

涂层刀具高速铣削高温合金 GH2132 磨损形态及磨损机理

刘 超, 艾 兴, 刘战强, 万 熠

(高效洁净机械制造教育部重点实验室 山东大学, 济南 250061)

摘 要: 用 2 种硬质合金涂层刀具进行铁基高温合金 GH2132 的高速干铣削试验, 采用电子扫描显微镜 (scanning electron microscopy SEM) 观察刀具的磨损形貌, 对刀具的主要磨损机理进行了分析. 结果表明: 刀具的磨损形态主要是后刀面磨损; KC725M 涂层由 TiN、TiAlN 组成, 涂层易剥落; KC525M 涂层只有 1 层 TiAlN, 涂层不易脱落, 但由于机械冲击产生沟槽磨损, 形成应力集中, 导致在切削刃处产生较大的磨损; 不论 KC525M 还是 KC725M, 涂层剥落后, 切削区产生的瞬时高温均使基体中粘结相发生软化, 造成硬质相颗粒脱落和基体的剧烈磨损. 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: 涂层刀具; 高温合金; GH2132; 高速铣削; 磨损

中图分类号: TG 501

文献标志码: A

文章编号: 0254—0037(2010)12—1590—05

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. 高速切削加工技术不仅显著提高了加工效率, 而且可使工件加工精度和表面质量达到更高的水平, 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^[1-5]. 目前, 铝及其合金、铸铁等材料的高速铣削加工在国外得到了较为普遍的应用^[6]. 对高温合金等难加工材料的研究随着新材料的不断出现成为了研究热点.

目前普遍认为, 切削加工高温合金时切削速度超过 50 m/min 即为高速切削^[7]. 国外学者对高温合金的高速切削加工进行了大量的研究^[8-10]; 国内也有不少学者进行了大量研究工作^[11-18], 但不管是国外学者还是国内学者的研究对象多集中在 Inconel718 上, 对 GH2132 的研究很少.

本文采用 2 种涂层硬质合金刀具对铁基高温合金 GH2132 进行高速干铣削加工试验, 通过对刀具的磨损形貌进行观察分析, 系统地揭示了高速干铣削加工铁基高温合金 GH2132 时刀具的磨损形态和磨损机理, 以期为高速、高效、绿色切削加工铁基高温合金的刀具设计提供减摩和抗磨的实验依据.

1 试验设备及条件

在韩国大宇公司生产的立式加工中心上进行高速铣削试验, 机床型号为 DAEWOO ACE-V500, 主轴转速范围为 $80 \sim 10\,000 \text{ r/min}$, 功率为 22.5 kW.

高速铣削试验选用直径为 32 mm 的方肩铣刀; 刀片材料为 KENNAMETAC 生产的 KC525M 与 KC725M, 其中, KC525M 为 PVD TiAlN 涂层硬质合金材质, KC725M 为 PVD TiAlN+TiN 涂层硬质合金材质; 刀片形状为 EDPT180508PDERGD. 试验用工件材料铁基高温合金 GH2132 的成分, 如表 1 所示.

试验切削参数为: 切削速度 $v=80 \text{ m/min}$; 轴向切削深度 $a_p=0.5 \text{ mm}$; 径向切削深度 $a_e=10 \text{ mm}$; 进给量 $f=0.1 \text{ mm/f}$ 单齿切削.

收稿日期: 2009-06-04.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目 (2009CB724402).

作者简介: 刘 超 (1981—), 男, 山东济南人, 博士研究生; 艾 兴 (1924—), 男, 江西抚州人, 教授, 博士生导师.

