

doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2014.02.006

7075 - T6 铝合金单向超声振动车削表面 质量及形貌特征

栾晓明, 胡斌梁, 周知进

(湖南科技大学 机械设备健康维护省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘要:对7075-T6铝合金试件采用普通切削(CT)和振动切削(UVC)加工方法进行了加工实验,分析了2种切削加工方法在不同参数下对铝合金试件加工表面粗糙度的影响.试验研究表明:在相同的进给量和切削深度情况下,随着车削速度的变化,普通切削获得的加工表面粗糙度先减小后增大再减小,但随着转速的增大进入高速切削后,工件表面粗糙度值逐渐趋于稳定;随着进给量的增加超声振动硬车削与普通硬切削加工表面粗糙度都呈上升趋势,超声振动切削表面粗糙度较小;在切削速度、进给量相同的条件下,普通硬质切削7075铝合金加工表面粗糙度随着切削深度的增加而增加,而超声振动切削7075铝合金加工表面粗糙度随着切削深度的增加先减小后增加.通过对获得实验数据的分析以及对车削加工获得的加工表面显微形貌的观测,证实了超声振动加工在难加工材料加工中的优势.

关键词:7075-T6铝合金;普通车削;超声振动车削;表面粗糙度

中图分类号:TG506.5

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2014)02-0027-04

Research on unidirectional ultrasonic vibrations turning 7075 - T6 aluminum alloy surface quality and morphology

Luan Xiao - ming, HU Bin - liang, ZHOU Zhi - jin

(Hunan Provincial Key Laboratory of Health Maintenance for Mechanical Equipment,
Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: 7075 - T6 aluminum alloy specimens were tested for machining experiments by using ordinary cutting (CT) and the vibration cutting (UVC) processing methods, to analyze the influence of cutting parameters on the work piece surface roughness. Experimental results show that: In the same amount of feed and depth of cut, speed with the turning changed, the surface roughness of ordinary cutting reduced first decreases and then increases again, but with the speed increased into the high - speed, the surface roughness become stable; The surface roughness uptrend with the feed rate increased of ultrasonic vibrations hard turning and ordinary hard cutting; In the same cutting speed and feed rate, with cutting depth increased, 7075 Aluminum ordinary hard cutting surface roughness increased, but the ultrasonic vibration cutting surface roughness first decrease and then increase. Through the analysis of experimental data obtained and the observations of the microscopic morphology of the machined surface after turning, the advantage of ultrasonic vibration machining in difficult materials processing is confirmed.

Key words: 7075 - T6 aluminum alloy; turning; ultrasonic vibration turning; surface roughness

收稿日期:2014-03-03

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(S2010J5042);湖南科技大学研究生创新基金项目(S120017)

通信作者:胡斌梁(1965-),男,湖南双峰人,博士,教授,主要从事机械制造、精密测量技术、图像处理等方面的教学与研究. E-mail: blhu@hust.edu.cn

7075 铝合金系高强硬铝合金,由于具有较高的强度和硬度、较好的抗蚀性和抗磨性以及优良的综合性能,广泛应用于航空航天、模具加工、机械设备、工装夹具,特别用于制造飞机结构及其他要求强度高、抗腐蚀性能强的高应力结构体^[1-2]。振动切削是一种新型的非传统的特种切削加工方法,它是给刀具(或工件)以适当的方向、一定的频率和振幅振动,以改善其切削功效的脉冲切削方法。与普通切削相比,振动切削具有切削力小、切削热降低、工件表面质量高、切屑处理容易、刀具耐用度提高、加工稳定、生产效率高等优点,正在逐渐成为精密、超精密加工的重要加工手段之一^[3]。目前超声振动切削技术的应用越来越广泛,对超声车削加工原理的研究也日益深入。根据文献介绍,许幸新等人对 SiC 颗粒增强铝基复合材料做了超声振动钻削试验研究^[4];国内外科研人员也对振动切削表面质量进行了一系列实验研究^[5-11]。本文通过对比试验研究,研究了在超声振动切削与普通车削情况下不同切削参数对 7075 铝合金材料加工表面质量的影响,并对获得的加工表面形貌进行了观察和分析。

