

文章编号: 1000-6893(1999)05-0445-05

CBN 滚切车刀研制及其加工质量研究

陈五一¹, 常兴²

(1. 北京航空航天大学 705 教研室, 北京 100083)

(2. 华北工学院 2 系, 山西 太原 030051)

DEVELOPMENT OF TURNING TOOLS TIPPED WITH ROTATING CBN INSERT AND INVESTIGATION OF THEIR PERFORMANCE

CHEN Wu-yi¹, CHANG Xing²

(1. Faculty 705, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

(2. Dept. 2, North China Institute of Technology, Taiyuan 030051, China)

摘要: 研制了安装 $\text{A} 9.5 \sim \text{A} 23$ CBN 刀片的滚切车刀。刀片用弹性卡头装卡, 刀杆具有可调前角和刃倾角, 并具有滑动轴承和滚动轴承 2 种刀轴。切削实验表明, 加工质量主要受表面波纹度影响, 采用适当的切削速度、进给量、刀具几何参数, 减小刀片直径和刀轴轴承间隙均可降低波纹度。

关键词: 立方氮化硼刀具; 切削实验; 刀杆; 滚切; 波纹度

中图分类号: TG566 **文献标识码:** A

Abstract: Turning tools tipped with rotating CBN inserts were designed and tested. The inserts with diameters of 9.5, 12.7, 23 mm were accommodated by different collets and the tool holders were able to provide adjustable rake angle and inclination angle. The spindle of the tools was supported with either plain bearings or ball bearings. The investigation demonstrated that the surface quality of the machined parts was dominated by surface waviness which could be reduced by using appropriate cutting speed, feed rate and tool geometry. With ball bearing holders having 12.7 dia. inserts, optimum cutting conditions in terms of lowest waviness were found via numerical optimization based on the experimental data. Better machining quality could also result from tools using smaller cutting inserts and with smaller bearing clearance. The experiment also showed that the tool holders with plain bearings were more likely to generate lower waviness.

Key words: cubic boron nitride cutting tools; cutting tests; holders; rotary cutting; waviness

滚切刀具上装有圆形刀片, 切削过程中圆形刀片绕自身轴线连续转动。当刀片的转动是由专用的电机驱动时, 称为驱动式滚切刀具 (Driving rotary tool 或 DRT); 当刀片的转动是由切削运动带动时称为自滚切刀具 (Self-propelled rotary tool 或 SPRT)。自滚切刀具的切削刃必须具有一定的刃倾角 (θ), 以产生沿刀刃切向的速度分量 v_t , 带动刀片转动 (图 1)。SPRT 的主要优点是能够极大提高刀具耐用度, 因此 SPRT 适宜于加工难加工材料, 在此情况下刀具耐用度可提高 30~100 倍^[1]。虽然 SPRT 在工业上已有应用^[2, 3], 有些设计已获专利^[4], 但由文献[5]可知, SPRT 上采用的刀具材料尚仅限于高速钢和硬质合金, 超硬刀具材料如 CBN 和 PCD 尚未用于这一领域。本文介绍了装有 CBN 刀片的 SPRT 车刀。作者

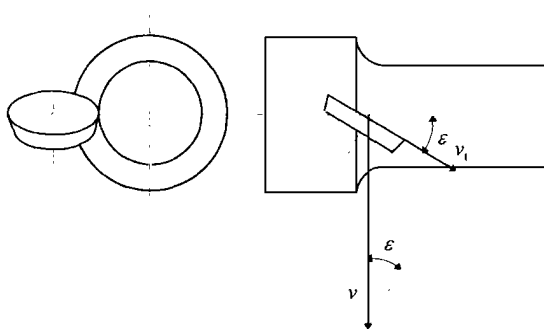


图 1 自滚切刀具工作原理

曾对这种刀具的滚切速度、切削力、切削温度、加工质量、刀具磨损等方面进行了初步实验^[6]。结果表明, 装 CBN 刀片的 SPRT 车刀不仅可以用很高的速度 (190~250m/min) 加工淬火钢 (HRC50~55), 而且可保持很长的刀具耐用度 ($VB=0.01 \sim 0.02$ mm/h)。因而刀具磨损已经不是 CBN-SPRT 在使用中的主要矛盾。研究结果同时表明, 加工表面波纹度成为影响加工质量的主

