用 CBN 刀具高速切削灰铸铁的试验研究[1)]

陈五一 (北京航空航天大学 制造工程系)
D. K. Aspinwall (英国伯明翰大学)

摘 要 研究了 CBN 刀具高速切削灰铸铁时的刀具前、后刀面磨损、耐用度以及富氧气氛对切削性能的影响,所用的灰铸铁具有不同的铁素体、珠光体比例,最高切削速度达 1 100 m/min. 研究表明 Amborite 刀具的刀尖磨损略大于 BZN6000 刀具,在较低速度下加工以铁素体为主的灰铸铁时更容易发生月牙洼磨损;BZN6000 刀具以 700 m/min 的切削速度加工铁素体含量较高的灰铸铁时耐用度较高,Amborite 刀具的耐用度随切削速度而升高;在富氧气氛中切削可以减轻刀具磨损,这一效果对 BZN6000 刀具更为显著. 文章中对这些现象的原因进行了讨论.

关键词 立方氮化硼刀具; 切削试验; 磨损; 铸铁
分类号 TG 506

灰铸铁是应用极为广泛的工程材料,虽然一般不列为难加工材料,但铸件上的硬质点、气孔、表皮激冷层、夹砂等确实给加工过程带来一些问题,加快了刀具的磨损或造成刀具破损. 在流水线上大批量加工铸件时,刀具的破损或快速磨损会打乱流水线的工作节拍,降低生产效率;大型铸件表面精加工时,中途换刀会影响加工质量. 由于铸铁件的使用量极大,加工成本的降低或效率的提高,均能带来相当可观的经济效益. 因而人们便企盼用更好的刀具材料来加工灰铸铁,以降低加工成本或提高加工效率. CBN 是硬度仅次于金刚石的超硬刀具材料,适宜于加工淬火钢等高硬度难加工材料. 有人曾尝试用 CBN 刀具加工灰铸铁,也得到了很好的效果[1~3],但发现只有用 500 m/min以上的切削速度加工以珠光体为主的灰铸铁时,CBN 刀具才具有良好的切削性能. 铁素体含量过高时不宜用 CBN 刀具加工[4]. 本文采用不同的 CBN 刀具对不同珠光体/铁素体比例的灰铸铁进行了切削试验,并对刀具的磨损、耐用度以及在富氧气氛中的切削性能进行了探讨.

1 试验条件

试验中使用了 BZN6000 和 Amborite 两种 CBN 刀具,其 CBN 硬质相含量均达 90~ 95%. 前者晶粒尺寸平均为 3 μm,粘结相为金属(Co),刀片形式为复合 CBN 刀片,即 CBN 层与硬质合金基底烧结在一起;后者晶粒尺寸平均为 10 μm,粘结相为陶瓷(AlN+ AlB_2),刀片形式为整体 CBN 刀片. 刀具的几何参数为 $\gamma_o = 7°$, $\alpha_o = 7°$, $\kappa_r = 45°$, $\lambda = -5°$, $r_\varepsilon = 1.6$ mm, Amborite 刀具负倒棱为 $-20° \times 0.2$ mm, BZN6000 刀具负倒棱为 $-10° \times 0.3$ mm. 工件材料是牌号为 GC275(BS1452 1977)的灰铸铁,试件尺寸为 ϕ260 mm × 1 000 mm,是连续铸造的铸铁棒. 铸造后采用了不同的热处理方式以产生不同的珠光体/铁素体比例,其材质及硬度见表 1. 表中的珠光体、铁素体含量是根据工件材料的金相试样在 AMS-System III 型图象扫描分析仪下所显示出的珠光体、铁素体的面积来计算的. 限于条件,Amborite 刀具只在 P85 工件材料上进行了试验. 试验中用了三种切削速度,分别为 400, 700, 1 100 m/min. 进给量和切削深度固定不变,分别为 0.25 mm/r 和 2 mm. 刀具耐用度试验依照 ISO 3685: 1993(E)[5] 进行,即测量后刀面磨损来判断耐用度,磨钝标准为 0.3 mm. 刀具磨损用 Olympus 摄影体视显微镜测量、拍照. 前刀面月牙洼轮廓用 Talysurf 表面轮廓仪测量,测量平面为垂直于主切削刃的横截面(图 1). 全部试验均为干切

表 1 灰铸铁试件材质及硬度

试件代号	珠光体/%	铁素体/%	硬度/HB
P10	10	70	110~ 130
P25	25	55~ 60	110~ 140
P85	83~ 85	< 2	200~ 240

收稿日期: 1997-10-10 第一作者 男 46 岁 副教授 100083 北京
1) 美国通用电气公司资助项目

削. 部分试验在富氧气氛中进行, 靠固定在刀台上的焊炬向刀尖吹送纯氧来形成富氧气氛.

