

金属陶瓷螺旋立铣刀槽型优选及应用研究

王羽中,尹兵,倪高明

株洲钻石切削刀具股份有限公司

摘要: 通过 NAK80 模具钢的铣削试验,运用全面试验方法研究金属陶瓷螺旋立铣刀螺旋角和径向前角对切削性能的影响,优化了其结构参数,对比研究了涂层和非涂层金属陶瓷立铣刀切削性能、涂层金属陶瓷立铣刀在气冷和水冷条件下切削性能。利用扫描电镜(SEM)、X射线能谱仪(EDS)对主切削刃进行观察,研究了两种刀片的磨损形态及磨损机理。试验结果表明:优选金属陶瓷螺旋立铣刀螺旋角为 45° ,径向前角为 0° ;非涂层金属陶瓷螺旋立铣刀不适合加工P类材料,AlTiN涂层金属陶瓷螺旋立铣刀加工P类材料时磨损形式为粘结磨损和化学磨损;气冷有利于减小刀具磨损,延长刀具寿命;水冷有利于提高零件表面质量,表面粗糙度值可稳定在 $R_a 0.05$ 以下,但因热冲击作用,其金属陶瓷基体易出现热裂纹,导致出现刀具微崩和涂层不规则脱落现象。

关键词: 金属陶瓷;立铣刀;螺旋;磨损

中图分类号: TG148;TG714;TH162 **文献标志码:** A **DOI:**10.3969/j.issn.1000-7008.2019.09.014

Study on Groove Selection and Application of Cermet Spiral End Mill

Wang Yuzhong, Yin Bing, Ni Gaoming

Abstract: Through the milling experiments of NAK80 die steel, the influence of helix angle and radial rake angle of cermet spiral end mills on cutting performance is studied by comprehensive experimental method to optimize its structural parameters. The cutting performance is compared between coated and uncoated cermet spiral end mills for study, as well as the cutting performance of coated cermet end mills under air cooling and water coolant conditions is compared and studied also. The main cutting edge is observed by scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive X-ray spectrometers (EDS), and the wear appearance and wear mechanism are analyzed. The results show that optimized spiral angle of cermet spiral end mill should be 45° and radial rake angle should be 0° , the uncoated cermet spiral end mill is not suitable for processing P-type materials. The wear of cermet spiral end mill with AlTiN-coated contains adhesive wear and chemical wear when machining P-type materials. In addition, air cooling is conducive to reducing tool wear and increasing tool life, while water cooling is helpful to improving the surface quality of parts, and the surface roughness can be stabilized below $R_a 0.05$. However, due to the impact of thermal shock, the cermet matrix is prone to hot crack, which will result in a micro fracture of the tool and irregular shedding of the coating.

Keywords: cermet; end mill; spiral; wear

1 引言

金属陶瓷是以Ti(C,N)为主硬质相,Ni、Mo为粘结相,并含有少量其他碳化物的材料^[1]。Ti(C,N)基金属陶瓷材料具有较高的红硬性、耐磨性以及较好的抗氧化能力,是用来制作高速高效切削刀具的理想材料^[2]。

目前金属陶瓷材料主要用于可转位刀片的研制和生产。黄国权^[3]分析了金属陶瓷可转位铣刀的角度选择,通过切削试验表明研制的金属陶瓷可转位铣刀的耐用度高,加工工件的表面粗糙度可达 $R_a 0.8$ 。此外,通过对高速切削金属陶瓷可转位铣刀刀片力学特性进行分析,创建了金属陶瓷可转位刀

片复杂结构的三维实体模型,建立了金属陶瓷可转位刀片的有限元模型,进行了位移场和应力场分析,对高速切削过程中的力学特性进行深入研究^[4]。李伟^[5]利用金属陶瓷制得CNMA120408刀片,利用切削试验得到了不同前角下刀片磨损曲线。

