

PCBN 刀具磨损性能的试验研究

Experimental Study on the Wearing Performance of PCBN Cutting Tool

北京理工大学 张京英 于启勋 庞思勤

[摘要] 对 PCBN 刀具车削淬硬钢、冷硬铸铁和复合材料等的磨损性能进行了试验研究,结果表明 PCBN 刀具的切削性能优于硬质合金与陶瓷刀具。近年来,PCBN 刀具材料的制造工艺和综合力学性能有了很大的发展,它能有效地对黑色金属进行粗加工。

关键词: 刀具材料 PCBN 磨损性能

[ABSTRACT] Wearing performance by the turning machining of hardened steel, cold-hardened cast iron and composite materials are studied. It illustrated that PCBN cutting tool is superior in cutting performance compared to cemented carbide and ceramics cutting tools. In recent years, with great improvement in production process and overall mechanical properties, PCBN cutting tool material can make rough machining of ferrous metal effectively.

Keywords: Cutting tool material PCBN Wearing performance

立方氮化硼(CBN)是氮化硼(BN)的同素异构体之一,其结构与金刚石相似,化学键类型相同,晶格常数相近,因此具有与金刚石相近的硬度和强度。聚晶立方氮化硼(PCBN)是由 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)。

PCBN 刀具具有较高的硬度、耐磨性和很高的热稳定性,具有优良的化学稳定性及较好的导热性,并具有较低的摩擦系数。其使用寿命远远高于硬质合金,可加工大部分高硬度材料,在许多场合可以以车、镗、铣等代替磨削,能使被加工零件获得高的精度和良好的表面质量,并大大提高生产效率。PCBN 刀具能加工金刚石刀具所不能加工的黑色金属材料,特别适合数控设备及自动化生产线的使用^[1]。国外 PCBN 刀具已广泛用于加工淬硬钢、高硬度铸铁和抗磨零件,并带来了巨大的经济效益。随着机械零件的硬度和抗磨损性能要求的进一步提高,PCBN 刀具的使用必将更加广泛。

随着 CNC 加工技术的迅猛发展以及数控机床的普遍使用,可实现高效率、高稳定性、长寿命加工的超硬刀具的应用也日渐普及,同时引入了许多先进的切削加工概念,如干切削和高速切削干切削等。超硬刀具已成为现代切削加工中首选的工具。PCBN 刀具作为 20 世纪更新换代的新型刀具材料,它的使用已显示出巨大的经济效益^[2],引起了世界各工业国家的密切关注。

PCBN 刀具切削时可使用非常高的切削速度,有较高的刀具寿命,但是若使用不当,往往会发生非正常磨损甚至破损^[3]。因此,研究 PCBN 刀具的磨损对于正确使用 PCBN 刀具具有重要的意义。

本文主要用 2 种国产 PCBN 刀具对几种难加工材料进行了切削试验,着重研究 CBN 刀具切削高硬度、难加工材料时的刀具磨损情况,验证了这种刀具材料的切削性能,并采集了很多切削数据。这对 PCBN 刀具的推广应用有很重要的意义。

1 CBN 刀具的切削试验

1.1 车削冷硬铸铁

用 Y 厂的 PCBN-Y 刀具同 H 厂的 PCBN-H 刀具做对比,切削冷硬铸铁(含 C2.8%~3.5%,Mn0.4%~1.0%,Si0.3%~3.2%,硬度为 58~68HS)。

2 个厂家的 PCBN 刀具的粘结剂不同。刀具几何参数为:

前角 γ_0 , 后角 α_0 , 主偏角 κ_r , 刃倾角 λ_s , 刀尖圆弧半径 r_s , 负倒棱宽度 b_{rl} , 负倒棱角度 γ_{oi} , 切削深度 a_p , 进给量 f , 切削速度 v , 下同)。

PCBN-H: $\gamma_0=-3^\circ, \alpha_0=8^\circ, \kappa_r=84^\circ, \lambda_s=0^\circ, r_s=0.6\text{mm}, b_{rl}=0.25\text{mm}, \gamma_{oi}=-15^\circ$;

