

MQL 高速车削 7075 铝合金的试验研究

裴宏杰¹, 刘成石¹, 王贵成¹, 邹晔²

¹江苏大学; ²无锡职业技术学院

摘要: 7075 铝合金表面大多采用 MQL 切削加工方式。为寻求与 7075 铝合金相匹配的 MQL 用可降解植物油, 结合实际情况系统地开展了蓖麻油和玉米油高速车削 7075 铝合金的试验研究。测试蓖麻油和玉米油对 7075 铝合金的浸润, 得到平衡时间和润湿角。对此进行单因素切削试验设计, 比较分析了蓖麻油和玉米油微量润滑条件下的切削力、切削温度和表面粗糙度。结果表明, 采用蓖麻油的加工效果优于玉米油。

关键词: 微量润滑; 高速车削; 7075 铝合金; 植物油; 生物降解

中图分类号: TG51; TH16

文献标志码: A

Experimental Study on High-speed MQL Turning of 7075 Aluminum Alloy

Pei Hongjie, Liu Chengshi, Wang Guicheng, Zou Ye

Abstract: 7075 Aluminum alloy is machined with MQL (Minimum Quantity Lubrication). In order to find the suitable degradable vegetable oil for MQL cutting 7075 Aluminum alloy, the experimental researches are systematically conducted to high-speed turning 7075 aluminum alloy with castor oil and corn oil based on the actual national conditions. The wetting tests for castor oil and corn oil on 7075 Aluminum alloy are conducted, and the equilibrium time and wetting angle are obtained. A single factor cutting test is designed to compare the cutting force, cutting temperature and surface roughness. The analytical results show that the processing effects with castor oil are better than that with corn oil, it has reference value for engineering application.

Keywords: MQL; high-speed turning; Aluminium alloy 7075; vegetable oil; biodegradation

1 引言

7075 航空铝合金具有密度小、高强度、良好的机械性能等特点, 被广泛应用于航空航天、模具、机械设备和工装夹具等行业。铝合金配合表面一般通过干切削和 MQL 高速加工获得。MQL (Minimum Quantity Lubrication) 理念是将精确控制的微量润滑油以液滴的形式输送到变形区, 达到传统大量浇注的效果, 可降低成本, 减少环境污染。MQL 的概念首先由美国密歇根技术大学的 W. D. Hewson 和 G. K. Gerow 两位学者^[1]于 1996 年提出, 随后受到广大学者和业界的重视, 并展开了系列研究和应用^[2-4]。

实现 MQL 加工需使用可降解润滑油, 植物油由于其优良的生物可降解性、无毒性、价格低廉、来源广泛等特点是最受关注的基础油之一^[5]。我国是蓖麻及玉米生产世界第二大, 发展蓖麻油基和玉米油基切削液具有很大的优势, 而关于蓖麻油基和玉米油应用于 7075 铝合金 MQL 加工的研究甚少, 因此, 本文开展了蓖麻油和玉米油高速车削 7075 铝

合金的试验研究。

2 试验条件及方案

2.1 润湿角试验

润湿角是指液体与固体接触时, 在垂直于固体表面的平面内, 液体表面在固、液两相交界面处的切线与处于液体内部的固体边界之间的夹角^[6], 可以用作评价油基切削液加工性能的一项指标。润湿角越小, 液体在固体表面越容易扩散和吸附在固体表面。测量润湿角前需对工件表面进行处理, 首先要对 7075 铝合金表面进行研磨和抛光, 使用超声波清洗工件表面, 烘干后再测量工件表面粗糙度, 保证工件粗糙度达到规定标准。

试验采用躺滴法, 使用 JC2000D 接触角测量仪在室温下进行润湿角测量。为了测得润湿平衡时间, 采用连续采集模式进行动态测量, 液滴大小为 4 μ L, 采样间隔 5s, 采样时间 2min。

2.2 车削试验

采用德国 Spinner 公司的 SB - CNC 超精密车削中心进行车削试验, 工件材料为直径 30mm 的 7075 高强度铝合金棒料, MQL 系统采用美国生产的 Accu-Lube 喷雾系统, 刀片使用山特维克可乐满公司的

CCGX09T308-ALH10 型切削刀片,切削刃长度为 9.6719mm,刀片厚度为 3.96875mm,圆角半径 0.8mm,内切圆半径 9.525mm,后角 7°。使用株钻公司的 SCLCR1212F09 型外圆车削刀杆,采用螺钉压紧式,连接尺寸 12mm×12mm,刀杆长度 80mm,主偏角 95°,副偏角 5°。

切削力测量系统为瑞士 Kistler9293A 三向动态压电式测力仪和 Dewe6.3 数据采集与处理系统,采用 Optris PI 在线红外热像仪测量切削温度,表面粗糙度测量仪器为日本奥林巴斯公司的 DSX500 光学数码显微镜。采用单因素方法进行试验研究,相关参数见表 1。