1 超声振动切削基本原理

超声振动切削加工是将超声波发生器产生的高频交流电信号,通过超声换能器,转化为高频的超声机械振动,通过变幅杆将振幅扩大,使与变幅杆相连的刀具产生强烈的机械振动,利用这种强烈的机械振动加工机械零件的一种特种切削加工方法。整个加工过程中,刀具与工件周期性的接触与分离产生脉冲式切削力,即刀具与工件接触时产生切削力 F ,当刀具与工件分离时切削力近似为零,超声振动切削就是利用这种脉冲切削力来加工工件的。

超声振动加工原理如图 1 所示。刀尖位移可以表示为

$$y = A \sin \omega t. \quad (1)$$

式中, A 为刀尖振幅, μm ; ω 为振动角频率, rad/s 。

对上式求导获得其振动速度,其最大值为 ωA 。

$$v = \frac{dy}{dt} = \omega A \cos \omega t. \quad (2)$$

车刀刀尖与工件的相对速度 v_r 为工件的回转速度与振动速度之和:

$$v_r = v_w + \omega A \cos \omega t. \quad (3)$$

在 t_1 时刻 $v_r = 0$, 刀具开始反向运动,与工件分离,到 t_2 时刻静止;然后以加速运动的方式靠近工件正向运动; t_3 时刻刀尖与工件开始接触, $[t_3, T + t_1]$ 是短暂的瞬时切削过程,完成这次切削加工之后,刀尖再次远离工件反向运动,进入下一个切削周期。

设超声振动切削的净切削时间为 t_c , 一般为一个振动周期 T 的 $1/10 \sim 1/3$, 即切削刃在一个周期中只有 $1/3$ 左右的时间在进行切削加工。切削刃与被加工工件表面时切时离,在一个切削循环过程中,刀具在很小的位移距离上获得很大的瞬时加速度,产生很高的局部冲击力,对加工材料产生瞬时撞击,使材料脱离被加工表面,理论上切削力仅为普通切削力的 $1/10 \sim 1/3$ ^[4-5]。超声振动加工这种脉冲式切削,使实际切削时间远小于刀具迫使被加工工件振动的时间,使被加工工件还没有进入稳态振动,切削刃就已经与工件分离,减小了切削过程中的颤振,达到“以振治振”的效果。

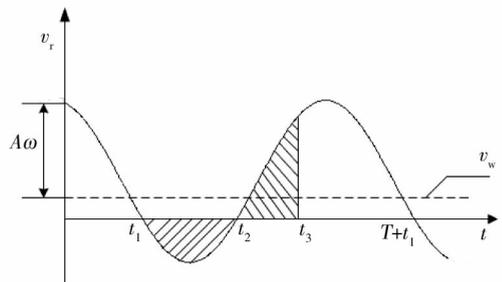


图1 振动切削相对速度曲线

2 实验条件

1) 试验用机床: 实验中所用的机床为 C6140W, 加工过程为干式切削;

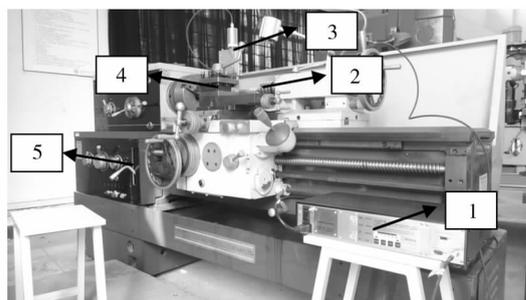
2) 试验下料: 7075 - T6 铝棒, 直径 $\Phi 35 \text{ mm}$, 长度 $L = 500 \text{ mm}$, 切削之前用刀具去掉工件材料表层, 然后再用于不同试验参数条件下的超声振动加工和普通加工实验;

3) 试验用测量仪器: 德国 Mahr 公司的 MarSurf M300 表面结构测量仪检测工件的表面粗糙度。测量参数选择: 取样长度 $L = 0.8 \text{ mm}$, 评定长度 $= 5L$ 。采用 KEYENCE 基恩士 VHX - 500FE 超景深显微镜对加工表面微观形貌进行观测;