表 1 GH2132化学成分

Table 1 GH2132 chemical composition

%

C	Cr	Ni	Mo	Ti	Fe	V
≤0.08	13.5~16.0	24.0~27.0	1.00~1.50	1.75~2.30	余量	0.10~0.50
B	Mn	Al	Si	P	S	
0.001~0.01	≤2.00	0.40	≤1.00	≤0.03	≤0.02	

2 试验结果及分析

图 1、2分别为 2种涂层刀具达到磨钝标准后的 SEM 照片,其中, t 为加工时间 (m in). 可以看出, 2种涂层材料的刀具高速铣削 GH2132时, KC525M 刀具磨损形态主要是后刀面磨损、切削刃磨损成一斜面并伴有微崩刃; KC725M 刀具磨损形态主要为后刀面磨损.

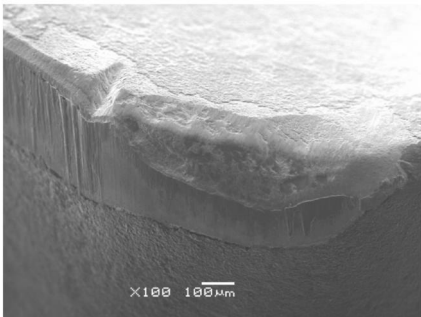


图 1 KC525M 磨损 SEM 图 ($t=100$ m in)

Fig 1 KC525M wear SEM fig ($t=100$ m in)

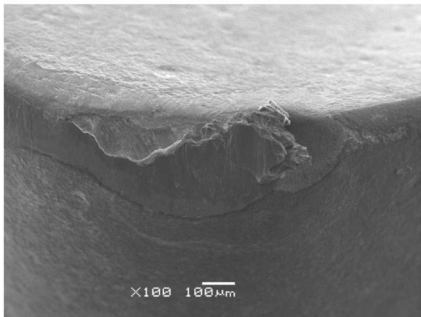


图 2 KC725M 磨损 SEM 图 ($t=40$ m in)

Fig 2 KC725M wear SEM fig ($t=40$ m in)

2种涂层刀具的后刀面磨损曲线如图 3所示. 由图 3看出, KC725M 切削加工 40 m in后刀面磨损量达到 0.32 mm, KC525M 参与切削加工 100 m in后, 后刀面磨损量达到 0.31 mm. 切削条件完全相同的条件下, 2种不同涂层的刀具耐磨性能相差巨大, 磨损机理应有所不同.

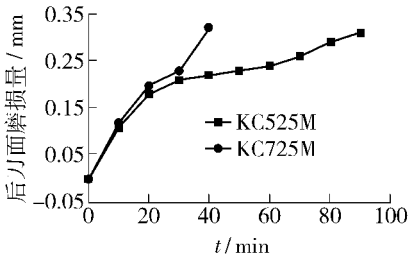


图 3 2种刀片的磨损曲线

Fig 3 Wear curves of two inserts

由图 4、5扫描电镜图可以看出, KC725M 高速铣削高温合金 GH2132时, 刀具的快速磨损是由于涂层剥落造成的. 如图 4所示, KC725M 后刀面切削刃处形成较大裂纹, 这种较大裂纹促使涂层迅速剥落. 高速切削高温合金 GH2132时切削区最高温度达到 1 200℃, 刀具切出后, 温度急剧降低, 在刀具表层与刀具内部形成很大的温度梯度; 在刀具切削和切出过程中, 表层温度变化幅度较内部大很多; 再者, KC725M 涂层刀具由 TiN、TiAlN 两层涂层组成, 从硬质合金基体到 TiN 涂层表层, 各涂层材料的热膨胀系数渐次增加^[19], 在涂层之间形成较大热应力, 且表层热应力最大, 当这种交变热应力大于 2种涂层间的附着力时, 最外层剥落. 最外层剥落后, 刀具涂层与基体之间的热应力和切削过程中的机械应力克服涂层与基体间的附着力, 使涂层产生断裂裂纹, 并在后续切削过程中导致第 2层涂层的剥落. 涂层剥落后, 在第 3切削区刀具后刀面始终与刚刚切削出的工件新鲜表面相互接触, 并在高压下强烈摩擦, 产生高温使粘结相软化, 在原子力的作用下, 软化的粘结相晶粒或晶粒群 (受剪或受拉) 被粘附带走, 使刀具粘结磨损强度降低, 造成刀具的剧烈磨损.