表 1 切削试验参数

切削条件	切削参数
切削液	干车削, MQL(玉米油、蓖麻油)
切削速度 (m/min)	200, 300, 400, 500
进给量 (mm/r)	0.01, 0.02, 0.03, 0.04
油量 (mL/h)	12
背吃刀量 (mm)	0.06
喷嘴位置	主后刀面
喷嘴靶距 (mm)	20

3 试验结果与分析

3.1 对润湿的影响

图 1 为两种植物油平衡时刻的润湿角图像,图 2 为润湿角的平衡时间曲线图。测量液滴的左润湿角和右润湿角,通过求平均值得到润湿角(见图 1a)。由图可见,植物油与工件表面刚接触的开始阶段,润湿角急剧下降。当润湿时间接近 20s 时,变化趋势开始变得平稳,接触角缓慢下降;当达到 55s 时,基本达到平衡。此时,蓖麻油的平衡润湿角为 25°,玉米油的平衡润湿角为 23°。玉米油和蓖麻油对 7075 铝合金的润湿平衡时间基本一致,玉米油的粘度低于蓖麻油,润湿角较小,更易润湿。

3.2 对主切削力的影响

图 3 为两种植物油润滑条件下、主切削力随切削速度和进给量的变化曲线。随着切削速度的增加,主切削力逐渐减小,工件变形减小,同时由于切削热的增加,工件材料的流动特性发生变化,导致切削力下降(见图 3a)。随着进给量的增加,切削厚度增大,工件变形抗力增大,使得主切削力增加(见图 3b)。相对于玉米油,蓖麻油的润滑效果更好,虽然润湿性不及玉米油,但其主要成分为蓖麻酸,蓖麻酸中的羟基能够起到增强内聚力的作用,使得蓖麻酸生成的吸附膜强度高于主要成分为油酸的玉米油^[7]。

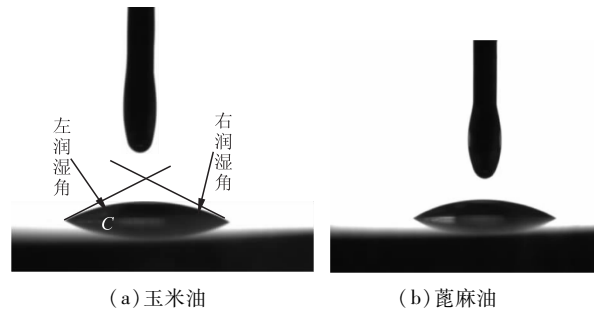


图 1 两种植物油与 7075 铝合金的润湿角

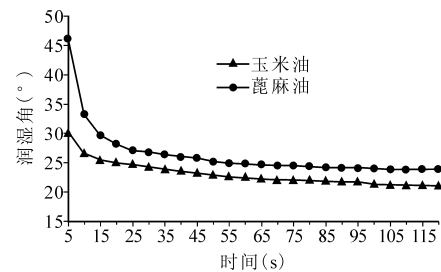
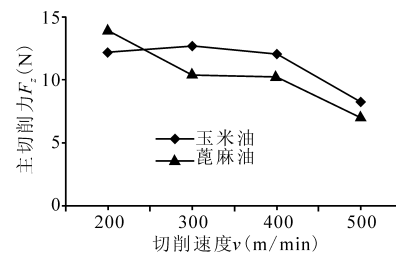
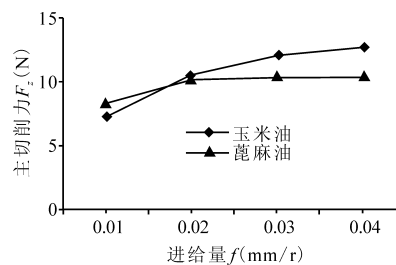


图 2 润湿角平衡时间曲线



(a) 切削速度的影响 ($f=0.03\text{mm/r}$, $a_p=0.06\text{mm}$)



(b) 进给量的影响 ($v=400\text{m/min}$, $a_p=0.06\text{mm}$)

图 3 切削速度和进给量对主切削力 F_z 的影响

3.3 对切削温度的影响

图 4a 和图 4b 分别为两种植物油润滑条件下、切削区域内最高温度随切削速度和进给量的变化情况。随着切削速度的增加,切削温度上升。随着切削速度和进给量的增加,单位时间去除的材料增加,消耗的功增多,产生的热量增加;切削速度的增加导致热量来不及向外部传递,最终导致切削温度的上升。蓖麻油润滑下的切削温度低于玉米油,但差距不大。

3.4 对表面粗糙度的影响

相对于二维轮廓,三维轮廓对表面纹理特性表

述得更加全面。根据 ISO25178 - 2 标准^[8], 选取三维轮廓表面的幅度参数——表面均方根偏差 S_q 作为加工表面粗糙度的评价指标, S_q 随切削速度和进给量的变化分别见图 5a 和图 5b。

