

氟晶云母陶瓷车削中刀具磨损试验研究

毕长波,孙智超,马廉洁,邓航,万学文,李德震,张力

东北大学

摘要: 用 YG6 硬质合金刀具对氟晶云母陶瓷进行车削试验,刀具磨损的主要形式为磨料磨损和粘结磨损;以刀具体积磨损量为衡量标准,研究了切削用量对刀具体积磨损量的影响。

关键词: 磨损量;玻璃陶瓷;切削用量;车削

中图分类号: TG501;TH117.1

文献标志码: A

Experimental Study on Cutting Tool Wear in Fluorophlogopite Mica Ceramics Turning

Bi Changbo, Sun Zhichao, Ma Lianjie, Deng Hang, Wan Xuewen, Li Dezhen, Zhang Li

Abstract: Turning test of fluorophlogopitemica ceramics with YG6 cemented carbide tool is carried out. The main form of tool wear are abrasive wear and adhesion wear. The influences of cutting parameters on tool wear volume are studied when tool wear volume is taken as the standard.

Keywords: wear volume; glass ceramics; cutting parameter; turning

1 引言

可加工陶瓷材料具有高硬度、高强度、耐腐蚀、耐磨、化学稳定性好等优良性能,在军事、航空航天、医疗设备及制造等领域应用日益广泛^[1]。但其加工工艺性差,极易产生细小的裂痕和应力集中现象,从而影响陶瓷零件的综合性能和使用寿命^[2]。与金属材料相比,可加工陶瓷材料在切削中表现出刀具磨损快、加工质量差等突出问题^[3,4]。为提出高效率、高利用率的加工方案,研究刀具磨损对加工行业有较为深远的意义。

张昌娟等^[5]采用 PCBN 刀具对硬质合金 YG10 进行端面车削,建立了灰色—马尔可夫刀具磨损预测模型。O. G. Checkina 等^[6]通过分析岩石切削过程中刀尖形状的变化,建立了刀具磨损预测模型。解丽静等^[7]采用有限元方法,提出了基于“差分”磨损模型的刀具磨损轮廓预测方法。马廉洁等^[8]以氟晶云母陶瓷为试验材料,得出切削深度对刀具磨损率的影响曲线为一抛物线,进给速度对刀具磨损率的影响曲线为余弦曲线。

本文分析了 YG6 刀具车削氟晶云母玻璃陶瓷时刀具的主要磨损形式,以体积磨损量为衡量标准,研究了切削速度、进给量和切削深度对刀具体积磨损量的影响。

2 试验条件

在 CAK5080D 型数控机床上进行外圆车削试验,工件直径为 30mm 的氟晶云母陶瓷(单晶片分式为 $KMg_3(AlSi_3O_{10})F_2$ 棒料。试验选用 YG6 硬质合金刀具,硬度 89.5HRA。试验条件如表 1 所示,车削长度 800mm。

表 1 试验条件

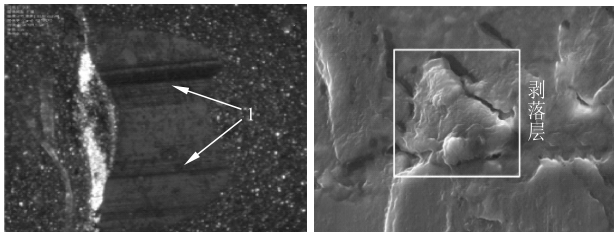
编号	n (r/min)	f (mm/r)	a_p (mm)
1-6	200-800	0.08	0.1
7-11	600	0.05-0.15	0.1
12-14	600	0.08	0.08-0.15