与 KC725M 刀具不同, KC525M 刀具外层只有 TiAlN 涂层, 在切削过程中刀具磨损表面虽有裂纹产生, 但裂纹细小, 涂层剥落较慢, 图 5是切削 30 m in后刀具的表面形貌, 从图 5中可以看出裂纹很小.

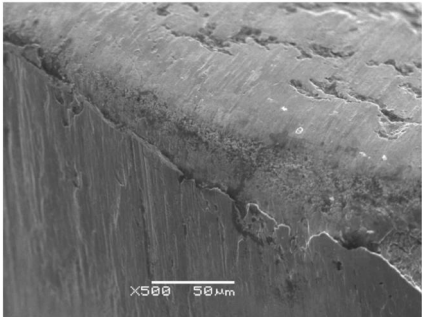


图 4 KC725M 磨损 SEM 图 (×500)
Fig 4 KC725M wear SEM fig(×500)

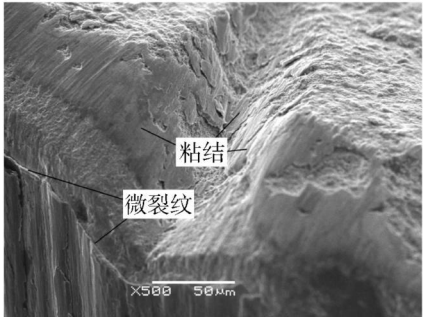


图 5 KC525M 磨损 SEM 图 (×500)
Fig 5 KC525M wear SEM fig(×500)

从图 5 中还可以看出,切削 30 min 后,刀刃上出现较大沟槽,由于铣削是断续切削,这种沟槽是由切削过程中的机械冲击造成的. 在后续切削过程中沟槽缺陷使得局部切削力增大,导致周围涂层与基体间的机械应力增大,在高频机械冲击下局部小面积涂层剥落,这种剥落在后续切削过程中导致刀刃处产生较大的磨损,最终切削刃磨损形成斜面,如图 6 所示.

图 7、8 是涂层剥落后刀具基体的磨损形貌,由图 7、8 可以看出,在磨损表面有大量由于硬质相脱落而留下的微小凹坑. 涂层剥落后,由于切削高温,基体中粘结剂发生软化,使刀具粘结磨损强度降低,造成硬质相颗粒粘结强度下降,并在后续切削过程中脱落,产生剧烈磨损.

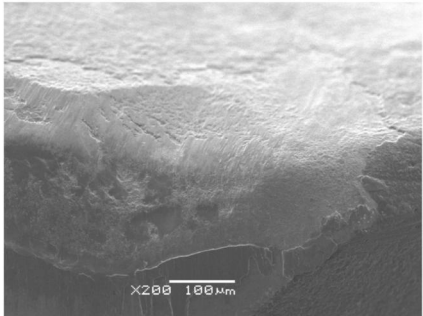


图 6 KC525M 切削刃磨损 SEM 图
Fig 6 KC525M cutting edge wear SEM fig

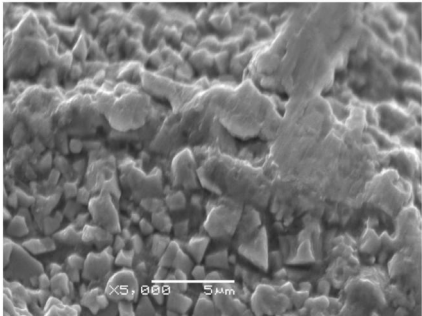


图 7 KC525M 磨损 SEM 图 (×5 000)
Fig 7 KC525M wear SEM fig(×5 000)

