合剂主要有金属型(以Co、Ni为代表)或陶瓷型(以TiC、TiN、Al₂O₃为代表)。由于PCBN材料具有较高的硬度和耐磨性、很高的热稳定性、优良的化学稳定性、较好的导热性、较低的摩擦系

*航空科学基金项目(2006ZD25)。

在过去30年的时间里,PCBN刀具材料发展十分迅速,已广泛应用在汽车、航空航天、能源、军事、模具等重要领域,并在特定的切削条件下可以实现精车代磨。由于产品质量和市场推广等诸多因素,国内刀具制造业使用的PCBN产品有70%以上依赖进口。PCBN作为国内在30年前就开始研发的产品,与国外差距之大,十分值得认真思考。

数等特点,所以PCBN刀具在切削工艺中具有很大的优势,已经获得了很大的经济效益。在过去30年的时间里,PCBN刀具发展十分迅速,已广泛应用在汽车、航空航天、能源、军事、模具等重要领域,并在特定的切削条件下可以实现精车代磨。

荷兰Hembrug公司在Mikroturn CNC系列超精车床上采用PCBN刀具精车淬硬后的EN21轴承钢(HRC62)、美国国家标准工艺研究院Y. Kevin Chou和Chris J. Evans采用SumitomoBN系列的PCBN刀具加工AISIM50钢(HRC62~64)、英国DeBeers工业金刚石公司M. A. Fleming在Delta Turn40车床上采用AMBORITE DBN45刀具车削EN31轴承钢等都实现了PCBN刀具加工淬硬钢的纳米切削^[1]。

随着工业技术的发展,切削行业对刀具提出了越来越高的要求,所以各刀具生产厂家也逐步推出PCBN刀具的更新换代产品。本文着重介绍了PCBN刀具产品的国内外最新发展,叙述了PCBN刀具在我国切削行业的研究与应用现状,并对我国刀具行业提出了建议。

PCBN刀具在硬态车削工艺中的发展

PCBN是一种优异的超硬材料,难加工材料的切削加工中已大量稳定地使用PCBN刀具,并取得了很好的加工效果和经济效益,图1为PCBN切削淬硬钢时的场景。为了适应切削工艺的需求,各种PCBN刀具新品也不断应运而生。

(1)山特维克公司的CB7015 PCBN刀具适用于高硬度(HRC58

~63)工件的高效、高精度车削加工。该刀具在材料设计上采用了中等CBN含量+最佳陶瓷结合剂的方案;刃口的设计采用了负倒棱,以提高刀具的抗月牙洼磨损和抗崩刃能力。PCBN材料硬度虽高,但是抗冲击能力不强,易产生崩刃,所以采用倒棱方式来增加刃口强度。CB7015刀具根据理论分析和实际加工经验综合确定了最佳负倒棱角度,在连续和轻度断续车削加工高硬度工件时显示出优良的性能和显著效果。图2为CB7015车削的应用图例^[2]。

(2)住友电工硬金属开发出了用于加工耐热合金、钛合金等难切削材料的涂层材料新品种Acecoat AC510U/520U。其中510U包括77个品种,520U包括71个品种。新品种通过采用PVD(物理气相沉积)涂层,提高了耐磨损性和耐热性。与以往的涂层相比,硬度提高40%、耐热性提高200℃。上述品种通过采用涂层避免了在加工难切削材料时加工硬化层造成的局部磨损和切削热造成的磨损。与以往品种相比,该刀具的使用寿命为原来的2倍以上,加工效率为1.5倍以上,所以在硬态切削行业中有较大的发展前景^[3]。