收稿日期: 1998-07-13, 修订日期: 1998-10-19
基金项目: 山西省自然科学基金资助项目

要因素,不适当的加工条件会加大表面波纹。本文针对各种因素对加工波纹的影响进行了更为深入的探讨。

1 刀杆设计

根据以往的研究^[5],滚切加工中的2个主要问题是刀片旋转所引起的附加误差和较大的径向力所诱发的振动。因此,刀轴轴承的转动精度和刀杆的刚性就成为SPRT刀杆设计中的重点。对于CBN-SPRT的设计,由于刀片无孔无后角,所以给刀具制作带来更多的困难,迄今所发表的关于各种滚切刀杆设计文章未涉及这一情况^[7]。本文中的CBN-SPRT要用于实验,刀杆还应具有可调的几何参数,以探讨不同几何参数对切削性的影响。

考虑到以上各种要求,所设计的刀杆具有下列特点:

(1) 当使用无后角刀片时,刀杆除了能设置刃倾角 E 外还能够设置负前角 D 以便在后刀面和加工表面间形成后角,如图2。在本文所介绍的刀杆上设计了前角架和倾角架,使得前角和刃倾角连续可调,见图3。前角架和倾角架可绕相互垂直的空间轴线转动,2轴线在刀尖处相交,以使前角和刃倾角的调整不影响刀尖高度。为了将刀杆的受力变形减到最小,刀杆采用了紧凑的结构以提高刚性。

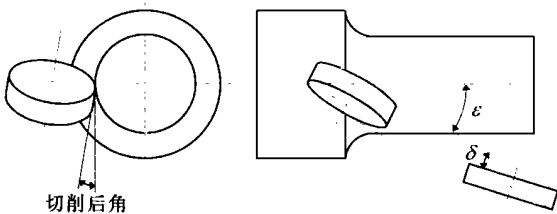


图2 调整前角 D 使无后角刀片产生切削后角

(2) 为了将无孔刀片装卡在刀轴上并保证足够的同心度,采用了弹性卡头装卡刀片圆周面的方式。刀片的顶部中心用钢球压紧,这样既可防止刀片倾覆,又不妨碍刀片的旋转,见图3。

(3) 由于刀轴同时承受轴向和径向载荷,应当使用角接触轴承。但因未能购到尺寸适当的角接触轴承,故自行设计、加工了轴承。轴承间隙由锁紧螺母调整,见图3(a)。由于自制小尺寸的角接触球轴承十分困难,使用小刀片的刀杆采用了滑动轴承,见图3(b)。

根据上述结构特点,滚切刀杆比普通机夹刀杆复杂得多,因而制造成本高。另外由图1、图2

可见,滚切车刀无法车削阶梯轴,这也限制了它的应用。但在车削电机转子、钢板轧辊等特殊场合,则能够充分发挥滚切刀具的特点,大大降低刀具材料的消耗,减少因频繁换刀所引起的工时消耗。