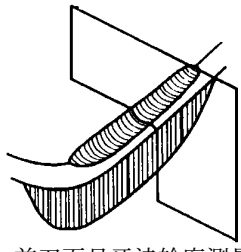
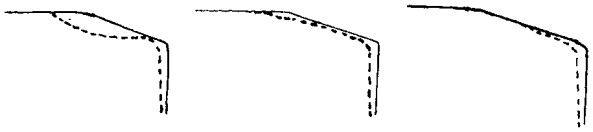


图 1　前刀面月牙洼轮廓测量平面

2　试验结果及讨论

2.1　刀具磨损

刀具磨损区的外观及横截面形貌见图 2~ 5. 由图可见, BZN6000 刀具的整个磨损带磨损均匀, 未出现剧烈的刀尖磨损; Amborite 刀具在较高的切削速度下, 刀尖磨损程度大于磨损带平均值. 一般情况下, 刀尖处产生较大的磨损是由于刀尖部分热容量小、受力状况恶劣, 从而使得该处温度高、应力大所致. 从这一意义上说, 刀尖圆弧半径越小、刀具材料的导热性越差, 刀尖磨损也就越为剧烈. 本文中所用的刀具具有较大的刀尖圆弧半径(1.6 mm) , 改善了刀尖的受热、受力状况, 减轻了刀尖磨损. 但由于陶瓷结合剂的 Amborite 刀具比金属结合剂的 BZN6000 刀具具有更低的导热系数[6], 所以在刀刃附近前者的温度梯度大于后者, 刀尖温度更加明显的高于刀刃的其它部位, 故刀尖磨损也比刀刃其它部位的磨损略有增大.



(a) v = 400 m/ min　(b) v = 700 m/ min　(c) v = 1 100 m/ min

图 2　BZN6000 刀具加工 P10 工件后磨损形貌

由图 2~ 5 中磨损带横截面形貌可见, 在加工铁素体含量较高的工件时, 前刀面上往往形成月牙洼磨损. 一般情况下, 月牙洼主要是由刀具材料的扩散磨损造成, 产生元素扩散的根本原因是元素的浓度差; 而影响扩散磨损的主要因素是工件材料和刀具材料的“相容性” (compatibility) [7]. 可以用刀具材料的元素在工件材料中的扩散系数(diffusion coefficient) 来衡量扩散发生的难易程度. 在构成铁素体的α- Fe中, N 的扩散系数为 1.80 × 10^{-6} cm^2/s, 甚至大于 C 在 α- Fe 中的扩散系数(1.14 × 10^{-6} cm^2/s) [8]. N 是 CBN 材料中的主要元素之一, 因此 CBN 刀具加工铁素体含量较高的工件时便容易发生扩散磨损, 从而形成月牙洼.



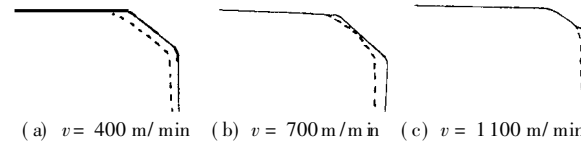
(a) v = 400 m/ min　(b) v = 700 m/ min　(c) v = 1 100 m/ min

