

金刚石单晶刀具切削镁铝合金磨损分析

■ 河南工业大学材料科学与工程学院 (郑州 450007) 肖长江 朱玲艳 李 娟 栗正新

摘要: 利用人造金刚石单晶制备了加工镁铝合金的刀具, 观测了金刚石单晶刀具不同前角下的磨损形貌, 结果表明: 刀具的刃口发生了轻微磨损, 并伴有崩刃和断裂迹象, 刀具的前刀面出现了磨损划痕, 形成了微沟槽, 并发生了缺口破损, 说明刀具的主要磨损形式是机械摩擦磨损。

金刚石具有硬度高、耐磨性好、强度高、导热性好、与有色金属摩擦系数低、抗黏结性好以及优良的抗腐蚀性和化学稳定性, 金刚石工具因其结合强度高、成型性好、使用寿命长、能够满足高速磨削和超精密磨削技术的要求等优良特性, 所以, 在机械加工领域金刚石刀具得到了广泛的应用。

在金刚石加工材料的过程

中, 刀具的前后刀面不断与工件接触, 两者之间强烈的挤压和摩擦在接触区里发生, 因此, 接触区里有很高的温度和压力。随着切削的进行, 刀具的前后刀面会逐渐发生磨损现象, 使切削能力被削弱, 从而导致了刀具的失效。一般情况下, 刀具的磨损过程可以按3个阶段来划分: ①初期磨损阶段。②正常磨损阶段。③急剧磨损阶段。

随着金刚石单晶刀具用量的增大, 对金刚石单晶刀具的磨损情况的分析研究也越来越多, 研究发现金刚石单晶刀具主要磨损机理有以下几种: ①机械磨损。②粘结磨损。③扩散磨损。④氧化磨损。⑤石墨化磨损。

镁铝合金具有比强度高、密度小、耐腐蚀、可回收、导热性好及可薄壁成型等诸多优点, 在计算机、通信、仪器仪表、家

表 2 (单位: 个)

	涂层滚刀			普通滚刀		
序号	1	2	3	1	2	3
加工数量	36	35	39	15	16	15
合计	110			46		

涂层价格约为15元, 成本降低为

$$[(1 - 30 + 15) \div (30 \times 1.87)] \times 100\% = 20\%$$

使用涂层丝锥与普通丝锥相比, 寿命提高为原来的1.87倍, 成本降低20%。

涂层丝锥加工的螺纹孔, 表面粗糙度质量明显提高。

(2) 滚刀寿命成本分析。

3种涂层滚刀寿命总和

是3种普通滚刀寿命总和的

$$110 \div 46 = 2.39$$
倍。

该滚刀市场价格约为800元, 可以刃磨约20次, 涂层价格约为150元, 实际成本为

$$(150 + 800/20) / (800/20 \times 2.39) = 1.99$$
倍

使用涂层滚刀与普通滚刀相比, 寿命提高为原来的2.39倍, 成本提升至原来的1.99倍。

涂层滚刀与普通滚刀相比, 涂层滚刀加工工件的表面质量更好, 且毛刺较少。

3. 结语

根据试验对比分析, 我们可

以看出, PVD金属陶瓷涂层在高速钢基体材料的刀具上的应用, 可使刀具寿命提高1倍左右, 且工件的表面质量会有一定程度的提升。

但是, 根据刀具成本的不同, 在实际应用过程中, 是否能够给企业带来实质性的效益, 还需要根据企业的不同情况而定。

参考文献:

[1] 谢宏. 切削刀具PVD涂层技术的发展及应用[J]. 硬质合金, 2002, 19 (1): 14-17.

MW (收稿日期: 20160302)

电、医疗及轻工等行业得到了广泛应用。同时镁铝合金属于软金属，在高速切削时，容易粘结刀具，使其表面形成积屑瘤，所以当加工表面的质量要求较高时，要求选用金刚石刀具来切削镁铝合金。然而国内外有关金刚石单晶刀切削镁铝合金的研究比较少，特别是对磨损机理方面的研究较少，而这对金刚石单晶刀具加工镁铝等软金属来说是很重要的。