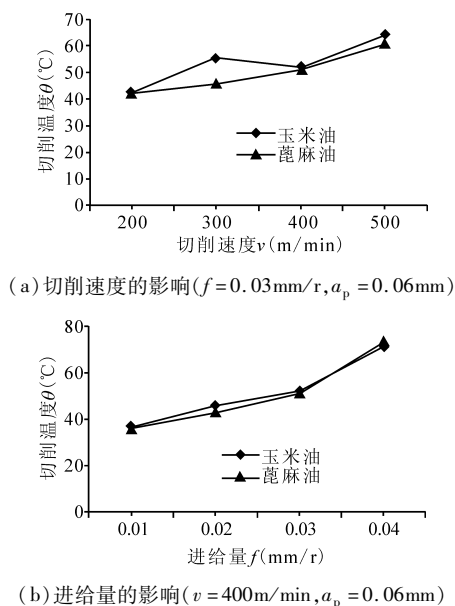


图4 切削速度和进给量对切削温度 θ 的影响

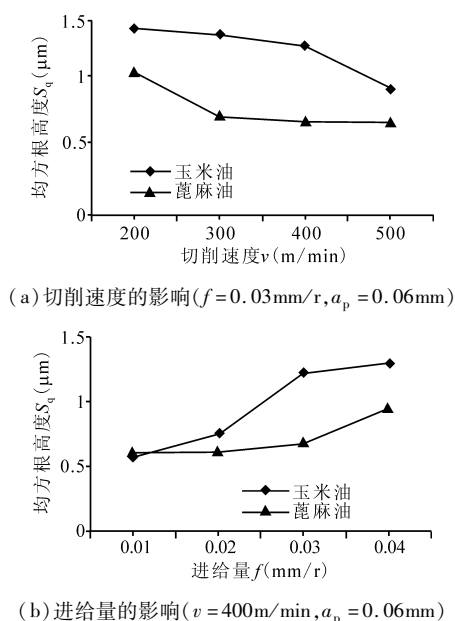


图5 切削速度和进给量对均方根高度 S_q 的影响

随着切削速度的增大, 工件材料变形减小; 随着温度的提高, 材料的流动特性发生变化, 加工表面粗糙度减小; 随着进给量的增加, 加工表面残留高度增加, 粗糙度增大。蓖麻油条件下的粗糙度小于玉米油, 在中速范围内, 蓖麻油的润滑效果更好; 在低速和高速切削时, 两者润滑效果差距缩小。对于进给量也具有相似的效果, 大进给量和小进给量的粗糙度差距缩小, 在中等进给量时, 玉米油润滑效果

较差。

4 结语

(1) 玉米油和蓖麻油平衡时刻的润湿角分别为 23° 和 25° , 平衡时间均为 55s;

(2) 应用蓖麻油 MQL 加工 7075 铝合金时, 切削力、切削温度和表面粗糙度均低于玉米油;

(3) 蓖麻油和玉米油 MQL 加工时, 切削温度非常接近;

(4) 在较低、较高切削速度和进给量时, 采用蓖麻油和玉米油切削的表面粗糙度接近; 在中等切削速度和进给量时, 两者粗糙度差距较大。

参考文献

- [1] Hewson W D, Gerow G K. Development of new metal cutting oils with quantifiable performance characteristics [J]. Lubrication Engineering, 1996, 52(1): 31 - 38.
 - [2] Leonardo Roberto da Silva, Eduardo Carlos Bianchi. Analysis of surface integrity for minimum quantity lubricant—MQL in grinding [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2007, 47(2): 412 - 418.
 - [3] Pervaiz S, Rashid A, Deiab I, et al. An experimental investigation on effect of minimum quantity cooling lubrication (MQCL) in machining Titanium alloy (Ti6Al4V) [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 87(5): 1371 - 1386.
 - [4] Huang Weitai, Wu Derho, Chen Jianting. Robust design of using nanofluid/MQL in micro-drilling [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 85(9): 2155 - 2161.
 - [5] 裴宏杰, 张金煜, 张春燕, 等. MQL 加工中切削液的作用和性能 [J]. 工具技术, 2007, 41(6): 44 - 48.
 - [6] 温诗铸, 黄平. 摩擦学原理 (第 4 版). 北京: 清华大学出版社, 2012.
 - [7] 杨磊. 植物油基 MQL 切削液的润滑机理与应用基础研究 [D]. 镇江: 江苏大学, 2013.
 - [8] International Organization for Standardization, ISO 25178 - 2: 2012 (E)-Geometrical product specifications (GPS)—Surface texture: Areal—Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters, Published in Switzerland, 2012.
- 第一作者: 裴宏杰, 副教授, 江苏大学机械工程学院, 212013 江苏省镇江市
- First Author: Pei Hongjie, Associate Professor, School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China