国内外关于研制金属陶瓷立铣刀相关报道较少。蒋修治^[6]报道了日本日立工具公司开发出的Maxi金属陶瓷立铣刀具有高速钢和硬质合金立铣刀所不具备的许多优点,其寿命长、加工表面粗糙度好,最适合加工玻璃模具和橡胶模具的薄钢板,但因为材料亲和和化学磨损的原因,不适合加工石墨、钛合金和纯铝。陈荣德^[7]对金属陶瓷整体铣刀适用性进行了切削试验,利用厦门金鹭开发的GN494、GN491和GN421金属陶瓷棒材制作整体立铣刀,对常用材料进行了切削试验,结果表明,金属陶瓷抗冲

击韧性不如硬质合金,而耐磨性显著优于硬质合金,且针对不同材料存在不同的加工特性,适用于低碳钢、中碳钢、不锈钢和铝合金,不适用于铸铁、石墨、碳纤维、钛合金和镍基高温合金。徐开涛^[8]开发了多种规则刃形金属陶瓷微细铣刀和螺旋刃形金属陶瓷微细立铣刀,并对其切削性能进行了试验研究。

综上所述,关于金属陶瓷立铣刀的相关信息并不完整。文献[6]并没有介绍 Max1 具体槽型,文献[7]也没有介绍试验用铣刀具体槽型,文献[8]研究的是微细铣刀,对于常规直径范围并未涉足。因此,本文针对金属陶瓷螺旋立铣刀的槽型优选及应用进行了研究。

2 金属陶瓷立铣刀槽型设计

立铣刀槽型参数包括芯厚、螺旋角、径向前角、后角等,其中对刀具切削性能影响最大的因素是螺旋角和径向前角。由于针对金属陶瓷立铣刀相关理论研究和仿真技术相对匮乏,因此本文采用全面试验方法进行研究。螺旋角参考硬质合金螺旋立铣刀常用角度取 30°和 45°两种,考虑到金属陶瓷韧性较硬质合金材料差,径向前角较硬质合金铣刀取较小值,选取 5°和 0°,试验方案见表 1。

表 1 试验方案 (°)

方案	螺旋角	径向前角
1	45	0
2	30	0
3	45	5
4	30	5

按照硬质合金标准进行立铣刀设计和制造,其余参数见表 2,随后进行切削试验。试验工件材料为 NAK80, 28 ~ 32HRC, 机床为进口 MIKRON HSM800 五轴加工中心,采用顺铣加工方式,冷却方式为气冷,切削参数见表 3。

表 2 其他结构参数 (°)

端齿前角	端齿第一后角	端齿第二后角	径向后角
5	7	19	9

表 3 切削参数

线速度 v_c (m/min)	每齿进给量 f_z (mm/z)	切削深度 a_p (mm)	切削宽度 a_e (mm)
250	0.05	6	0.3

试验以 15min 为一个测量周期,刀具每切削 15min 后取出,使用基恩士 KEYENCE VK-X200 激光扫描显微镜测量 4 个齿的后刀面磨损量 VB ,取平均值,绘制出相应磨损曲线见图 1。需要注意的是,

2#、4#方案加工 60min 时,后刀面磨损量过大,为防止刀具突然折断,停止测试;3#方案加工至 45min 时,刀具严重崩缺,停止测试。

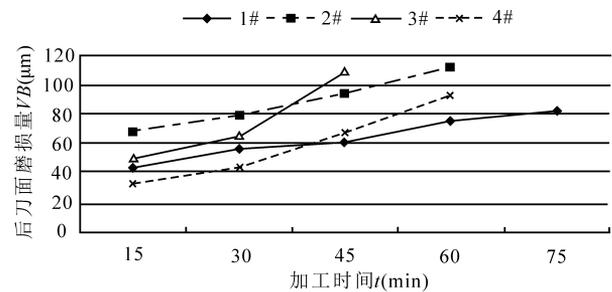


图 1 各方案磨损曲线

各方案刀具测试结束后,磨损形貌见图 2。从试验结果可以看出,1#方案表现最好,磨损值小且稳定;4#方案表现次之,2#和 3#方案表现较差。主要体现在试验过程中,2#方案磨损值一直较大,3#方案则出现刃口崩缺。说明针对金属陶瓷材料特性,螺旋角宜取较大值,保证立铣刀锋利性;径向前角宜取较小值,保证刃口强度。