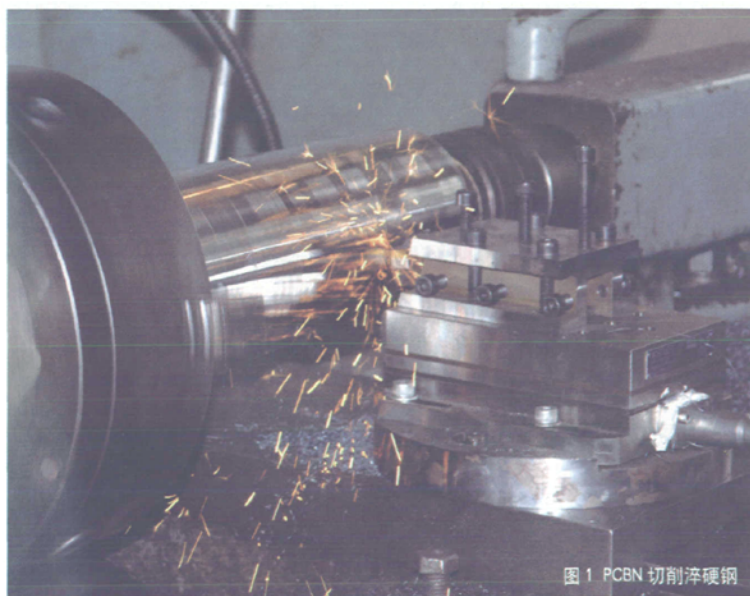


图1 PCBN 切削淬硬钢

(3)为了保证轻型至重载间断切削淬硬钢时的良好加工效果,山特维克可乐满专门推出了一系列新牌号CBN刀具。这些新产品拓宽了切削刀片的应用范围,并由于其韧性得到了显著提高,使之成为表层淬硬钢(HRC58~65)车削的首选。提高CBN刀具性能的关键在于细化晶粒,晶粒细化的刀具能够控制磨损的蔓延,而其机械互锁刀片角则提供了比标准刀片切削刃结构更高的强度和安全性。这些独特的属性组合可以在保持相同表面质量的条件下允许应用更高的切削速度,一次走刀便可完成对零件的加工。

除可提供各种正前角刀片外,还推出了2种已获专利的Wiper(修光刃)刀片,这种刀片的特殊槽形能够显著提高性能,其中WH槽形通过降低切削力而保证了高表面质量,WG槽形侧重于在高进给率时为精加工提供最佳的准备。Wiper刀片的特点是在标准刀片的最大允许刀尖半径公差范围内调整刀尖的几何形状,用一个短的直线或短的大半径圆弧来联结刀尖圆角和副切削刃,使其近似于椭圆形形状^[4]。采用这种技术能在维持原有生产节拍的条件下,

不减小进给量大幅度降低工件表面粗糙度的数值或者在保持原来工件质量的前提下减少加工时间,从而提高表面质量和加工效率。

Wiper刀片铣削刀具的修光刃技术已经得到较为广泛的应用,而修光刃技术在车削中的应用则是近几年来刀具开发研究人员大力推广的一种新型技术;针对淬硬钢高速精



图2 CB7015 在车削中的应用

加工过程中Wiper刀片的设计目前还比较少。根据高速硬态切削精加工的要求,开发设计Wiper刀片是很有必要的。

(4)随着加工行业的发展,对加工效率也提出了越来越高的要求。对此,山特维克可乐满开发了最新的高性能锋利切削刃材质GC1115。韧性和耐磨性之间的良好平衡使得GC1115成为不稳定加工条件下的高效选择。它的通用性好,可完成整个零件的所有切削工序,独特的PVD涂层可在更长的切削时间内保持锋利的切削刃,从而增加了有效切削时间,而优化的微观槽形则保证了低切削力下的高零件精度。这种新型材质可用于不锈钢的精加工到半精加工,以及耐热优质合金和钛合金的半精加工到粗加工。

(5)针对外圆和内圆的高效率精加工,山高公司推出了CBN200。此种刀具具有很高的柔性,在加工条

件为切削速度 $v_c=410\text{m}/\text{min}$, 进给量 $f=0.08\text{mm}/\text{r}$, 切削深度为 0.25mm 的情况下可以轻松加工 1000 个轴承座零件。

山高公司还推出了 Secomax PCBN100 刀片。据称该刀片是首个用于淬硬钢精加工的整体 PCBN 产品, 第 1 次采用了定位销孔结构。该刀片颗粒细且 PCBN 含量低 (50%), 适合淬硬钢、硬表面合金和烧结钢的轻型连续切削或中型断续切削。该刀片可用于标准 M、P 和 D

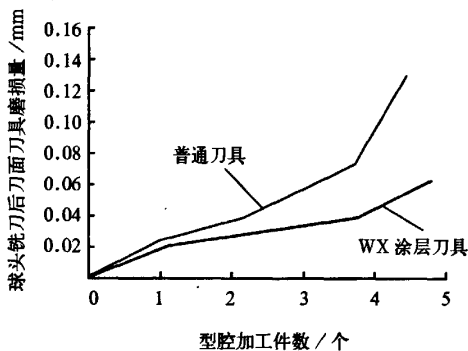


图3 WX 涂层刀具与普通刀具的对比

型刀夹。对于多种切削加工 (如淬硬钢的精加工), 采用了 W 型和 T 型刀片形状, 切削刃采用标准制备方式以及刮削刃型。

(6) 伊斯卡公司也推出了 2 种用于精加工的 PCBN 刀片。这 2 种刀片可加工淬硬钢和铸铁, 其中, IB55 牌号非常适合淬硬钢的半精加工和精加工 (包括在断续切削条件下), IB85 牌号则用于加工灰铸铁、硬度高于 HRC45 的铸铁和耐热合金。这 2 种刀片都采用单刀尖结构, 切削刃制备方式包括倒刃和钝化。

