

高速切削刀具磨损表面形态研究

刘战强, 艾 兴

(山东大学 机械工程学院, 山东 济南 250061)

摘要: 对立方氮化硼刀具、陶瓷刀具、涂层刀具及超细晶粒硬质合金刀具高速铣削灰铸铁、调质 45[#] 钢和淬硬 45[#] 钢时的刀具磨损形态及其磨损机理进行观察和分析。结果表明: 在高速切削条件下, 不同刀具材料与工件材料匹配时的刀具磨损形态主要表现为前刀面磨损、后刀面磨损、微崩刃、剥落和破损等; 高速切削时刀具的前刀面磨损形态不同于常速切削时的磨损形态, 即磨损不表现为月牙洼的形式, 而是表现为切削刃处磨损最大的斜面磨损形式, 前刀面磨损区域随切削速度提高而减小, 但磨损深度增大。研究结果可用于指导高速切削刀具材料的设计、合理选用及刀具磨损控制。

关键词: 刀具; 高速切削; 磨损

中图分类号: TG506.1

文章标识码: A

文章编号: 1004-0595(2002)06-0468-04

切削加工是机械加工中应用最广泛的方法之一, 目前零件的最终成形仍以切削加工为主。高速切削可以大幅度提高生产效率, 单位时间内材料切除率提高 3~5 倍或更高, 加工表面质量可提高 1~2 级, 加工费用可降低 20%~50%。因此, 高速切削已成为切削加工发展的主要方向之一^[1~3]。与常速切削相比, 高速切削时刀具与工件的接触时间减少, 但接触频率增加, 切削过程中产生的热量更多地向刀具传递, 高速切削过程中的工件被加工表面与刀具的接触表面处于比常速切削更剧烈的高速、高温、高压环境中, 由于挤压、剪切滑移作用, 刀具磨损形态和磨损机理与常速切削时相比存在很大差别。刘有荣等^[4~6]考察了常速切削下各种刀具材料与工件材料匹配时的刀具摩擦磨损机理。但有关高速切削刀具磨损形态及磨损机理的研究, 尤其是断续铣削加工时刀具磨损的研究还很少。

本文作者通过高速铣削试验以及刀具磨损表面形貌的观察和分析, 揭示高速铣削时切削刀具的磨损形态及其形成机理, 旨在为高速切削刀具材料的设计、合理选用及刀具磨损控制提供实验依据。

1 实验部分

采用高速立式加工中心, 主轴可无级调速, 最高转速 10 000 r/min; 工件材料为普通灰铸铁(硬度

150HB) 及 45[#] 钢(调质, 硬度 35~40HRC; 淬火, 硬度 45~50HRC)。立方氮化硼(PCBN) 刀具 WCB50 为德国 Walter 公司产品; Al₂O₃ 基陶瓷刀具 LT55 和 SG4 为山东大学产品, NB90S 为日本 SUMITOMO ELECTRIC 公司产品; Si₃N₄ 基陶瓷刀具 NS260 为日本 SUMITOMO ELECTRIC 公司产品; 硬质合金基 TiC 涂层刀具 GC4030 为瑞典 SANDVIK 公司产品; 硬质合金基 TiC+Al₂O₃+TiN 涂层刀具 YB415 及超细晶粒硬质合金刀具 YS10 均为株洲硬质合金刀具有限公司产品。刀具几何参数以及切削条件参见表 1。切削方式为干切削, 刀具切削行程达到 150 mm 时(突然破损除外), 用工具显微镜进行刀具磨损表面形态的观察分析。

2 结果与讨论

2.1 前刀面磨损

图 1 给出了 YS10 刀具高速铣削 45[#] 调质钢时前刀面的磨损形态。可见: 与常速切削刀具出现的月牙洼磨损形态不同, 高速切削刀具的磨损区域与切削刃直接相连, 最大磨损部位位于切削刃处。同时还发现, 随着切削速度提高, 磨损区域减小, 但磨损深度增加。这是由于其磨损形态与常速切削的前刀面磨损形态不同, 高速切削时切削温度很高(可达 800~1 000 甚至更高), 导致粘结、扩散和氧化磨损加剧, 而且刀