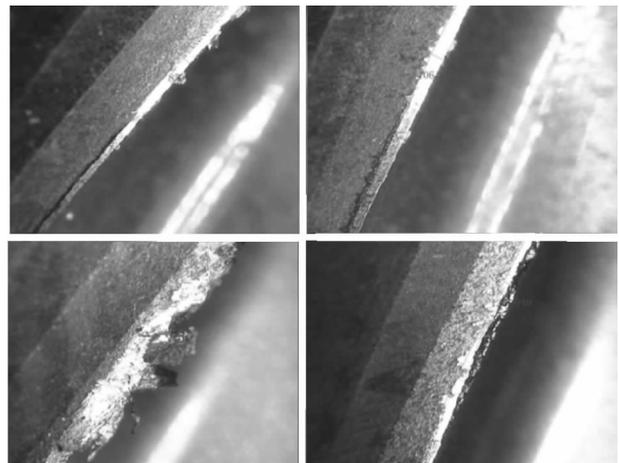


图 2 测试刀具磨损形貌

3 金属陶瓷立铣刀应用分析

为验证开发的金属陶瓷螺旋立铣刀切削性能,掌握其应用场合及失效形式,进行了两轮对比切削试验。

3.1 涂层与非涂层金属陶瓷螺旋立铣刀对比

按方案 1 重新制作试验刀具,其中 1 支进行 Al-TiN 涂层,另 1 支无涂层进行对比切削试验。试验设备及参数见表 2,每隔 30min 测量后刀面磨损值,磨损曲线见图 3。

如图 3 所示,未涂层金属陶瓷铣刀耐磨性远不如涂层金属陶瓷铣刀。涂层金属陶瓷铣刀扫描电镜见图 4。

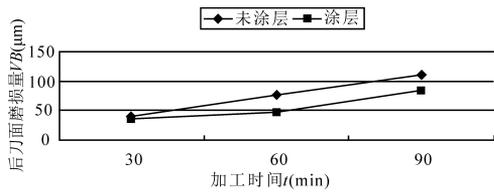


图3 涂层/未涂层对比试验

图4显示了金属陶瓷立铣刀刀口呈现均匀一致磨损,但伴有崩缺。为进一步研究其磨损机理,对刀口区域进行能谱分析(见图5和图6)。

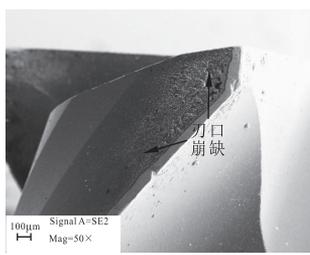


图4 涂层金属陶瓷铣刀刀口电镜形貌

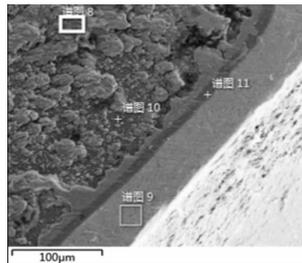
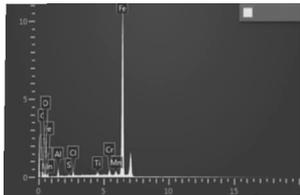
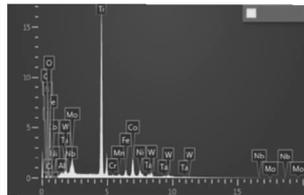


图5 主切削刃放大



(a) 能谱图8



(b) 能谱图9

图6 能谱图8和9

如图6a所示,主要元素为Fe元素,结合其在刀口位置,判定此处为粘附在立铣刀后刀面的铁屑;如图6b所示,含有大量Ti元素,其次为O元素,结合其位置,说明该处已暴露出Ti(C,N)基金属陶瓷基体,并在切削热的作用下伴有氧化现象。对刀口区域进行进一步放大和能谱分析(见图7和图8)。