3 试验结果与分析

3.1 磨损形式

图 1a 中的箭头 1 指出了 YG6 刀具的磨损表面沟壑,刀尖与后刀面形成大块磨损面,磨损面留有清晰的条状划痕。陶瓷工件表面存在大量突出的难加工硬质点,这些硬质点在与刀具错位冲击的过程中难以被去除。于是硬质点在刀具摩擦表面刻下线状型沟,犁沟形成的原因属于硬质点在对刀具的反切削作用下形成了直接磨损。另外,车削玻璃陶瓷的过程实质上是刀具和工件的断续摩擦挤压过程。摩擦副(刀具)在剪应力的作用下,表面位错减少,其位错主要聚集在亚表面层处,位错的大量聚集产生了微孔隙。这些孔隙在交变应力的作用下长大并凝聚,从而产生与磨损面平行的微裂纹。当裂纹

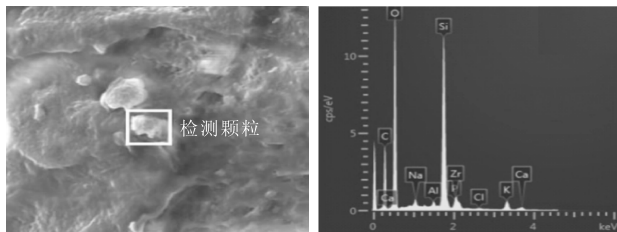
扩散到自由表面时,刀具表面材料以薄片状剥离(见图1b)。犁沟造成其间摩擦系数增大,且刀具摩擦表面积增大,从而导致摩擦力增大,加剧了亚表面层微孔隙的扩散,形成了间接磨损。



(a) 刀具磨损表面沟壑 (b) 微裂纹 SEM 照片(2000×)

图1 刀具的磨损形貌

图2为对刀尖磨损面上突出颗粒物EDX分析的结果。由图可知,其存在极高的O(38.97%)、Si(25.11%)、C(28.3%)含量,其次是Zn、Na、Al、K等金属元素。YG6刀具的化学成分为(WC)94%、(Co)6%,表明所测颗粒物为工件材料粘结物。因此摩擦副在接触挤压过程中发生了材料迁移,即产生了粘结磨损。



(a) 磨损表面 SEM 照片 (b) 检测颗粒 EDX

图2 YG6 刀具磨损表面颗粒物 EDX

3.2 体积磨损量

采用刀尖体积磨损量 V_V 评判刀具在不同切削用量下的磨损程度。如图3所示, VB 为后刀面磨损宽度,相比之下,体磨损更具直观性。试验后,在3D激光共聚焦显微镜下拍摄刀尖形貌,并测量刀具的体磨损量 V_V 。

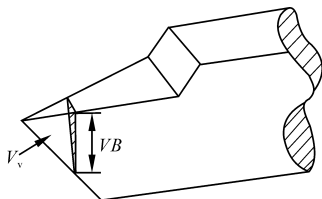


图3 刀具体体磨损 V_V 和线磨损 VB 模型

(1) 切削速度对体积磨损量的影响

图4为体积磨损量与主轴转速的关系曲线。切削速度在37.7m/min - 66.0m/min之间时, YG6刀具的体积磨损量相当;当切削速度增大至75.4m/min时,体积磨损量急剧增加,达到 $1.48 \times 10^8 \mu\text{m}^3$ 。

$10^8 \mu\text{m}^3$ 。

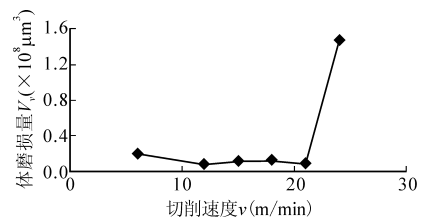
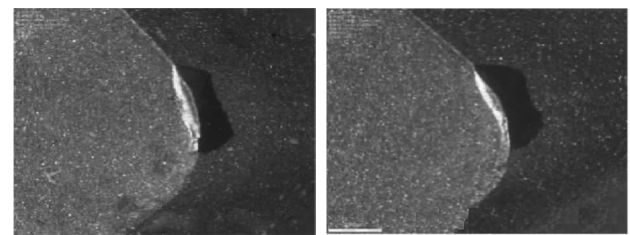