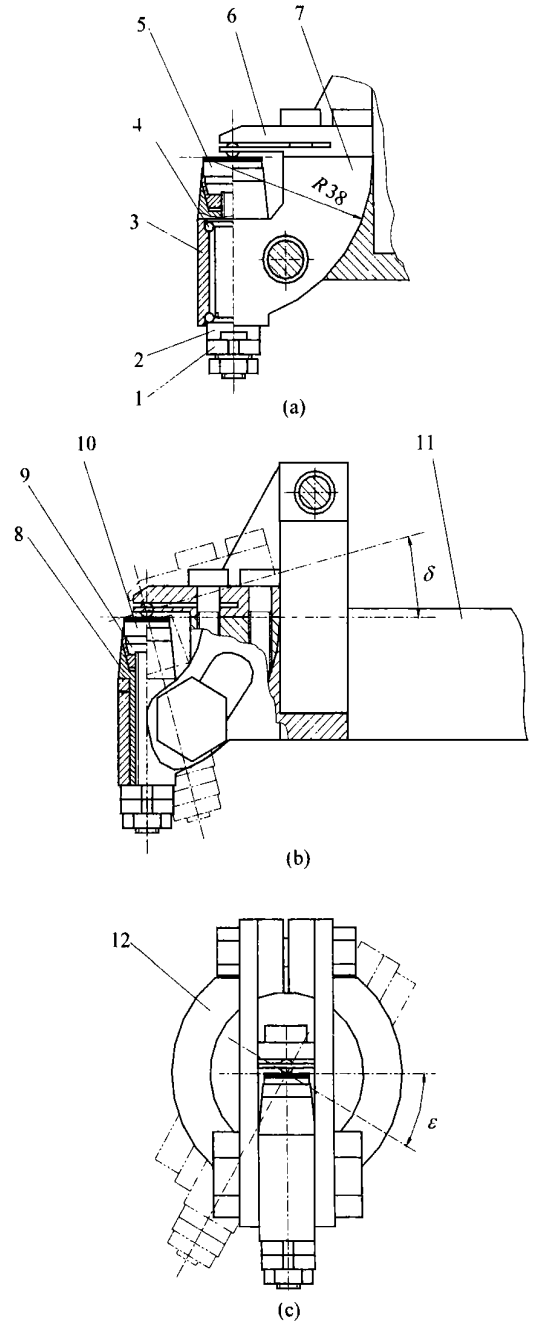


图3 使用CBN刀片的双向倾斜滚切车刀

(a)滚动轴承刀杆侧视图;(b)滑动轴承刀杆侧视图;(c)刀杆正视图

1. 锁紧螺母; 2. 轴承内环; 3. 轴承外环; 4. 滚动物; 5. $\text{A} 12.7 \sim \text{A} 23$ 刀片; 6. 压板; 7. 前角架; 8. 刀轴; 9. 弹簧卡头; 10. $\text{A} 9.5$ 刀片; 11. 刀杆; 12. 倾角架。

2 实验条件

车削实验在C620-1型车床上进行,全部实验

为干切削, 具体实验条件如下:

(1) 刀具及工件材料 刀具材料是 BZN-6000CBN 圆刀片, 直径分别为 $\phi 9.5$, $\phi 12.7$, $\phi 23$ 。工件材料为 55 钢(GB699-88), 淬火硬度为 HRC50~55。试件中心钻有 50mm 直径的通孔, 以提高淬透性, 在整个截面上获得均匀的硬度。

(2) 波纹度测量装置 表面波纹度在文献[8]中定义为一种表面纹理, 其上叠加有表面粗糙度轮廓。但标准中并未提供波纹度的测量方法。本项目中采用了千分表进行测量。千分表固定在刀台上, 见图 4, 并沿工件表面移动, 5mm 采样长度内的峰谷值作为波纹度数据。实验中进行了重复测量减小随机误差, 以重复测量的平均值作为实验结果。

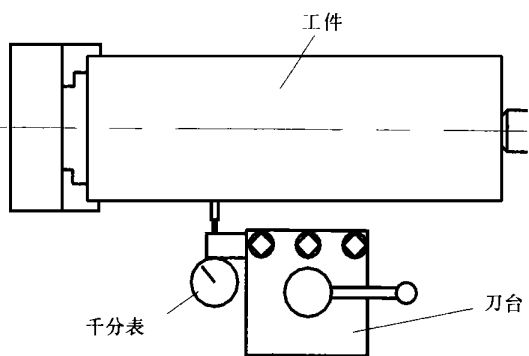


图 4 表面波纹度检测装置

(3) 切削参数 在改变前角、刃倾角、切削速度、进给量的四因素实验中使用了装有 $\phi 12.7$ 刀片的 SPRT, 参数范围为: 前角 $D = -10^\circ, -17^\circ$,