本文选择镁铝合金为被加工材料，以人工合成的金刚石为材料制备金刚石单晶刀具，来加工镁铝合金，分析刀具的磨损情况，来研究金刚石单晶加工镁铝合金的磨损机理。

1. 金刚石单晶刀具的制备和镁铝合金的选择

本试验选择的金刚石是台钻科技（郑州）有限公司在高温高压下生长的八面体金刚石单晶颗粒，其晶形完整，颜色为浅黄色、透明，材质纯净，20倍显微镜下可观察到内部无缺陷，用激光切割机来切割得到金刚石单晶片，然后选用金刚石的（100）晶面和（110）晶面，分别作为金刚石刀具的前和后刀面的制备材料，用钎焊的方法将金刚石单晶片牢固地装夹在刀杆上，再对刃口锋锐的金刚石刀具进行加工，一般包括粗磨加工和精磨加工，最终得到所需的刀具。

本试验所使用的是6061-T6镁铝合金，属于热处理可强化合金，具有良好的可焊接性、可成形性、电镀性、机械加工性和抗腐蚀性，同时具有韧性高、加工

后不变形、中等强度的特点，在退火后仍能维持较好的操作性。

2. 试验

（1）切削试验前刀具初始形貌。金刚石单晶刀具切削镁铝合金之前，首先对刀具前刀面的初始形貌进行了观测。图1所示是切削试验前金刚石单晶刀具的前刀面的形貌图。由图1可知，刀具的切削刃完整性良好，前刀面完全没有磨损的迹象。

（2）金刚石单晶刀具切削镁铝合金的磨损机理分析。切削过程中，刀具将多余金属从工件表面切下的同时，本身也承受着来自切屑和工件的强烈摩擦，致使刀具的前后刀面逐渐产生磨损。当刀具磨损量达到一定程度时，可以明显地发现切削力加大，切削温度上升，甚至产生振动，导致工件加工精度下降，表面质量恶化，此时就要磨刀或换刀。可见，刀具磨损对加工质量、生产效率及加工成本有直接影响，是切削过程中极为重要的问题之一。

图2所示为金刚石单晶车刀在转速为3 900r/min、进给量为0.1mm/r、切削深度为2mm的工艺参数下，在一定加工时间内切削镁铝合金后，前刀面磨损不同前角的金刚石单晶刀具切削后的

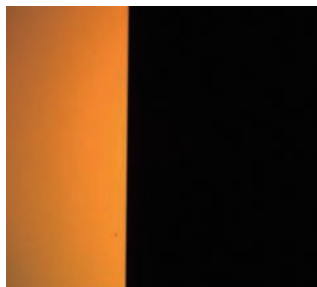
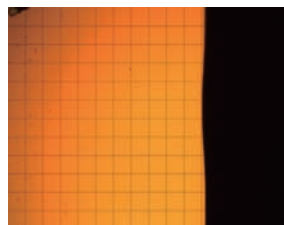


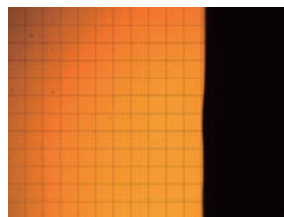
图1 金刚石单晶刀具的微观形貌

形貌。图2a、图2b和图2c所示分别是前角为5°、7.5°和10°的金刚石单晶车刀切削后前刀面的形貌。从图2中能观察到这3把车刀的前刀面都有明显的磨损带，要想评估刀具的磨损情况就需要测量刀具前刀面的磨损量。在相同的切削条件下，前角为5°、7.5°和10°的金刚石单晶车刀磨损面积分别是 $0.866 \times 10^{-3} \text{mm}^2$ 、 $0.962 \times 10^{-3} \text{mm}^2$ 和 $0.601 \times 10^{-3} \text{mm}^2$ ，所以当前角为10°时，金刚石单晶刀具车削镁铝合金时刀具磨损量较小。

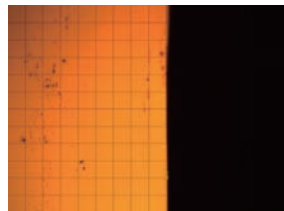
图3所示为前角为10°的金刚石单晶车刀在转速为3 900r/min、进给量为0.1mm/r、切削深度为2mm的工艺参数下，在一定加工时间内切削镁铝合金后，前刀面磨损形貌的扫描电子显微照片。