PCBN-Y: $\gamma_0=-6^\circ, \alpha_0=5^\circ, \kappa_r=84^\circ, \lambda_s=0^\circ, r_s=0.5\text{mm}, b_{rl}=0.2\text{mm}, \gamma_{oi}=-15^\circ$;

切削用量: $a_p=0.3\text{mm}, f=0.22\text{mm/r}, v=60\text{m/min}$, 干切削。试验所得数据如图 1 所示。

从图 1 可见:PCBN 刀具的耐用性能良好,在切削 120min 后,后刀面磨损仍然没有超过 0.2mm。

用硬质合金刀具切削同种材料进行试验,其切削

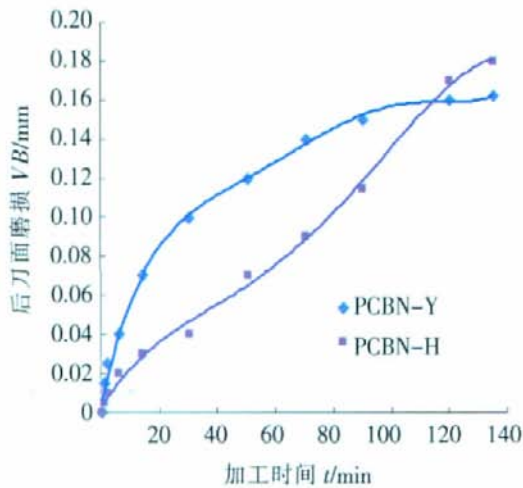


图1 2种PCBN刀具切削冷硬铸铁的磨损曲线
Fig.1 Wear-curve of two PCBN tools' turning chilled cast iron

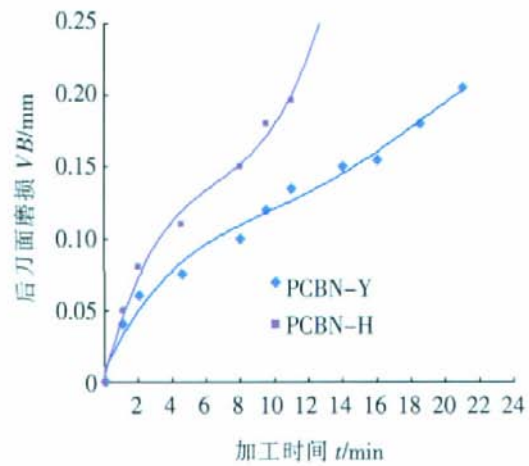


图2 2种PCBN刀具加工CrMnB的磨损曲线
Fig.2 Wear-curve of two PCBN tools' turning CrMnB

速度只能选用 10m/min 以下。所以根本无法进行相同切削条件下的对比。由此可见,在切削冷硬铸铁方面,PCBN 的耐用性能和加工效率远远好于硬质合金刀具。由于金刚石刀具会与黑色金属发生反应,所以不能切削钢、铁。在工业工程和机械制造中,黑色金属,尤其是钢、铁用量最大。所以 PCBN 在这个方面有得天独厚的优势。

1.2 车削CrMnB淬硬合金钢

使用 2 种不同的 PCBN 刀具对 CrMnB 淬硬合金钢进行切削对比试验,刀具几何参数为:

PCBN-H: $\gamma_0=0^\circ, \gamma_{01}=-20^\circ, \alpha_0=8^\circ, \kappa_r=45^\circ, \lambda_s=0^\circ, r_e=0.5\text{mm}, b_{r1}=0.2\text{mm};$

PCBN-Y: $\gamma_0=-6^\circ, \gamma_{01}=-15^\circ, \alpha_0=8^\circ, \kappa_r=45^\circ, \lambda_s=0^\circ, r_e=0.5\text{mm}, b_{r1}=0.2\text{mm};$

试验用工件材料为 CrMnB, $D=53\text{mm}$, 硬度为 HRC59-62;

切削条件: $v=118\text{m/min}, a_p=0.1\text{mm}, f=0.05\text{mm/r}$, 干切削。试验所得数据如图 2 所示。