- 30° ; 刃倾角 $E = -10^\circ, -14^\circ, -20^\circ, -28^\circ, -40^\circ$; 切削速度 $v = 100, 137, 187, 256, 350 \text{ m/min}$; 进给量 $f = 0.1, 0.14, 0.2, 0.28, 0.4 \text{ mm/r}$ 。切削深度为 0.05 mm , 保持不变。实验数据采用多元回归的方法进行处理, 回归曲线见图 5。研究中还针对刀片直径 9.5, 12.7, 23mm, 刃倾角的正负, 滚动、滑动轴承的不同进行了波纹度实验, 实验结果见图 6。

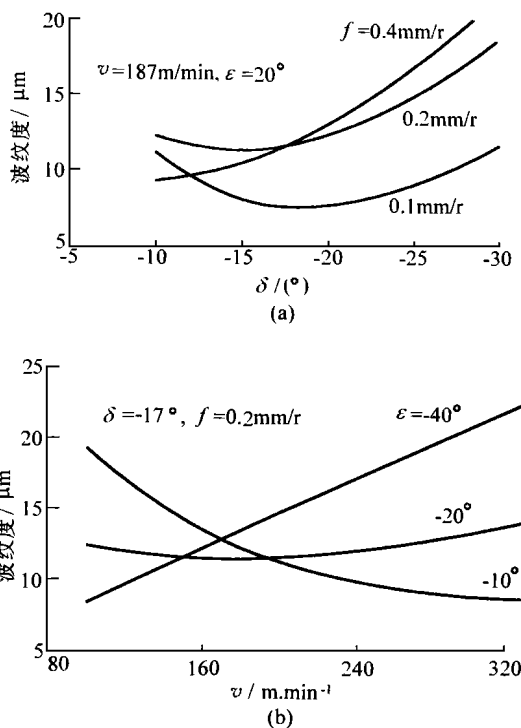


图 5 刀具角度和切削用量对波纹度影响

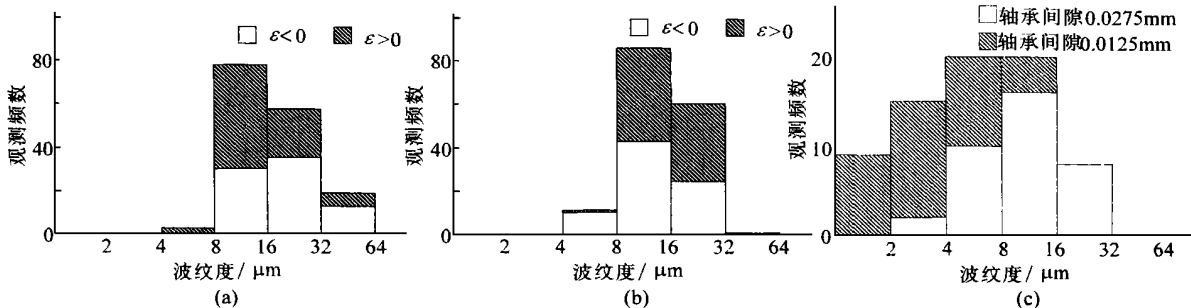


图 6 刃倾角方向和轴承结构对波纹度影响

(a) 滚动轴承刀杆, $\phi 23$ 刀片; (b) 滚动轴承刀杆, $\phi 12.7$ 刀片; (c) 滑动轴承刀杆, $\phi 9.5$ 刀片

3 分析讨论

由图 5(a) 可见, 较大的负前角使波纹度增大。一般而言, 负前角增大使得切削力增大, 而增大的切削力。尤其是径向力, 容易造成振动, 从而产生波纹。减小负前角, 切削力随之减小, 但对于

无后角的刀片, 此时后角也同时减小。后角过小时会加剧后刀面与加工表面回弹层之间的摩擦^[9], 反而使切削力增大。因此只有选用适当的前角才能产生较低的波纹。进给量越大, 波纹度越大。