图 3　BZN6000 刀具加工 P25 工件后磨损形貌



(a) v = 400 m/ min　(b) v = 700 m/ min　(c) v = 1 100 m/ min

图 4　BZN6000 刀具加工 P85 工件后磨损形貌

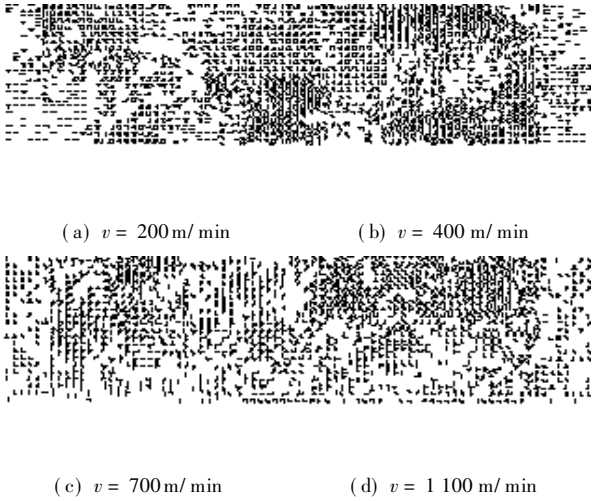


(a) v = 400 m/ min　(b) v = 700 m/ min　(c) v = 1 100 m/ min

图 5　Amborite 刀具加工 P85 工件后磨损形貌

Trent 指出[7], 扩散磨损容易在较高的切削速度下发生, 因为高速下才能产生足够高的温度, 促使刀具材料的原子向工件材料中扩散. 而从图 2~ 5 中可见, 速度越高却越不容易发生月牙洼磨损. 这一现象试解释如下, 图 6 所示为不同切削速度下切屑的形态. 可见低速下产生的切屑较长. 切削速度越高, 切屑也越为细碎. 当切屑较长时, 刀具和切屑的接触面较长, 此时由于工件材料滞流层或积屑瘤的作用, 前刀面和切屑的摩擦并未发生在刀刃上, 而是发生在离开刀刃一定距离的前刀面上[7]. 致使前刀面上这一部位的温度高于刀刃的温度[8], 磨损强度也大于刀刃处的磨损强度, 从而形成了月牙洼. 当切削速度升高时, 切屑变得越来越短, 一经切下便崩碎飞出, 没有与前刀面远离刀刃的部位发生连续摩擦. 此时即便元素的浓度差、材料的相容性、较高的切削温度等均给

扩散磨损创造了必要的条件,但由于刀具和工件之间的摩擦不够强烈,磨损强度也就不会很大,所以提高切削速度反而减轻了月牙洼磨损.



(a) v = 200 m/min (b) v = 400 m/min

(c) v = 700 m/min (d) v = 1 100 m/min

图 6 切屑形态随切削速度的变化

2.2 刀具耐用度

刀具耐用度试验结果见图 7. 由图可见,BZN6000 刀具加工高珠光体含量的灰铸铁并未体现出明显的优越性;反倒是加工高铁素体含量的灰铸铁时,在切削速度为 700 m/min 左右时达到较高的耐用度. 这一现象与文献[4]中的论述恰恰相反,其原因还有待于进一步探讨. 由图可见,在小于 1 100 m/min 的切削速度范围内,提高切削速度可使 Amborite 刀具耐用度延长. 两种刀具在加工 P85 工件材料时在高速下显示出较大的耐用度差异,其原因应归结于两种刀具的几何参数差异和材质差异. Amborite 刀具的负倒棱角度是 BZN6000 刀具的 2 倍,使得前者的刃部强度高于后者;同时 Amborite 刀具的粘结相为陶瓷,这使它的化学稳定性和抗热磨损能力高于金属粘结相的 BZN6000 刀具.

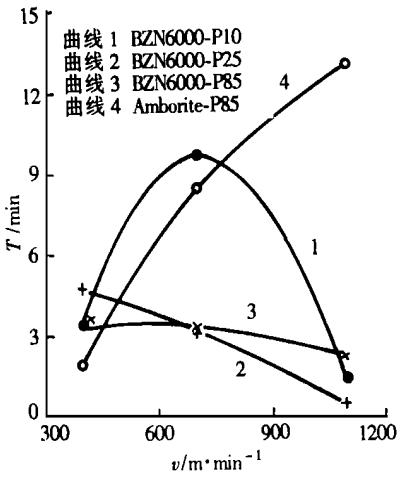


图 7 切削速度 v 对刀具耐用度 T 的影响

当切削速度提高到 1 100 m/min 时刀具耐用度仍然越来越长,在这种情况下刀具磨损已经不是提高加工效率的障碍,其它一些问题成为主要矛盾. 例如用 1 100 m/min 的速度切削时,每分钟产生约 4 kg 切屑;炙热的铸铁碎屑高速射向数米高的屋顶,并散落在方圆十几米的范围内. 此时操作者的防护、生产安全、切屑处理等问题变得更为重要.

2.3 富氧气氛中的切削性能

两种 CBN 刀具在空气和氧气中切削时的磨损曲线如图 8 所示. 可见在富氧气氛中切削时,当刀具磨损到一定程度后,磨损带宽度的增长变得十分缓慢. 对于 BZN6000 刀具,这一效果更为明显. 这说明加氧切削可以延长 CBN 刀具加工灰铸铁时的耐用度. 这一现象证实了文献[9]中的结果,并具有显而易见的实用价值.