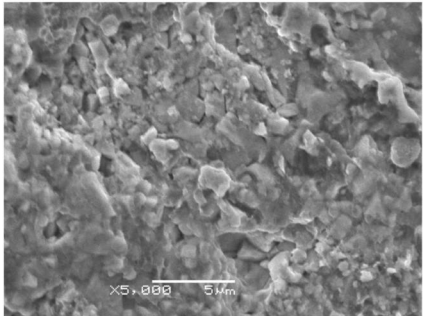


图 8 KC725M 磨损 SEM 图 (×5 000)
Fig 8 KC725M wear SEM fig(×5 000)

3 结论

- 1) 高速干铣削铁基高温合金 GH2132 时,在相同的条件下, KC525M 与 KC725M 相比耐磨性更好,可进行长时间稳定切削.
- 2) KC525M 与 KC725M 的主要磨损形态相同,都是后刀面磨损.
- 3) KC725M 涂层由 TN、TiAN 两层涂层组成,从硬质合金基体到 TN 涂层表层,各涂层材料的热膨胀系数渐次增加,使涂层更容易剥落.
- 4) KC525M 涂层只有 1 层,涂层不易脱落,但在切削刃处由于机械冲击产生沟槽磨损,形成应力集中,在后续切削过程中导致在刀刃处产生较大的磨损.

5) 无论 KC525M 涂层还是 KC725M 涂层剥落后, 切削高温均使基体中粘结剂发生软化, 硬质相颗粒粘结强度下降, 随后脱落, 这导致基体的剧烈磨损。

参考文献:

- [1] SCHULZ H. High-speed machining[J]. Annals of the CIRP, 1992, 41(2): 637-642.
- [2] SMITH S, TLUSTY J. Current trends in high-speed machining[J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1997, 119(4B): 664-666.
- [3] ASHLEY S. High speed machining goes mainstream[J]. Mechanical Engineering, 1995(5): 56-61.
- [4] BYME G, DOMFELD D, DENKENA R. Advancing cutting technology[J]. Annals of the CIRP, 2003, 52(2): 483-507.
- [5] 何宁. 高速切削技术[J]. 工具技术, 2003, 37(11): 8-10.
HE Ning. High speed machining[J]. Tool Engineering, 2003, 37(11): 8-10. (in Chinese)
- [6] 艾兴. 坚持自主创新加速发展和应用先进加工技术提高加工制造水平[J]. 世界制造技术与装备市场, 2006(1): 36-40.
AI Xing. Encouraging independent innovation speeding up the development and application of advanced machining technology improving the level of manufacturing technologies[J]. World Manufacturing Engineering & Market, 2006(1): 36-40. (in Chinese)
- [7] 艾兴. 高速切削加工技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 2-3.
- [8] ASPINWALL D K, DEWES R C, NG E G, et al. The influence of cutter orientation and workpiece angle on machinability when high-speed milling inconel 718 under finishing conditions[J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2007, 47(12-13): 1839-1846.
- [9] PAWADE R S, JOSHI S S, BRANMANKAR P K, et al. An investigation of cutting forces and surface damage in high-speed turning of inconel 718[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 192-193: 139-146.
- [10] KRAN H R, SHARMAN A R C, RIDGWAY K. Optimising of tool life and productivity when end milling inconel 718TM[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 189(1/3): 153-161.
- [11] 韩荣第, 王辉, 刘俊岩, 等. 绿色切削 N 基高温合金 GH4169 刀具磨损研究[J]. 润滑与密封, 2008, 33(8): 31-51.
HAN Rong-di, WANG Hui, LIU Jun-yan, et al. Study on tool wear of green cutting nickel-based super alloy GH4169[J]. Lubrication Engineering, 2008, 33(8): 31-51. (in Chinese)
- [12] 肖茂华, 何宁, 李亮, 等. 陶瓷刀具高速切削镍基高温合金沟槽磨损试验研究[J]. 中国机械工程, 2008, 19(10): 1188-1192.
XIAO Mao-hua, HE Ning, LI Liang, et al. Experimental studies on notch wear for high speed machining of nickel-based super alloy with ceramic tools[J]. China Mechanical Engineering, 2008, 19(10): 1188-1192. (in Chinese)
- [13] 韩荣第, 唐艳丽. N 基高温合金攻丝中高速钢丝锥的摩擦磨损性能研究[J]. 摩擦学学报, 2005, 25(1): 73-77.
HAN Rong-di, TANG Yan-li. Study on the friction and wear behavior of a high-speed steel tap in tapping of nickel-based high-temperature alloy[J]. Tribology, 2005, 25(1): 73-77. (in Chinese)
- [14] 王殿龙, 荀志峰, 庞继有, 等. K24 镍基高温合金切削性能试验研究[J]. 机械工程学报, 2002, 38(1): 190-193.
WANG Dian-long, XUN Zhi-feng, PANG Ji-you, et al. An investigation of the machinability of K24 nickel-based super alloy[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002, 38(1): 190-193. (in Chinese)
- [15] 韩荣第, 殷宝麟, 崔永鹏. 难加工材料小孔振动攻丝试验研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40(1): 50-53.
HAN Rong-di, YIN Bao-lin, CUI Yong-peng. Investigation of small hole vibration tapping in difficult-to-cut materials[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2008, 40(1): 50-53. (in Chinese)
- [16] 刘超, 艾兴, 刘战强, 等. 车削高温合金 GH2132 时切削力和表面粗糙度的建模与试验分析[J]. 工具技术, 2009, 43(10): 19-21.
LIU Chao, AI Xing, LIU Zhan-qiang, et al. Modeling and analysis on cutting force and surface roughness in turning of high temperature alloy GH2132[J]. Tool Engineering, 2009, 43(10): 19-21. (in Chinese)
- [17] 刘阳, 赵秀芬. 航空粉末冶金高温合金的车削加工[J]. 航空制造技术, 2010(15): 44-46.
LIU Yang, ZHAO Xiu-fen. Turning of powder metallurgy superalloy for aviation industry[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2010(15): 44-46. (in Chinese)
- [18] 任敬心, 吴小玲, 张研, 等. 立方氮化硼刀片车削粉末高温合金的刀具磨损[J]. 航空制造技术, 2001(1): 22-26.