切削速度和刃倾角对波纹度的影响见图 5 (b)。滚切速度, 切削速度和刃倾角之间的关系可

由下式表示(参见图1)

$$v_t = v \sin E \quad (1)$$

所以提高切削速度或增大刃倾角都会使滚切速度增大。滚切速度的增大使得离心力增大,降低了切削过程的平稳性,波纹度随之变差。但由图5(b)可见,同时减小切削速度和刃倾角同样不能改善表面质量。理论上讲,无论 v 和 E 多么小都会驱动刀片转动(见式1),但实际情况并非如此,由于轴承中存在摩擦,所以当切削速度和刃倾角都比较小时,刀片很难产生连续的滚切运动。所以只有选用适当的切削速度和刃倾角,才能使刀片均匀转动,从而产生均匀的加工表面。

由于切削参数对波纹度的影响趋势比较复杂,研究中采用了数学优化来寻找最佳切削条件。优化中使用的数学模型即为回归分析所得的经验公式。根据优化计算,对于使用滚动轴承和 $\text{A } 12.7$ 刀片的SPRT,当 $D = -12^\circ$, $E = -13^\circ$, $v = 256 \text{ m/min}$, $f = 0.14 \text{ mm/r}$ 时得到的波纹度最小。

实验中还发现,在同样的切削条件下,当将刀轴固定使刀片停止转动后,就可以大大减小甚至完全消除振动,从而使波纹度降低至 $2 \sim 3 \text{ Lm}$ 。这进一步证明,振动和波纹都与刀片的转动有关。由于刀轴的偏心和轴承间隙,会使得切削深度变化,造成切削力波动,从而产生了振动。根据星铁太郎的论述^[10],当振动是由外部的周期位移干扰所激发,并以自激振动的形式持续进行时,这种振动中含有强迫振动和自激振动,称为混合型颤振。一般情况下,振动所产生的加工波纹往往形成左旋、右旋或直纹的形式^[11]。但SPRT所产生的波纹有时呈随机分布。此时切削过程相对平稳,在刀具和工件上感觉不到明显的振动。这似乎表明,仅仅有周期位移干扰并不足以造成振动,如果其它一些参数,例如受力大小、干扰频率、系统刚性、阻尼特性、固有频率等不满足一定条件,振动便不会持续下去。此时的加工波纹仅仅是由于刀具的转动偏心引起。根据实验记录,此时波纹度较低,能达到 3 Lm 。

本文中使用的滚切刀杆在结构和精度上尚不十分理想,若经过进一步完善,有可能获得更好的加工质量。为便于今后改进刀具的设计,针对刀片直径、刃倾角方向、轴承结构等因素对表面波纹度的影响进行了研究。在大量观测数据的基础上,用直方图图6表达了实验结果。图中横轴表示波纹度值,纵轴表示观测频数。

由图6可见,刀片直径越小,所产生的波纹度越低。这是由于随着刀片直径的增大,平均主偏角减小,这将改变切削力的大小和方向,使得径向力(F_y)增大^[5]。这一分析在测力实验中得到证实,装有 $\text{A } 23 \text{ mm}$ 刀片的刀具所产生的切削力是装 $\text{A } 12.7 \text{ mm}$ 刀片的刀具的3倍。影响波纹度的另一个主要因素是轴承结构。滑动轴承刀具加工出的表面质量高于滚动轴承刀具。原因可能是滑动轴承的阻尼特性优于滚动轴承;同时滑动轴承结构较简单,产生误差的因素较少。从图6中还可看到,对于具有滑动轴承的刀具来说,轴承间隙越小,加工质量越好。

因此可以认为,装有小直径刀片、小间隙滑动轴承的SPRT,更容易产生较好的加工质量。

4 结论

(1) 所研制的CBN-SPRT采用了弹性卡头周边装卡的方式。为避免刀具工件干涉并驱动刀片转动,采用了可调的前角和刃倾角。

(2) 表面波纹度主要由刀具的转动偏心和振动造成,振动由强迫振动和自激振动组成。

(3) 过大或过小的前角都会加剧振动、加大波纹度。滚切转速过高过低也会使切削过程稳定性降低,加大波纹。对于装有滚动轴承和 $\text{A } 12.7$ 刀片的SPRT,当 $D = -12^\circ$, $E = -13^\circ$, $v = 256 \text{ m/min}$, $f = 0.14 \text{ mm/r}$ 时得到的波纹度最小。