4) 超声振动系统:

振动车削实验装置如图 2 所示。车削加工时, 在相同的进给量、切削深度、切削速度时进行普通切削和超声振动切削。切削参数分别选取如下: 切削速度: 260 r/min, 400 r/min, 500 r/min, 650 r/min, 800 r/min; 切削深度: 0.1 mm, 0.15 mm, 0.2 mm; 进给量: 0.1 mm/r, 0.15 mm/r, 0.2 mm/r; 超声振动加工参数选取: 振动频率选择 40 kHz 振幅, 振幅为 $10 \mu\text{m}$ 。

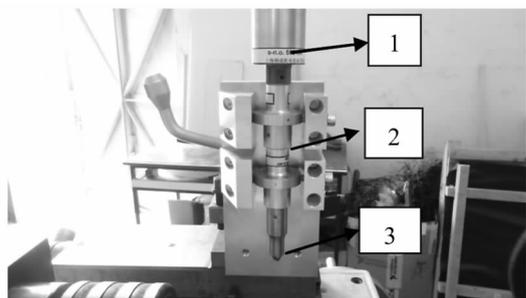
超声振动方向沿主切削力方向施加, 超声波发生器的输出频率为 40 kHz, 输出功率分别为 0 W 和 100 W。当输出功率为 0 W 时, 即为普通车削加工, 当输出功率为 100 W 时为超声振动切削。



1. 超声波电源;2. 工件;3. 振动加工系统;4. 振动系统同装夹装置;5. 试验用机床

图2 超声振动车削实验装置

振动系统构成如图3所示。



1. 换能器 2. 变幅杆 3. 刀具

图3 振动系统构成

3 实验结果及分析

采用普通加工(CT)和超声振动加工(UVC)对7075-T6 铝合金试件进行车削加工,得到了不同切削参数(切削速度、进给量、切削深度)条件下试件表面粗糙度值.下面深入分析2种切削方式下不同切削参数与粗糙度之间存在的一些规律.

3.1 切削用量对工件表面粗糙度的影响

通过对试验获得数据的处理得出了在相同的进给量和切削深度(切削深度0.2 mm,进给量0.1 mm/r)的情况下不同车削速度下,获得了超声振动加工与普通加工工件表面粗糙度的实验数据.由图4可知在相同的进给量和切削深度的情况下,随着车削速度的增大,普通切削获得的加工表面粗糙度先减小后增大再减小,但随着转速的增大进入高速切削阶段后,工件表面粗糙度值逐渐趋于稳定.

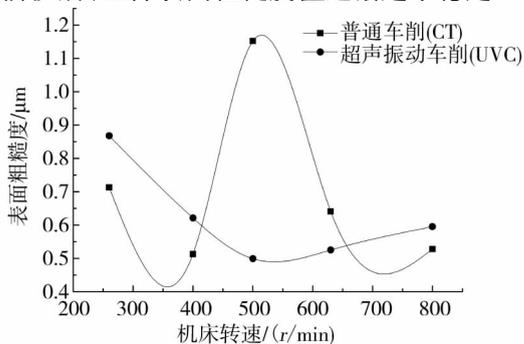


图4 机床转速与加工工件表面粗糙度的关系

这是因为超声振动硬车削时,由于超声振动切削的脉冲切削效应,在整个超声振动加工过程中,刀具与工件周期性的接触与分离,在一个振动切削周期 T 内有效接触切削时间为 t_c . 由于超声振动切削受临界切削速度为

$$v_c = 2\pi Af = 2 \times 3.14 \times 10 \times 10^{-6} \times 40 \times 10^3 \times 60 = 150.72(\text{m/min}).$$

为取得良好的振动切削效果,其实际切削速度 v 应取临界切削速度的 $1/3$,

$$v < v_c/3 = 150.72/3 = 50.24(\text{m/min}).$$

此时机床的实际转速为

$$n = \frac{1}{3}n_c = \frac{1}{3} \times \frac{1000v_c}{\pi D} = \frac{1}{3} \times \frac{1000 \times 150.72}{3.14 \times 35} = 457(\text{r/min}).$$