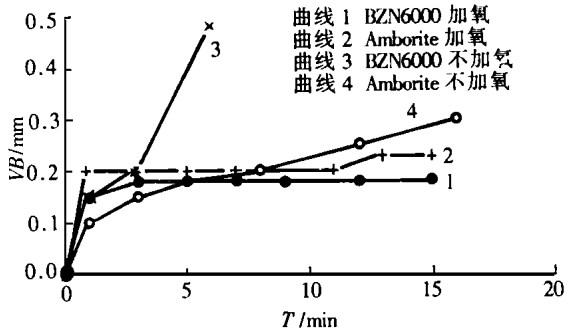


图 8 富氧气氛和切削时间 t 对刀具后刀面磨损 VB 的影响

切削气氛对 CBN 刀具切削性能的影响较为复杂. Trent[7] 认为氧在切削过程中可以起到润滑剂的作用,在刀具和工件新生表面所形成的氧化膜可以缩小刀具-工件结合面的粘结区. 但氧化膜对不同磨损机理所起的作用是不同的. 当刀具以粘结磨损为主时,缩小刀具-工件结合面的粘结区可以减轻磨损强度;当刀具以扩散磨损为主时,氧化膜成为扩散的屏障,也可以减轻磨损;当刀具以磨料磨损为主时,由于氧化膜的润滑作用,抑制了工件材料在刀具表面的滞留和粘结,使滑动区扩大,发生磨料磨损的可能性随之增大. 实际切削过程中,磨损的机理会相当复杂,几种磨损可能同时发生. 在此情况下,最终结果取决于几种磨损的综合效果. 本文中所用的两种刀具在富氧气氛中切削时均减轻了磨损,说明发生磨料磨损的可能性不大;粘结磨损一般在低速切削时较为显著,往往是由不稳定的积屑瘤频繁脱落造成[7],[10],而图 8

所用的切削速度较高, 在磨损区基本看不到积屑瘤(图 2~ 5). 从这些事实中可以推断, 后刀面也是以扩散磨损为主. 金属粘结相的刀具抵抗扩散磨损的能力相对较弱, 所以氧化膜屏障对 BZN6000 刀具的效果更为明显.

3 结 论

1) BZN6000 刀具的磨损带均匀, 而 Amborite 刀具的刀尖磨损略有增大. 这是由于后者的导热性较差, 刀尖温度高所致.

2) 低速加工铁素体含量较高的工件时, 前刀面上容易形成月牙洼磨损, 其原因主要是由刀具材料的扩散磨损造成. 由于 N 在 α-Fe 中的扩散系数较大, 所以刀具以扩散磨损为主. 切削速度升高时切屑变得细碎, 不容易在前刀面上形成月牙洼.

3) BZN6000 刀具加工高铁素体含量的灰铸铁时, 在切削速度为 700 m/ min 左右时达到较高的耐用度, Amborite 刀具加工高珠光体含量的灰铸铁时, 在低于 1 100 m/ min 的范围内切削速度越高刀具耐用度越长.

4) 由于在富氧气氛中形成的氧化膜成为扩散的屏障, 两种刀具在富氧气氛中以较高的速度切削时均减轻了磨损, 但使用 BZN6000 刀具时效果更为明显.

参 考 文 献

1 Ballinger B R. CBN inserts bore soft cast iron. American Machinist, Oct, 1985: 90~ 91

2 Haldin O, Kartunen A, Prub P. Finishing grey cast iron with DBC 80. Industrial Diamond Review, 1993, (4): 187~ 189

3 Prokop J. Finish machining of bores in grey cast iron. Industrial Diamond Review, 1982, 42 (488): 26~ 28

4 Heath P J. Properties and uses of Amborite. Industrial Diamond Review, 1986, 46 (514): 120~ 127

5 International Organization for Standardization. Tool- life testing with single point turning tools. ISO 3685: 1993(E), 1993

6 Chen W. The machining of hardened steel using superhard CBN tooling and CBN tipped rotary cutting tools: [dissertation]. England: Univ of Birmingham, 1993

7 Trent E M. Metal cutting. 2nd ed. London: Butterworths & Co (Publishers) Ltd, 1984

8 Dearnly P A. A metallurgical evaluation of tool wear and chip formation when machining pearlite grey cast irons with dissimilar graphite morphologies. Wear, 1985, 101: 33~ 68

9 Robinson P H. Machinability tests on grey cast iron using CBN, whisker- reinforced ceramics and an oxygen rich atmosphere: [dissertation]. England: Univ of Birmingham, 1988

10 周泽华. 金属切削原理. 上海: 上海科技出版社, 1984

High Speed Machining of Grey Cast Iron Using CBN Tools

Chen Wuyi

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Dept. of Manufacturing Engineering)

D. K. Aspinwall

(The University of Birmingham, England)

Abstract The cutting performance of CBN tools when machining grey cast iron with different pearlite/ ferrite ratio at high cutting speed up to 1100 m/ min was investigated concerning tool flank and crater wear, tool life and the influence of oxygen rich atmosphere. It was found that nose wear of Amborite was slightly greater than that of BZN6000 and craters were more likely to occur on the tools machining high ferrite iron at low cutting speed. BZN6000 achieved longest tool life at the cutting speed of 700 m/ min when machining workpieces with high ferrite content, while the tool life of Amborite increased consistently with the increase of cutting speed when machining high pearlite cast iron. Cutting in the oxygen rich atmosphere could reduce tool wear and the effect was more significant with BZN6000 tools. The explanations for the phenomena were discussed.

Key words cubic boron nitride cutting tools; cutting tests; wear; cast iron