图4 切削速度对体磨损量的影响曲线

图5为工件转速为37.7m/min和66.0m/min时的刀具磨损形貌。当转速在37.7m/min时,刀尖发生大块磨损,后刀面磨损宽度较大,前刀面刃处磨损呈“沟壑”状,基本留有原刀尖的圆弧轮廓,磨损较为剧烈;当工件转速达到75.4m/min时,后刀面的磨损宽度较前者明显增大,前刀面“沟壑”不明显,刀尖形成新圆弧轮廓,且该轮廓因崩碎而向刀体移动,副切削刃处出现微崩刃,刀具失去有效的工作能力。因此,使用YG6刀具车削二硅酸锂玻璃陶瓷时,必须控制主轴转速在75.4m/min以内。



(a) $v = 37.7\text{m/min}$ (b) $v = 75.4\text{m/min}$

图5 两种切削速度下 YG6 刀具磨损形貌

刀具在低转速条件下车削时,其冲击载荷强度没有达到刀具的晶界断裂强度,且 YG6 刀具为粉末烧结材料刀具,超细晶粒使得其硬质相尺寸变小,粘结对均匀分布在硬质相周围,大大提高了刀具的硬度和耐磨性^[9]。所以,在相对较低速的条件下,刀具体磨损量相当。

当刀具在高速阶段工作时,切削温度高,冲击强度大,刀具的空切和切削循环周期减小。刀具承受高频的机械冲击和交变载荷,加速刀具刀尖处产生晶界裂纹,并发生崩刃破损。破损后的刀具刀体直接参与车削,导致磨损加剧,最终失效。试验中发现,以各转速工作时,都存在工件材料崩碎的现象。当工件转速达到75.4m/min时,车床产生明显的振动,工件材料产生剧烈的崩碎。

(2) 进给量对体积磨损量的影响

图6为刀具体积磨损量与进给量变化之间的关系曲线,曲线总体呈上升趋势。当进给量小于0.07mm/r时,刀具体积磨损量随着进给量的增大而小幅增大;当进给量在0.07 - 0.1mm/r之间时,刀

具体积磨损量随着进给量的增大而略微增大;当进给量大于 0.1mm/r 时,刀具体积磨损量随着进给量的增大而急剧增大;进给量为 0.12mm/r 时,达到 $2.58 \times 10^7 \mu\text{m}^3$ 。

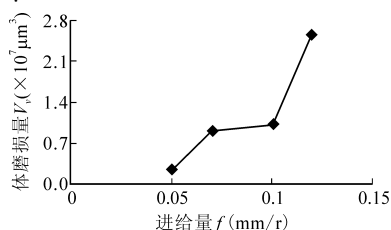
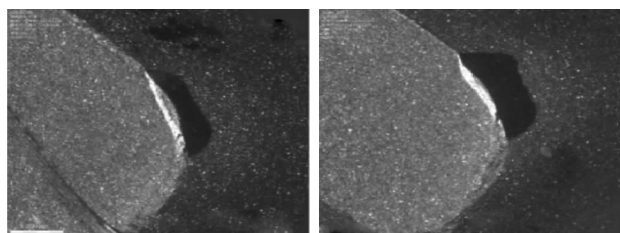


图6 进给量对刀具体积磨损量的影响曲线

图7为进给量分别为 0.05mm 和 0.12mm 时刀具的磨损形貌图。当进给量为 0.05mm 时,刀具有轻微的磨损,前刀面的刀刃处有“沟壑”状磨损,仍可进行有效的加工;当进给量为 0.12mm 时,刀具后刀面的磨损宽度剧增,刀刃处存在较长的崩刃段,如图7b所示,刀尖圆弧向刀体移动,磨损严重。



(a) $f=0.05\text{mm/r}$

(b) $f=0.12\text{mm/r}$

图7 两种进给量下 YG6 刀具磨损形貌

进给量较小时,冲击载荷小,且集中在切削刃附近,刃口主要承受压应力,故刀具体积磨损量较小。随着进给量增大,冲击载荷加大,单位时间内的冲击能量增加,在刀具刀尖产生正常磨损的同时,刀刃处由于高能量高频率的交变载荷冲击而更易形成微裂纹,并最终形成块状崩落,刀具体积磨损量增大。