当切削速度 $v < v_c/3$ (或者当机床的转速 $n < 457 \text{ r/min}$) 时,随着切削速度的增大,切削力减小,被加工工件的表面粗糙度也随着切削速度的变化而呈现相同变化规律;当切削速度 $v > v_c/3$ (机床的转速 $n > 457 \text{ r/min}$) 时,切削力随着机床转速的增大而呈增大,这是由于随着切削转速的增加,有效切削时间 t_c 延长,脉冲切削效应逐渐减弱,切削力逐渐增大,逐渐接近于普通硬质切削的切削力,因此加工工件的表面粗糙度也逐渐接近于硬质切削加工表面的粗糙度;当超声振动切削速度达到临界速度 v_c 时,超声振动切削即转化为普通车削^[12].

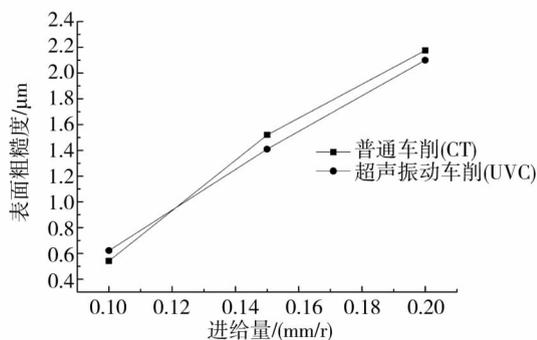


图5 进给量与表面粗糙度之间的关系

由图5进给量与表面粗糙度之间的关系可以看出,随着进给量的增加超声振动硬车削与普通硬切削加工表面粗糙度都呈上升趋势,超声振动切削表面粗糙度较小,这表明超声振动切削在相同的参数条件下,加工表面更精密,可以用低转速的超声振动切削加工达到高转速的普通切削加工的效果,从而达到精加工的目的.

3.2 加工表面微观形貌观测

图7为超景深显微镜观测到的超声振动车削加工表面与普通车削加工表面的表面形貌.图(a)、图(c)为普通切削加工表面超景深图片,图

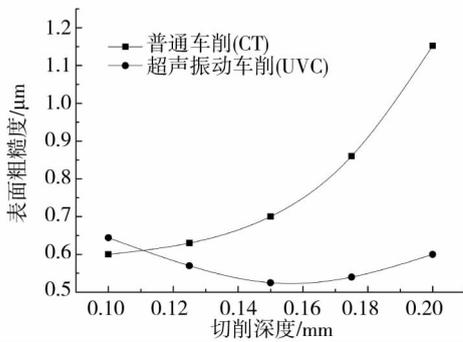


图6 切削深度与表面粗糙度之间的关系

(b)、图(d)为超声振动加工表面超景照片,由图(a)、图(c)可以看出在相同的试验参数条件下普通车削加工表面有明显的积屑瘤和划痕,这是由于刀尖处积屑瘤流入刀具与工件的接触区,对工件表面形成“犁沟”,使加工表面变得粗糙,积屑碎片还可能嵌入工件表面造成硬质点,由(b)、图(d)图可以看出,施加超声振动后,加工表面形貌明显好转,积屑瘤、积屑碎片嵌入已加工表面现象和工件表面的“犁沟”现象得到明显改善,加工表面质量显著提高。