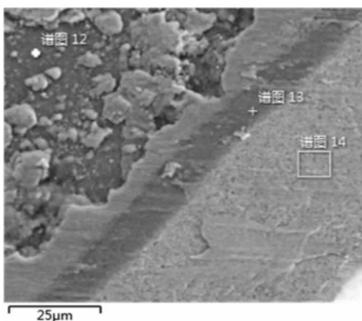
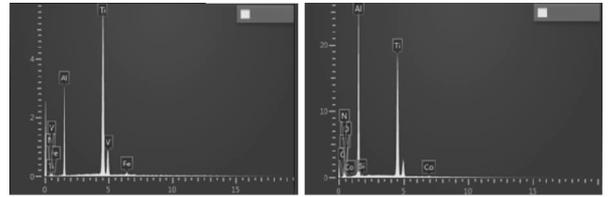


图7 主切削刃放大

图8显示了存在大量Al和Ti元素,说明两处均为TiAlN涂层,并且图8b中Al元素比例相对较少,说明随着切削的进行,涂层逐渐被磨损,Al元素不断流失。综合来看,金属陶瓷涂层立铣刀加工P

类材料时,磨损形式以粘结磨损和化学磨损为主,几乎无机械磨损。



(a) 能谱图12

(b) 能谱图13

图8 能谱图12和13

未涂层金属陶瓷立铣刀刀口形貌及能谱分析见图9。

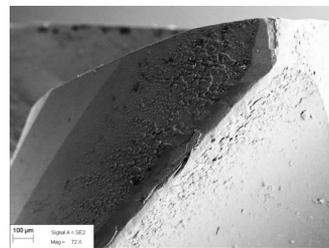


图9 未涂层金属陶瓷铣刀电镜形貌

对比图4涂层金属陶瓷立铣刀电镜形貌,图9的未涂层金属陶瓷立铣刀刀口崩缺严重,前、后刀面粘附大量铁屑。试验表明,针对钢材类材料铣削,若无涂层的保护,金属陶瓷立铣刀刀口容易崩缺并伴随大量铁屑粘附,导致刀具磨损变大,耐用度降低。

3.2 气冷与水冷对比

利用涂层金属陶瓷立铣刀,试验设备及切削参数同3.1节中所述,进行不同冷却条件下(气冷和水冷)对比试验。切削90min后,水冷状态下金属陶瓷立铣刀刀口电镜形貌见图10。

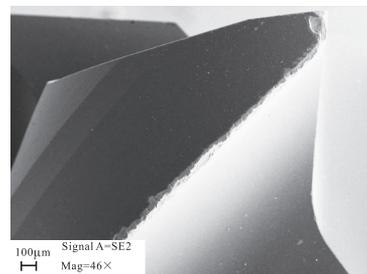


图10 水冷条件下的刀口磨损形貌

如图10所示,水冷条件下,立铣刀前、后刀面均未出现沾屑现象,但主切削刃出现连续锯齿状崩缺和后刀面涂层不规则脱落的现象。除上述失效形式外,垂直于主切削刃方向,金属陶瓷基体出现大量热裂纹。

试验结果表明,在水冷条件下,可有效避免粘屑,但会导致大量热裂纹的产生(见图11和图12)。

文献[9]指出了金属陶瓷导热性差、耐热应力变化能力差,易产生热裂纹,不宜用于湿式切削和硬材料切削。韩成良^[10]也认为在周期性热应力的作用下刀具会产生热裂纹。

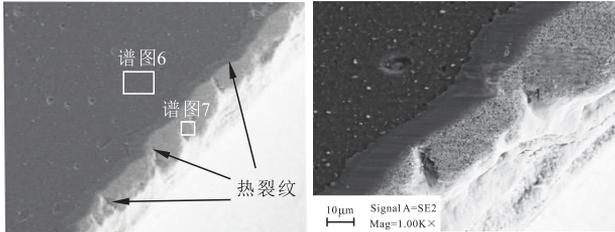


图 11 热裂纹

图 12 热裂纹放大

尽管水冷不利于刀具寿命,但却有利于提高零件表面质量,降低表面粗糙度 R_a 值。图 13 为试验过程中水冷和气冷条件下,零件表面 R_a 值随时间的变化趋势。结果表明,在水冷条件,零件表面粗糙度一直稳定在 R_a 0.05 以下,优于气冷条件。