(7) 京瓷公司推出了 KBN10B 牌号的 CBN 刀片, 该牌号用于硬铸铁和热处理钢的精加工, 切削深度为 0.5mm 。KBN25B 牌号用于加工淬硬钢, 该刀片采用了可提高韧性和化学稳定性的亚微级 CBN 晶粒和粘结剂。KBN65B 牌号用于高速切削铸铁, 可显著提高刀具寿命。

KBN900 牌号是一种整体 PCBN 刀片, 采用 PVD 涂层, 用于淬硬材料的粗车加工和高速铸铁的加工。

(8) 为了实现精车代磨和提高硬态切削的加工精度, 很多企业致力于推出精加工中 PCBN 的新品。肯纳金属公司新推出 CVD 涂层的 PCBN 刀片, 牌号为 KB9610, 可用于淬硬钢材料 (如 8620 钢、D2 工具钢、52100 钢等) 的精车加工, 可显著提高加工效率。该刀片采用低含量 PCBN 基体材料和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiN}$ 涂层, 在车削加工钢件时, 其切削性能优于传统的 PCBN 刀片。CVD Al_2O_3 涂层可有效防止刀片的主要失效机制——月牙洼 / 扩散磨损。与现有性能最好的 PCBN 刀片相比, 该刀片在相同切削速度和进给量下的使用寿命可提高 250% [5]。

PCBN 刀具在硬态切削工艺中的发展

硬态切削是近年来在模具制造业中广泛应用的技术。此工艺基于高速切削, 以小切深、高切削速度为特征, 它广泛应用于淬火钢模具的加工。硬态切削技术有很多优点, 如减小切削力, 获得更好的尺寸精度, 已加工表面为残余压应力且金相变化小等。在主轴高速旋转下进行硬态切削可获得无铣痕的表面, 尺寸精度为 $4 \sim 10\mu\text{m}$, 表面粗糙度 R_a 为 $0.3\mu\text{m}$, 有效降低对淬硬钢的研磨要求。可见高速切削在模具制造等精密、超精密加工中具有有良好的应用前景。

(1) 欧士机最近推出了一款新开发的 WXS 超级涂层铣刀系列, 该系列

刀具采用纳米技术的超耐热超硬度涂层, 氧化起点温度 1300°C , 可以实现高硬度材料 (HRC70) 的高精度长寿命加工, 在高硬度材料的高速干式加工中会大有作为。用欧士机 WX 特型球头立铣刀 (WXS-EBD) 加工 SKD11 工件 (硬度为 HRC62), 与普通刀具相比, 在表 1 所示的加工条件下, WXS-EBD 的磨损较慢, 可长时间维持球头立铣刀的 R 形状 [6], 其磨损对比曲线为图 3 所示。

(2) 埃莫克公司推出的 CBN 立铣刀用于粗铣加工的使用寿命可达硬质合金铣刀寿命的 50 倍, 能加工硬度达 HRC60 的淬硬钢、铸钢、镍基和钴基合金等硬质材料。铣刀类型包括球头立铣刀、环面立铣刀和平头立铣刀, 刀片尺寸为 $4 \sim 12\text{mm}$ 。

(3) 日进工具公司研制出了 2 款用于硬态切削的新品。一般立铣刀均带有容屑空间, 在刀齿上开有一个排屑槽, 而该公司的 SFB200 立铣刀却没有这样的槽, 其切削刃宛如一个算盘珠子, 因而刚性极好。该刀具采用严格筛选的 CBN, 对刀具齿形进行了特殊设计, 可有效防止切削过程中出现崩刃或破损。所以该刀具在加工表面粗糙度和加工精度方面均获得很高评价。

该公司的 SSR200 PCBN 圆弧立铣刀适用于高硬度工件的高精度铣削加工。铣刀尺寸为 $\phi 0.5 \sim 2.0\text{mm}$, 切削刃转角圆弧半径

表 1 球头铣刀的切削条件和参数

使用刀具	WXS-EBD R1×4
工件材料	SKD11(HRC62)
转速	32000r/min
进给速度	2800mm/min(0.038mm/齿)
切削方法	加工型腔
切削深度	切削啮合量 $a_p=0.04\text{mm}$, 进给啮合量 $P_f=0.05\text{mm}$
冷却方式	风冷
加工机床	立式加工中心 (HSK-E32)