从图 2 可见:采用新技术的 PCBN-Y 刀具要比原来的 PCBN-H 刀具在加工 CrMnB 的时候有更好的耐磨性。PCBN-Y 刀具采用了不同的粘合剂,因为粘合剂的改变,使得新的 PCBN 刀具有了更好的耐磨性。

切削冷硬铸铁和淬硬钢时,PCBN 刀具的切削性能比硬质合金刀具好的多。如果用硬质合金刀具,不可能用如此高的切削速度(60m/min 和 118m/min)。

1.3 车削GFRP玻璃钢

工件:GFRP(玻璃钢),为酚醛树脂基玻璃纤维加

强的复合材料。其宏观硬度为 131HBS,但其中玻璃纤维的硬度远高于此。GFRP 基体的硬度不同对刀具磨损的影响很小,但玻璃纤维有一定硬度,对刀具切削刃有擦伤作用。本试验用以下几种不同的刀具进行对比。刀具几何参数为:

PCBN: $\gamma_0=0^\circ, \gamma_{01}=-15^\circ, \alpha_0=7^\circ, \kappa_r=45^\circ, \lambda_s=0^\circ, r_e=0.5\text{mm}, b_{r1}=0.2\text{mm};$

YS8: (K 类硬质合金刀具) $\gamma_0=0^\circ, \alpha_0=8^\circ, \kappa_r=45^\circ, \lambda_s=-4^\circ, r_e=1\text{mm};$

HDM3 (Si₃N₄ 基复合材料陶瓷刀具): $\gamma_0=8^\circ, \alpha_0=8^\circ, \kappa_r=75^\circ, \lambda_s=-4^\circ, r_e=1\text{mm};$

切削用量: $a_p=0.3\text{mm}, f=0.1\text{mm/r}, v=80\text{m/min}, n=355\text{r/min}$ 干切削。试验所得数据如图 3 所示。

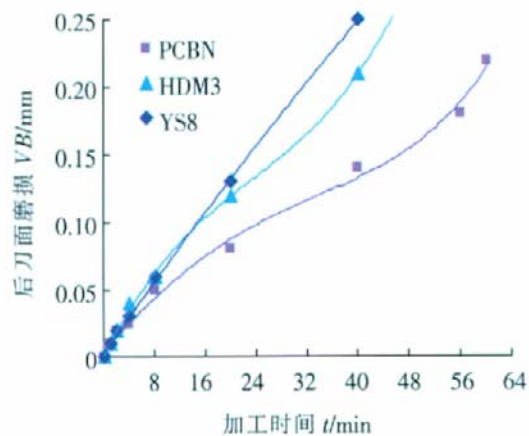


图3 不同刀具车削GFRP玻璃钢的刀具磨损曲线
Fig.3 Wear-curve of different cutting-tools' turning GFRP fiberglass

从图3中可以明显看出:在各种刀具切削GFRP时,材料中的玻璃纤维冲击和摩擦刀具,对刀具产生大量磨损。其中表现最差的是YS8硬质合金刀具和HDM3陶瓷刀具。大约30min开始,后刀面磨损VB便超过了0.2mm,并且呈直线上升趋势。而PCBN大概在60min左右达到0.2mm,可见PCBN刀具的切削性能和抗磨损能力均显著高于硬质合金和复合陶瓷刀具。

1.4 YN10和PCBN车削30CrMnSi

使用PCBN刀具和YN10硬质合金刀具对30CrMnSi进行切削对比试验。刀具几何参数如下:

PCBN: $\gamma_0=0^\circ$, $\alpha_0=+6^\circ$, $\kappa_r=90^\circ$, $r_s=0.5\text{mm}$, $b_{r1}=0.2\text{mm}$, $\lambda_s=0^\circ$, $\alpha_0'=4^\circ$;

YN10: $\gamma_0=0^\circ$, $\alpha_0=+6^\circ$, $\kappa_r=90^\circ$, $r_s=0.5\text{mm}$, $b_{r1}=0.2\text{mm}$, $\lambda_s=0^\circ$, $\alpha_0'=4^\circ$;

加工材料为30CrMnSi, $D=83\text{mm}$, 硬度为56~59HRC;