REN Jing-xin WU Xiao-ling ZHANG Yan et al Tool wear of cubic boron nitride bite for turning powder superalloy [J]. Aeronautical Manufacturing Technology 2001 (1): 22-26. (in Chinese)

[19] 黄树涛, 贾春德, 姜增辉, 等. TN 涂层刀具高速车铣切削性能及磨损机理 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40 (9): 1501-1505.

HUANG Shu-tao JIA Chun-de JIANG Zeng-hui et al Research on the cutting performance and the wear mechanism of TN coat cutter in high speed turning milling [J]. Journal of Harbin Institute of Technology 2008, 40 (9): 1501-1505. (in Chinese)

W ear Patterns and M echanism of Coated C emented Carbide Tool in H igh Speed M illing Superalloy GH2132

LIU Chao AIXing LIU Zhan-qiang WAN Yi

(Key Laboratory of High Efficiency and Clean Mechanical Manufacture Ministry of Education

Shandong University Jinan 250061, China)

Abstract: Two kinds of coated Cemented carbide tools were used to mill Iron-based superalloy GH2132 at high-speed under dry cutting condition. Wear patterns wear observed by SEM, the main mechanism of tools were analysed. Results show that flank wear is the main wear pattern; the coating of KC725 is made from TN and TiAN, so it is more easy to flake; the coating of KC525M is made from only TiAN, it is not easy to flake but groove wear was find at cutting edge because of Mechanical impact, the formation of stress concentration leads to more bigger wear at cutting edge. No matter KC525M or KC725M the felting phase is intenerated for the instantaneous heat collection in the cutting section, which leads to the falling of the rigid phase grains and serious abrasion of the base body. 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: coated tools super alloy; GH2132; high speed milling wear

(责任编辑 刘 潇)