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50105012); 教育部留学回国人员科研基金资助项目(中博基 2000-23)。

收稿日期: 2002-01-28; 修回日期: 2002-05-17/联系人刘战强, E-mail: melius@sdu.edu.cn

作者简介: 刘战强, 男, 1969 年生, 博士, 副教授, 目前主要从事高速切削的研究。

表 1 刀具参数及切削条件

Cutting conditions	Parameters
Cutter diameter ϕ /mm	100
Approach angle/($^{\circ}$)	75
Axial angle/($^{\circ}$)	- 5 (Ceramic, PCBN) 0 (Coated carbide, Carbide)
Radial angle/($^{\circ}$)	- 7 (Ceramic, PCBN) 7 $^{\circ}$ (Coated carbide, Carbide)
Feed per tooth /mm \cdot z $^{-1}$	0.1
Radial depth of cut/mm	5
Axial depth of cut/mm	0.5
Cutting speed/m \cdot min $^{-1}$	1100

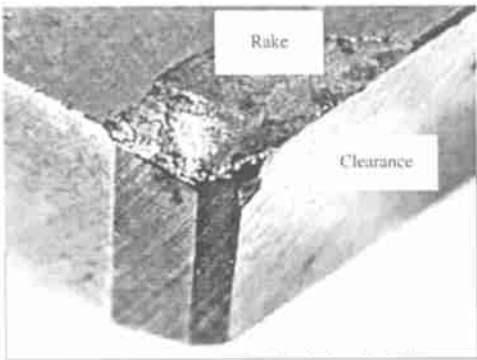


Fig 1 Rake face wear of YS10 in cutting 45# tempered steel
图 1 刀具 YS10 切削 45# 调质钢时的前刀面磨损形态

具的高温区域接近切削刃^[7]；另外，高速切削时刀-屑接触长度很短，切削力集中在切削刃附近，使得受热软化的切削刃发生变形和塌陷，导致前刀面磨损^[8]。鉴于本文试验采用断续切削方式，冲击力的影响也不可忽视，因此，高速切削时刀具前刀面磨损表现出机械磨损和化学磨损的综合特征，这就要求高速切削刀具材料具有优良的耐热性、耐磨性及化学稳定性。陶瓷刀具 LT55、SG4、NB90S 和 NS260 在同样条件下高速切削 45# 调质钢时也出现了同图 1 相似的前刀面磨损形态，但由于陶瓷刀具的耐热性、耐磨性和化学稳定性优于硬质合金刀具，故其前刀面磨损区域和磨损深度都比硬质合金刀具的小。

2.2 后刀面磨损

由于加工表面和刀具后刀面之间存在着强烈的摩擦，高速切削加工时在后刀面上毗邻切削刃处出现后刀面磨损。后刀面磨损是高速切削刀具最常见的磨损。图 2 示出了涂层刀具 YB415 高速切削 45# 淬硬钢时后刀面的磨损形态。可见，在高速切削条件下，刀具的后刀面磨损形态呈现出与常速切削相似的较均匀的带状，但位置较靠近刀尖部位，出现这种后刀面磨

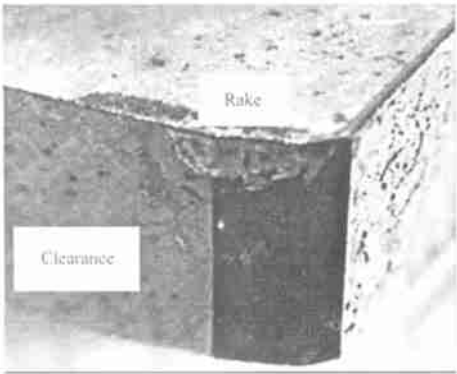


Fig 2 Flank wear of YB415 in cutting 45# hardened steel
图 2 刀具 YB415 切削 45# 淬硬钢时的后刀面磨损形态