切削条件为: $v=150\text{m/min}$, $a_p=0.5\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/r}$, 干切削。试验所得数据如图4所示。

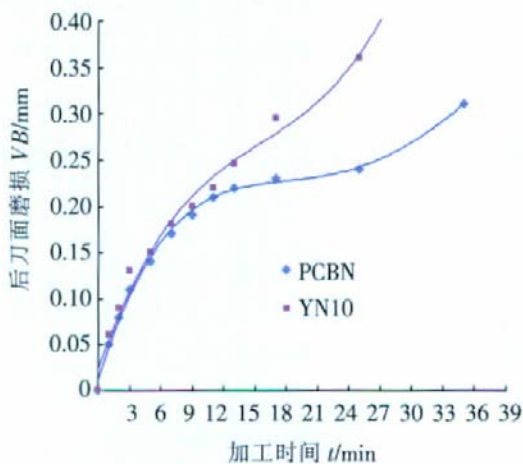


图4 YN10和PCBN车削30CrMnSi的刀具磨损曲线

Fig.4 Wear-curve of YN10 and PCBN cutting-tools' turning 30CrMnSi

从图4可以看出:在加工硬度较高的30CrMnSi时,PCBN相对于YN10硬质合金刀具具有一定的优势。

PCBN刀具具有很高的硬度和耐磨性。试验用的PCBN刀片硬度约为HV3000。因此用于加工高硬度材料时具有比硬质合金及陶瓷更高的耐磨性。同时,切削30CrMnSi这类硬度较高的材料时,切削温度较高。在较高的切削温度下,PCBN刀具的硬度降低很

小。而YN10刀具的硬度相对下降较大。因此PCBN耐磨性要好于YN10。

2 分析与讨论

总的说来,PCBN刀具对于切削CrMnB或30CrMnSi这类硬度较高的材料时,与硬质合金刀具相比有较好的耐磨性。因为PCBN/CC的性能兼有较好的韧性和较高的硬度及耐磨性,所用PCBN的硬度一般为HV3000~5000。因此用于加工高硬度材料时具有比硬质合金刀具具有更高的耐磨性。由于PCBN刀具具有极高的硬度及红硬性,可使被加工的高硬度CrMnB等工件获得良好的表面粗糙度,所以采用PCBN刀具车削淬硬钢等可实现“以车代磨”。由于切削深度比磨削深度大10几倍以上,因此加工效率高,表面不产生烧伤。

PCBN刀具能加工金刚石刀具所不能加工的黑色金属材料,特别适合数控设备及自动化生产线的使用^[3]。

PCBN刀具在切削颗粒加强SiCp/ZL109材料的时候,由于不断经受硬度较高的加强颗粒的反复冲击,磨损较快,不如硬度更高的金刚石刀具耐磨性好。金刚石刀具广泛应用于硬脆材料(如硬质合金、玻璃、陶瓷和石材)的加工。与金刚石相比,PCBN刀具的应用则没有这些优势。

以上试验均是在干切削条件下进行的。适用于干切削工艺的刀具材料有陶瓷、金属陶瓷、涂层硬质合金及PCBN刀具材料等等,但就红硬性和热稳定性来说,PCBN材料是最适合干切削工艺的刀具材料,且由于PCBN刀具材料具有较好的红硬性及热稳定性,还有较好的耐磨性和抗粘结性,因此更适于高速条件下的干式切削加工。

国外PCBN刀具已广泛用来加工淬硬钢、高硬度铸铁和抗磨零件,并带来了巨大的经济效益。随着机械零件的硬度和抗磨损性能要求的进一步提高,PCBN刀具的使用必将更加广泛。

参 考 文 献

- [1] 郭旭红,朱圣领,曾庭卫,等.陶瓷刀具和PCBN刀具磨损形态的研究.机械工程材料,28(11):10-31.
- [2] Katsumi Okamura. New PCBN for heavy interrupted cutting of hardened steel. Materials Science Forum, 2007, 534: 1117-1120.
- [3] 曹永泉. PCBN刀具切削淬硬钢GCr15的磨损试验研究.中国机械工程,2006(21):2305-2308.

(责编 金卯)