(4) 装有小直径刀片、小间隙滑动轴承的SPRT,更容易产生较好的加工质量。

致谢 本项目还得到美国通用电气公司和太原重型机器厂资助。

参 考 文 献

- [1] 塞姆良斯基 V A, 鲁伯金 V. 高强度材料的自回转刀具加工[M]. 杨玉译. 北京: 国防工业出版社, 1983. 19~107.
- [2] Thomas R M, Lawson R L J. Application of a rotary cutting tool[A]. In: T opbias SA ed. Proc 17th Int MTDR Conf[C]. London: The Macmillan Press ltd, 1976. 125~131.
- [3] CHANG X, CHEN W Y, PANG X, et al. Selection of cutting regime for self-propelled rotary cutting tools[J]. Journal of Engineering Manufacture, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B, 1995, 209(1): 63~66.
- [4] 常兴, 顾祖端. 滚切端铣刀[P]. 实用新型专利, 87 2 15467. X. 1988-11-03.
- [5] CHEN W. The machining of hardened steel using

superhard CBN tooling and CBN tipped rotary cutting tools [D]. Birmingham: The University of Birmingham, UK, 1994.

- [6] CHEN W, CHANG X, ZHONG G, et al. High speed machining of hardened steel using CBN tipped rotary cutting tools [A]. In Li Ming ed. Proc 11th ICPR [C]. Beijing China Machine Press and New York: Taylor & Francis, 1991. 23~27.
- [7] Venuviod P. K. Analysis of rotary cutting tools [D]. Manchester: UMIST, UK, 1971.
- [8] British Standard Institution. BS1134: Method for the assessment of surface texture[S]. part (1): 1988.
- [9] 陈日曜. 金属切削原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989. 149~150.
- [10] 星铁太郎. 机械加工颤振的分析与对策[M]. 顾崇贤, 褚家麟, 陈人亨等译. 上海: 上海科学技术出版社, 1984. 4~54.
- [11] Tai T P, Yang Y C, Hwong Y C, et al. A new concept of

cutting marks formation in metal cutting vibration[A]. In: Tobias S A ed. Proc 20th Int MTDR Conf [C]. London: The Macmillan Press Ltd, 1979. 449~456.

作者简介:



陈五一 47岁, 教授, 在太原机械学院获硕士学位, 在英国伯明翰大学获博士学位。研究领域: 机械加工技术及新型工艺装备。发表论文 40 余篇。电话: (010)82317754, E-mail: wychen@manidns.buaa.edu.cn.



常 兴 60岁, 研究领域: 机械加工技术及新型工艺装备。发表论文 30 余篇, 参与编著《金属切削实用刀具技术》, 所研制的自滚切端铣刀获实用新型专利。电话: (0351)3350411。

第八届国际材料力学行为会议在加拿大举行

第八届国际材料力学行为会议于 1999 年 5 月 16 日~21 日在加拿大 Victoria 举行。有 26 个国家和地区的 250 名代表参加, 其中有北京航空材料研究院、中科院金属所、力学所、福州大学、西安大学的 12 名代表参加了会议。

本次会议论文共 211 篇, 其中大会报告 4 篇, 特邀报告 15 篇, 共分 12 个专题进行了交流, 各专题论文数目的排序为: 疲劳与断裂、复合材料、非线性分析、力学性能、试验技术、疲劳寿命预测、环境影响、损伤分析、薄膜与表面技术、蠕变—疲劳、连接技术以及智能材料。尽管本届会议受疲劳'99 会议的影响, 有关疲劳断裂相关的研究仍是材料力学行为研究的活跃领域。同时国外对疲劳寿命预测、环境影响等研究领域相当重视, 并取得了较大进展。在所涉及的材料中, 有关钛合金力学行为的研究较前几次会议有了较大幅度的增加。

在会议期间, 还举行了国际材料力学行为执委会议, 中科院院士颜鸣皋教授被聘任的第 3 位名誉主席, 也是国际上对我国材料力学行为研究领域所做工作的充分肯定。

执委会还决定于 2003 年在以色列举行第九届国际材料力学行为会议。

(陶春虎)