损形态的主要原因是高速切削时刀具的高温区域接近切削刃且高速切削时刀-屑接触长度很短，切削力集中在切削刃附近。

2.3 剥落和裂纹

高速铣削时，刀具快速切入和离开被加工件，被加工区域所载荷突然增加和消失，刀具所受到的拉应力和压应力迅速交替，造成刀-屑或刀-工件接触区的接触疲劳；另外，高速切削时温度很高，易产生平行于切削刃方向的热应力，而刀具离开被加工件时热应力释放，刀具不断切入、切出，造成热应力疲劳。接触疲劳与热应力疲劳都会引起裂纹，使刀具前、后刀面发生剥落^[9]。当剥落很轻微时，可将其视作磨损，但在很多情况下，由于裂纹源位于距刀具表面一定深度处，裂纹扩展后所形成的剥落块往往大于刀具磨损限度，一旦剥落，即造成刀具剥落破损失效。陶瓷刀具端铣钢和铸铁时，在前刀面上常出现贝壳状剥落。由于涂层材料与基体材料结合强度不够高，涂层刀具也易发生剥落（如图 3），这就要求涂层刀具具有较高的抗

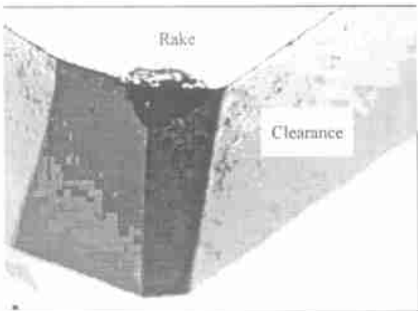


Fig 3 Fracture of tool GC4030 in cutting cast iron
图 3 刀具 GC4030 切削铸铁时的剥落

涂层破裂能力

2.4 微崩刃

微崩刃是在切削刃上产生的小缺口，常在断续高

速切削过程中发生。通常刀具微崩刃大小在磨损限度以内时, 刀具仍可继续使用。图4给出了LT55陶瓷

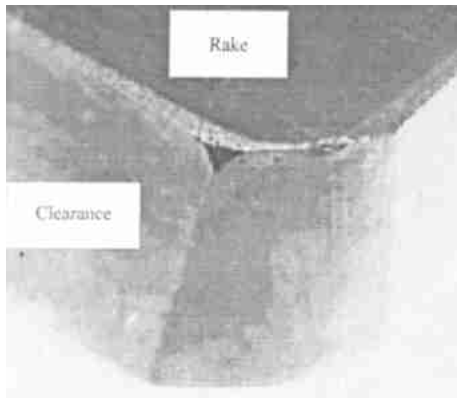


Fig 4 Chipping of tool LT55 in cutting cast iron

图4 刀具LT55切削铸铁时的微崩刃

刀具高速铣削铸铁时发生的微崩刃。减小进给量, 改变刀具主偏角以增加稳定性, 以及选择韧性好的刀具材料都可减小微崩刃出现的概率。涂层刀具高速切削时也常出现微崩刃, 这主要是由于高速切削时温度较高, 涂层与基体的结合强度减弱所致^[10]。

2.5 破损

刀具材料或切削用量选择不当, 刀具经受不住强大应力(切削载荷或热应力)作用, 就可能发生突然破损。PCBN刀具适合加工硬度在45HRC以上的淬硬钢、耐磨铸铁、35HRC以上的耐热合金以及30HRC以下的珠光体灰口铸铁; 用PCBN刀具切削45#调质钢工件(硬度<40HRC)时刀具会发生突然的破损(如图5所示)。脆性刀具材料如陶瓷刀具在高速断续切