(3) 切削深度对刀具体积磨损量的影响

图8为刀具体积磨损量随着切削深度变化的关系曲线,其总体呈先上升后下降的趋势。当切削深度小于 0.08mm 时,刀具体积磨损量随切削深度的增大而大幅提升,并在切削深度为 0.08mm 时达到最大值 $2.9 \times 10^7 \mu\text{m}^3$;当切削深度大于 0.08mm 时,刀具体积磨损量随着切削深度的增大而逐渐减小。

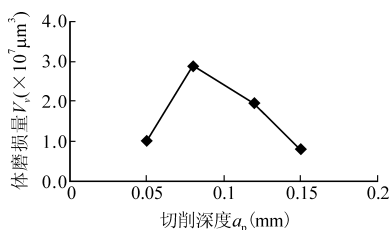
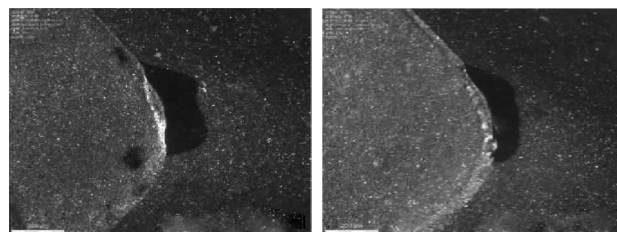


图8 切削深度对体积磨损量的影响曲线

图9为切削深度分别为 0.08mm 和 0.15mm 时的刀具磨损形貌。当切削深度为 0.08mm 时,其磨损面较切削深度为 0.15mm 时显著增大,但刀尖钝化程度、钝化区域较切削深度为 0.15mm 时小。



(a) $a_p=0.08\text{mm}$

(b) $a_p=0.15\text{mm}$

图9 两种切削深度下 YG6 刀具磨损形貌

当切削深度过小时,刀尖所受的冲击作用较小,故体积磨损量小。当切削深度较小时,工件材料与刀具之间的相互作用面积较小,刀尖部分承受主要的冲击作用,而此处由于厚度薄、强度低、抗磨能力差,故产生较大的磨损;随着切削深度的增加,工件材料与刀具之间的相互作用面积增大,此时刀体承担部分冲击载荷,承载厚度增加,抗冲击强度提高,抗磨能力提升。但由于切削深度增加,单位时间内刀具所受冲击能量较大,致使刀刃产生微崩刃,总体磨损较缓慢。

4 结语

YG6 刀具端面车削氟晶云母陶瓷时,刀具磨损的主要发生部位为刀具的后刀面及刀尖部分,主要磨损方式为磨粒磨损和粘结磨损。用体积磨损量衡量刀具在不同切削用量下的磨损程度,得出刀具体积磨损量随着工件转速的增加,整体先平衡后增大;随着进给量的增大呈阶段性增大;随着背吃刀量在一定范围内的增加而先增大后减小。

参考文献

- [1] 武美萍, 缪小进, 苗新刚, 等. 基于磨料水射流的陶瓷材料车削加工[J]. 机械设计与研究, 2015(6): 87-89, 93.
- [2] Palanikumar. Modeling and analysis for surface roughness in machining glass fibre reinforced plastics using response surface methodology [J]. Materials and Design, 2007, 28(10): 2611-2618.
- [3] 马廉洁, 姜琳, 钟利军. 氟金云母陶瓷车削加工中刀具磨损的研究[J]. 中国机械工程, 2007(17): 2098-2101.
- [4] Mustafa Emad A A. Fluorophlogopite porcelain based on talc-feldspar mixture [J]. Ceramics International, 2001, 27(1): 9-14.