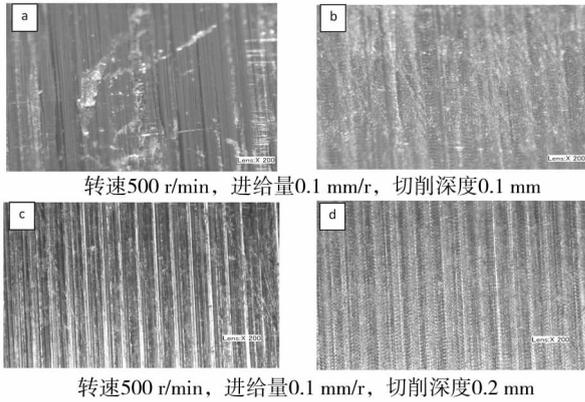


图7 被加工表面超景深显微镜照片

3.3 切屑形态

超声振动加工更容易获得较好的加工表面,由切屑表面形貌可以看出,图8(a)为普通切削加工切屑表面形貌,可以看出普通切削切屑不均匀较厚,且切屑边缘有锯齿状毛刺,图8(b)为超声振动加工切屑表面形貌,由图可以看出施加超声振动后,切屑较薄比较平整,且边缘无锯齿状毛刺现象;普通切削加工产生的带有锯齿状毛刺的切屑更容易刮伤加工表面,从而破坏工件表面质量,施加超声振动后的超声振动加工,可以有效的抑制切屑边缘毛刺现象的产生,从而获得更加优良的加工表面。

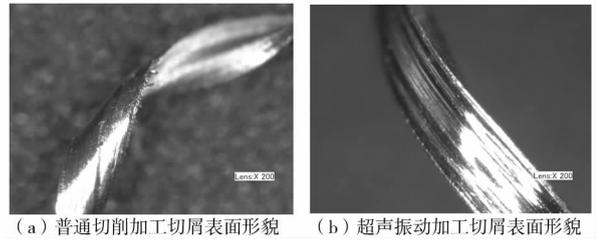


图8 切屑形态超景深显微镜照片

4 结论

1) 在车削速度、进给量、切削深度相同的条件下,超声振动切削和普通车削加工相比较,可以获得表面质量更好的加工表面。

2) 超声振动切削由于其反复的熨压效应,刀具反复的熨压已加工的表面,从而减小已加工表面残留面积的高度,进而降低了已加工表面的表面粗糙度。

3) 7075 铝合金在振动参数为振动频率选择 40 kHz 振幅,振幅为 10 μm. 转速 500 r/min,进给量 0.1 mm/r,切削深度 0.2 mm,可获得更加优良的切削加工表面。

参考文献:

- [1] 张钰. 铝合金在航天航空中的应用[J]. 铝加工, 2009(3): 50-53.
- [2] 李成功, 巫世杰. 先进铝合金在航空航天工业中的应用与发展[J]. 中国有色金属学报, 2002, 12(3): 16-21.
- [3] 焦锋, 李太平, 赵勇. PCBN 刀具超声振动车削 45 淬硬钢的切削力与温度研究[J]. 工具技术, 2009(11): 22-25.
- [4] 许辛新, 张晓辉, 刘传绍, 等. SiC 颗粒增强铝基复合材料的超声振动钻削试验研究[J]. 中国机械工程, 2010, 21(21): 2573-2577.
- [5] 沈学会. 超声振动辅助铣削加工技术及机理研究[D]. 山东: 山东大学, 2011.
- [6] 陈杰, 田光学, 迟永刚, 等. 超声振动车削 W-Fe-Ni 表面质量及其形貌特征研究[J]. 工具技术, 2007(8): 44-47.
- [7] 焦锋, 赵勇, 李太平. 超声硬切削 45 淬硬钢的切削温度研究[J]. 机械设计与研究, 2009(4): 80-82.
- [8] 曹凤国, 张勤俭. 超声加工技术的研究现状及其发展趋势[J]. 电加工与模具, 2005(S1): 25-31.
- [9] 程雪利, 赵波, 刘传绍, 等. 超声振动切削 SiC_p/Al 复合材料的刀具磨损机理研究[J]. 煤矿机, 2007(28): 104-105.
- [10] Ahmed N, Mitrofanov A V, Babitsky V I, et al. 3D finite element analysis of ultrasonically assisted turning[J]. Computational Materials Science, 2007(39): 149-154.
- [11] 吴雁, 孙爱国, 赵波, 等. Al₂O₃/ZrO_{2(n)} 微-纳米复合陶瓷超声振动精密磨削表面微观特征试验研究[J]. 航空学报, 2007, 28(4): 1009-1013.
- [12] 陈平. 超声振动车削 SiC_p/Al 材料的切屑形态特征[J]. 现代制造工程, 2006(1): 84-85.