0.05 ~ 0.30mm, 有效长度 1.5 ~ 10mm, 共 26 个规格。为防止加工中刀具发生崩刃, 对切削刃进行了倒棱钝化处理, 钝化工艺采用该公司自行编制的程序, 可对端刃到圆周刃同时进行倒棱加工, 对后刀面的刀刃也采用同样的方法进行了倒棱加工, 因此 R 部分与端刃和圆周刃的连接十分圆滑, R 精度达到 $\pm 0.005\text{mm}$ 。在精加工硬度为 HRC66 的 DRM3 马特里克斯淬硬钢 3h45min 后, R 部分的磨损量仅为约 $2\mu\text{m}$, 实现了对高硬度工件的长时间、高精度、高效率加工。

PCBN 刀具在其他加工工艺中的发展

由于 PCBN 刀具具有优良的切削性能, 它不仅广泛应用于车削和铣削工艺, 也应用于钻削和镗削工艺中。三菱材料工具上市了“Violet 高精度钻头”系列的新产品——镗孔加工钻头“VA-PDS-CB”。该产品为无阶式, 可加工中央有凹坑的镗孔, 共备有 23 种尺寸。加工镗孔一般使用 2 个刀片的立铣刀, 但这时存在进给速度慢、加工的孔较大、刀具寿命短以及切屑容易卷住刀具等问题。而新产品不但能与普通钻头一样的进给速度加工, 而且切屑不易卷住刀具。该产品可根据中央的刀刃实现稳定的高速进给。通过改进横刃形状, 可更细地切割切屑。与原来的镗孔加工用超硬立铣刀相比, 可延长使用寿命, 而与镗孔加工用高速钢立铣刀相比, 即使进行高速加工也能延长使用寿命。

我国 PCBN 刀具的研究与应用现状

由于 PCBN 刀具具有优良的切削能力和市场潜力, 我国也投入了大量的人力与物力积极推动此种刀具的研制与应用。国内有哈尔滨理工大学、大连理工大学以及山东大学等

单位开展了 PCBN 刀具的硬态切削研究。研究人员对 PCBN 材料的生产制造工艺、产品的性能(耐磨性、韧性、耐热性、可加工性)及产品品种和质量等方面做了大量的研究工作, 并取得了一定的成果。例如哈尔滨理工大学课题组通过使用自制的 Wiper PCBN 刀具在高精度数控机床上进行了精密加工试验, 得到了 $R_a=0.19\mu\text{m}$ 的加工表面, 这个精度等级的加工质量以往在国内未见报道。图 4 为已加工表面的测试, 加工

本进入成熟阶段, 产品也向多样化、系列化方向发展。与国外相比, 我国无论在 PCBN 材料的合成还是刀具切削性能的研究方面都还比较滞后。

目前国内 PCBN 材料和刀具发展主要的问题是: 产品系列少, 切削机理和工艺的许多关键技术未能取得突破, 产品性能不稳定和自主创新能力不强。由于产品质量和市场推广等诸多因素, 国内刀具制造业使用的 PCBN 产品有 70% 以上依赖进口。



图 4 已加工表面粗糙度测试

用的机床为大数控车床。

在 PCBN 刀具切削机理和产品的稳定性和适应性方面所做的工作还远远不够。汽车、航空航天和能源等工业对新的切削工艺的需求使得 PCBN 刀具的应用获得了很大发展, 许多企业逐渐接受和考虑选择使用 PCBN 刀具, 如洛阳机车工厂和桂林机械厂等。但是由于没有完全掌握该种刀具的稳定性和适应性, 并且由于价格问题, 所以 PCBN 刀具的应用处在发展阶段。

对发展我国 PCBN 刀具的建议

国外对 PCBN 刀具的研究已基

PCBN 作为国内在 30 年前就开始研发的产品, 与国外差距之大, 十分值得认真思考。因此应加强 PCBN 刀具制造技术和应用技术的研究来解决切削中的关键问题, 并努力降低成本, 扩大 PCBN 刀具的应用领域, 并加强 PCBN 刀具的宣传和推广, 走市场化道路, 引导用户正确合理使用 PCBN 刀具, 推动 PCBN 刀具在难加工材料的加工领域开创新局面。

注: 本文有参考文献 6 篇, 因篇幅所限未能一一列出, 读者如有需要, 请向编辑部索取。

(责编 晓静)