切削用量对车削 40CrNiMo 切削力影响的仿真研究

陶亮¹,刘爱军¹,陈超²,纪斌¹,潘克强¹

¹贵州理工学院;²襄阳汽车轴承股份有限公司

摘要: 利用有限元分析软件 ABAQUS 建立了车削 40CrNiMo 的有限元模型,并在不同切削用量条件下对切削力进行仿真,得到了主切削力、进给力的变化规律,分析了引起切削力变化的主要原因。结果表明:切削分力中主切削力最大;切削深度对切削力尤其是主切削力的影响最大,进给量次之,切削速度的影响最弱。

关键词: 切削用量;硬态干式切削;切削力;ABAQUS

中图分类号: TG714;TH161

文献标志码: A

Influence Simulation Research of Cutting Parameter on Cutting Force in Turning 40CrNiMo

Tao Liang, Liu Aijun, Chen Chao, Ji Bin, Pan Keqiang

Abstract: A finite element model for turning 40CrNiMo steel is established by using ABAQUS software, which is used to simulate the cutting force with different cutting parameters, the variation range of the main cutting force and feeding force are obtained in the simulation, at last the main reasons for the variation of cutting force are analyzed. The results indicate that the cutting force increases linearly with the cutting feed and the cutting depth, the cutting depth has a greater impact on the cutting force than cutting feed, the cutting speed has smallest effect to the cutting force.

Keywords: cutting parameter; hard-dry cutting; cutting force; ABAQUS

1 引言

40CrNiMo 属于中碳 Cr-Ni-Mo 系高强度调质钢,适用于制造高负荷、大截面、承受冲击载荷的大型齿圈、采煤机截齿和桩基钻孔工程截齿^[1]。采用立方氮化硼刀具对 40CrNiMo 材料进行硬态干式车削能有效提高材料加工效率、减小环境污染,达到以车代磨的效果。但切削过程中产生的切削力严重影响了工件加工表面质量和尺寸精度等重要加工指标,而切削用量又是影响切削力特性的重要因素之一。因此研究切削用量对切削力的影响规律对于提高工件加工质量和加工效率有着重要的意义。

基金项目: 贵州省科技合作项目(LH 字[2015]7087)
收稿日期: 2017 年 6 月

本文以硬态干式车削 40CrNiMo 钢为例,研究了切削用量对切削力的影响,可为优化切削用量、提高加工质量和增加刀具寿命提供理论依据。

2 建立切削模型

2.1 材料本构模型

Johnson-Cook 本构模型适用于实际切削过程中的高温、大变形以及大应变速率场合,实验采用该模型,其具体形式为

$$\sigma = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + c \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (1)$$

式中, A 、 B 、 C 、 m 、 n 分别为材料模型参数,数值见表 1; ε 为等效塑性应变; $\dot{\varepsilon}$ 为等效塑性应变率, $\dot{\varepsilon}_0$ 为参考塑性应变率; σ 为流动应力; T_r 、 T_m 分别为环境温度

- [5] 张昌娟,焦锋,赵波,等. 基于灰色—马尔可夫模型的刀具磨损预测[J]. 河南理工大学学报(自然科学版),2015(6):807-812.
- [6] Checkina O G, Goryacheva I G, Krasnik V G, et al. The model for tool wear in rock cutting[J]. Wear, 1996, 198(1):33-38.
- [7] 解丽静,郑丹, Schmidt C, 等. 基于“差分”磨损模型的车削刀具磨损仿真预测研究[J]. 工具技术,2007(5):17-21.
- [8] 马廉洁,于爱兵,韩廷水,等. 氟金云母陶瓷车削参数对

刀具磨损的影响[J]. 兵器材料科学与工程,2007(1):1-4.

- [9] 韩荣第,王辉,刘俊岩,等. 难加工材料绿色切削刀具磨损试验研究[J]. 制造技术与机床,2008(4):78-81.

第一作者:毕长波,副教授,东北大学秦皇岛分校控制工程学院,066004 河北省秦皇岛市

First Author: Bi Changbo, Associate Professor, School of Control Engineering, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao, Hebei 066004, China