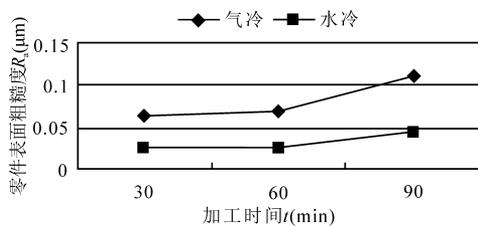


图 13 不同冷却条件下零件表面粗糙度对比

经试验发现,在气冷条件下,非切削区域也有涂层脱落现象。如图 14 所示,利用扫面电镜观察,并未出现热裂纹,涂层脱落原因可能与 AlTiN 涂层和金属陶瓷基体结合力方面存在一定问题,有待进一步研究。

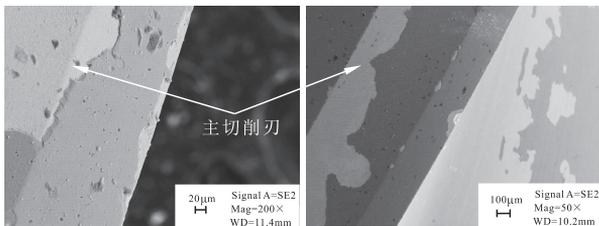


图 14 非切削区域涂层脱落

4 结语

基于全面试验方法,针对金属陶瓷立铣刀的槽型参数、涂层处理和冷却方式对切削 P 类材料的性能进行研究,得出以下结论:

(1) 针对金属陶瓷材料特性,螺旋角宜取较大值,保证立铣刀锋利性;径向前角宜取较小值,保证刃口强度。

(2) 非涂层金属陶瓷立铣刀加工 P 类材料表现

出性能不足,铁屑粘附严重,刀具磨损剧烈;AlTiN 涂层金属立铣刀加工 P 类材料时,磨损机理主要为粘结磨损和化学磨损,机械磨损较少。

(3) 水冷可有效提高零件表面质量,降低表面粗糙度 R_a 值,但因存在热冲击,金属陶瓷基体易出现热裂纹导致刀具微崩和涂层不规则脱落;气冷有利于减小刀具磨损,延长刀具寿命,但在非切削区域存在涂层异常脱落的问题,提高 AlTiN 涂层与金属陶瓷基体结合力是延长其耐用度的有效途径。

参考文献

- [1] 黄国权. 金属陶瓷材料及其在切削刀具上的应用[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2003(5): 39-40.
- [2] 瞿峻. Ti(C,N)基金属陶瓷增强技术及其组织和性能研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2010.
- [3] 黄国权. 金属陶瓷可转位铣刀的研制[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2006(2): 3-5.
- [4] 黄国权. 高速切削金属陶瓷可转位铣刀刀片力学特性分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2006(2): 281-284.
- [5] 李伟. 基于 Ti(C,N)基金属陶瓷刀具的金属切削过程的有限元分析[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
- [6] 蒋修治. 金属陶瓷立铣刀的特性与切削性能[J]. 工具技术, 1990(4): 33-34.
- [7] 陈荣德. 金属陶瓷整体铣刀适用性切削实验[J]. 福建冶金, 2017, 46(6): 40-43.
- [8] 徐开涛. 金属陶瓷微细铣刀的制造及其切削性能研究[D]. 济南: 山东大学, 2016.
- [9] 章宗城. 性能优异的切削刀具材料——金属陶瓷[J]. 工具技术, 2001(12): 15-19.
- [10] 韩成良, 刘宁, 胡坤宏. 切削正火态 45 钢新型可转位金属陶瓷铣刀性能研究[J]. 工具技术, 2006(1): 28-31.
第一作者: 王羽中, 高级工程师, 株洲钻石切削刀具股份有限公司, 412007 湖南省株洲市
First Author: Wang Yuzhong, Senior Engineer, Zhuzhou Cemented Carbide Cutting Tools Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412007, China