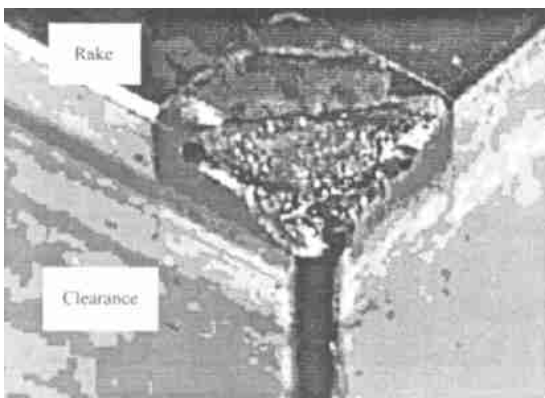


Fig 5 Breakage of tool WC50 in cutting

45# tempered steel

图5 刀具WC50切削45#调质钢时的破损

削或高速重切削条件下的切入、切出过程中还会发生刀头碎断, 即刀尖连同主副切削刃碎断(俗称打刀)。以LT55陶瓷刀具为例, 其铣削45#淬硬钢且为正前

角时, 在靠近前刀面的刀楔内引起拉应力, 由于刀具脆性较大、抗拉强度较低, 就会发生上述突然破损。

3 结论

a 高速切削刀具损坏的形态主要表现为前刀面磨损、后刀面磨损、微崩刃、剥落及破损等。

b 高速切削时刀具的前刀面磨损形态不同于常速切削时的磨损形态, 即其不是表现为月牙洼磨损形式, 而是表现出切削刃处磨损最大的斜面磨损形式; 前刀面磨损区域随切削速度提高而减小, 但磨损深度增大。

参考文献:

- [1] Schulz H. High-speed machining [J]. Annals of the CIRP, 1992, 41 (2): 637-642.
- [2] Smith S, Tlustý J. Current trends in high-speed machining [J]. Transactions of the ASME, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1997, 119: 664-666.
- [3] Ashley S. High speed machining goes mainstream [J]. Mechanical Engineering, 1995, 5: 56-61.
- [4] Liu Y R (刘有荣), Liu J J (刘家浚), Zhu B L (朱宝亮). Wear Performance and Mechanism of SiN₄ Composite Ceramic Cutting Tool (SiN₄基陶瓷刀具的摩擦磨损规律与机理分析) [J]. Tribology (摩擦学学报), 1997, 17(2): 105-114.
- [5] Deng J X (邓建新), Ai X (艾兴). Wear and Lubrication of Ceramic Cutting Tools (陶瓷刀具切削加工时的磨损与润滑) [J]. Tool Engineering (工具技术), 2001, 35(5): 3-6.
- [6] Jahanmir S. Tribology issues in machining [J]. Machining Science and Technology, 1998, 2 (1): 137-154.
- [7] Liu Z Q (刘战强), Ai X (艾兴). Investigation of Wear Lifespan of Cutting Tools in High Speed Machining (高速切削刀具磨损寿命的研究) [J]. Tool Engineering (工具技术), 2001, 35(12): 3-7.
- [8] Tian Pingzhuang (田平庄). Study on the mechanism of high speed machining (高速切削机理研究) [D]. Xi'an (西安): Northwestern University of Technology (西北工业大学), 1991.
- [9] Ai Xing (艾兴), Xiao Hong (萧虹). Cutting with Ceramic Cutting Tools (陶瓷刀具切削加工) [M]. Beijing (北京): Mechanical Industry Press (机械工业出版社), 1988.
- [10] Ezugwu E O, Okeke C I. Tool life and wear mechanisms of TiN coated tools in an intermittent cutting operation [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 116 (1): 10-15.

Wear Characteristics of Cutting Tools in High Speed Machining

L U Zhan-qiang, A I Xing

(School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: The wear characteristics of PCBN tool, ceramic tool, coated carbide tool, and ultra fine grain carbide tool in high speed face milling of cast iron, A ISI-1045 tempered carbon steel, and A ISI-1045 hardened carbon steel were examined with a tool-making microscope. The results showed that the cutting tools had different wear modes with varying material pairs of the cutting tool and workpiece. The dominant wear patterns of the cutting tools included rake face wear, flank wear, micro-chipping, fracture, and breakage. The rake face wear of the cutting tools in high speed machining was different from that in conventional speed machining. Namely, the rake face was not characterized by crater wear but by slope-plane wear with the maximum wear at the cutting edge, while the worn area of the rake face decreased with increasing cutting speed and the wear depth increased correspondingly. The results might be helpful to guiding the design and selection of tool materials and control of tool wear in high-speed machining processes.

Key words: cutting tool; high speed machining; wear

Author: L U Zhan-qiang, male, born in 1969, Ph. D., Associate Professor, E-mail: melius@sdu.edu.cn

www.cnki.net