(a) 1号刀

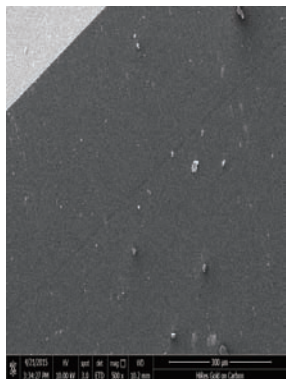


(b) 2号刀

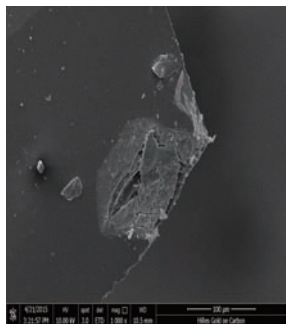


(c) 3号刀

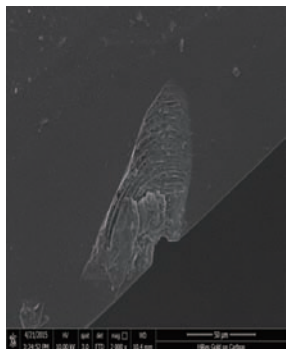
图2 金刚石单晶刀具切削后前刀面的微观形貌



(a)



(b)



(c)

图3 前刀面磨损形貌的显微照片

由图3a可以看出刀具的前刀面出现了磨损划痕，形成了微沟槽；由图3b可以看出刃口发生了轻微磨损，并伴有崩刃和断裂迹象；由图3c可以看出刀具的前刀面发生了缺口破损，也有崩刃和剥落迹象。众所周知，金刚石刀具具有很强的解理性，在解理面发生的破坏具有各向异性，当垂直于一定解理面的拉应力达到金刚石所固有的某值时，刀具将发生破坏。切削镁铝合金复合材料时，

刀具切削软的铝合金基体，承受交变的应力，切削振动现象较严重，再加上切屑对切削刃的强力冲击，使得刀具承受较大的冲击应力。当刀具刃口局部区域应力达到其脆性解理强度时，就发生微小的脆性剥落。一旦刀具发生剥落，切削刃将不再平整，剥落处容易产生应力集中，从而引起大块材料的崩刃。由图3可以看出，金刚石单晶刀具切削镁铝合金时没有发生石墨化，这是因为6061-T6镁铝合金中的铜元素含量仅为0.3%，从而不足以对刀具造成明显的侵蚀。

由图3可知，这种情况说明刀具发生了明显的机械摩擦磨损。它是由于金刚石刀具和工件间的机械摩擦造成的。在金刚石切削的初始阶段，金刚石刀具和工件的微观接触面不平，形成交错，在相对运动过程中，双方的高峰逐渐被磨平。当切削加工时，工件材料中含有的硬质点以及积屑瘤碎片等在刀具表面上划出沟纹而造成的磨损。

3. 结语

根据对金刚石单晶刀具不同前角下的磨损形貌的观测，金刚石单晶刀具加工镁铝合金时，刀具的刃口发生了轻微磨损，并伴有崩刃和断裂迹象，刀具的前刀面出现了磨损划痕，形成了微沟槽，并发生了缺口破损，说明刀具的主要磨损形式是机械摩擦磨损。

参考文献：

[1] 张贝贝. 切削钛合金用PCBN刀具结合剂的研究[D]. 河南：河南工业大学，2011.

[2] 王大镇，韩荣第，刘华明，等. 铝基复合材料超精密加工中的刀屑摩擦磨损性能及模型研究[J]. 摩擦学学报，2005，25(6)：569-573.

[3] 陈浩锋，王建敏，戴一帆，等. 超精密切削氟化钙单晶金刚石刀具磨损研究[J]. 中国机械工程，2011，22(13)：1519-1526.

[4] R.M. Eric, J.S. Edward, R.S.D. Theodore, et al. Detection of orientation-dependent, single-crystal diamond tool edge wear using cutting force sensors, while spin-turning silicon[J]. Precision Engineering, 2010, (34)：253-258.

[5] R.Ribeiro, Z.Shan, A. M.Minor, et al. In situ observations of nano-abrasive wear [J]. Wear, 2007, 263: 1556-1559.

[6] I.Durazo-Cardenas, et al. 3D characterisation of tool wear whilst diamond turning silicon [J]. Wear, 2007, 262 (34)：340-349.

[7] 周明，邹莱. 金刚石切削黑色金属时刀具磨损机理的摩擦磨损试验[J]. 光学精密工程，2013，21(7)：1786-1793.

[8] W.J.Zong, T.Sun, K. Cheng, et al. XPS analysis of the groove wearing marks on flank face of diamond tool in nanometric cutting of silicon wafer[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2008, 48 (15)：1678-1687.

MW (收稿日期：20160302)