

超声变幅杆的超声精密加工

张云电 喻家英 王 纯

(杭州电子工业学院机械工程系, 杭州 310037)

1993年6月14日收到

本文探讨了超声变幅杆的精密加工。作者研制了双刀反向进给超声车削装置和单刀正向进给超声车削装置,采用了具有频率跟踪系统的晶体管型超声波发生器。超声车削设备连续140min工作时,频率漂移量只有29Hz,最高温度只有38℃。

试验结果表明,加工精度可达IT7—IT8,表面粗糙度 R_a 可达0.4—0.8 μm ,加工效率提高15倍,有效地解决了超声变幅杆的精密加工难题。

ABSTRACT

Precision machining of ultrasonic amplitude transformer is investigated in this paper. ultrasonic turning devices with double tools in opposite-direction feed and with single tool in regular feed are developed. Transistor generator with frequency-tracing system is used. when the ultrasonic cutting tool operates continuously for 140 minutes, its highest temperature is but 38℃ and its frequency floats by only 29 Hz.

Test results show that machining precision may reach IT7—IT8, surface roughness R_a may reach 0.4—0.8 μm and machining efficiency may be increased 15 times. Precision machining of ultrasonic amplitude transformer can thus be achieved by an ultrasonic lathe.

一、引 言

超声变幅杆是超声加工系统的重要零件。为了保证超声变幅杆的声学特性,减少其频率漂移和声损耗,设计人员对它提出了高精度、高表面质量的加工要求,例如超声变幅杆外圆表面的粗糙度要求在 $R_a 0.8\mu\text{m}$ 以下。

为了满足各种功率超声的应用要求,变幅杆的类型已发展成为多种形式,如阶梯形、圆锥形、指数形、悬链线形、复合形等^[1]。

除了阶梯形和圆锥形两种变幅杆外圆的精密加工比较简单之外,其它复杂形状的变幅杆外圆通常采用传统工艺进行精密加工,即首先在靠模车床或数控车床上仿形车削,表面粗糙

度 R_a 值达到3.2 μm ,留下大约0.1mm的加工余量,用锉刀锉削后,再用砂布进行粗抛-精抛-细抛,达到图纸规定的尺寸精度和表面粗糙度。这种现行加工工艺存在下述问题:

1. 变幅杆的尺寸误差、形状误差较难控制,如对圆度、弯曲变形的要求较难保证,废品率较高。
2. 锉削工序和抛光工序效率很低,工人劳动强度大,加工质量较难保证,要求工人有很高的技术水平和丰富的生产经验。
3. 工艺流程长,加工方法落后,占用设备多,生产面积大,加工成本高。

由此可见,变幅杆外圆的精密加工在超声设备制造中是一普遍存在的技术难题,直接影响到超声设备的质量和制造技术水平的提

高^④。

作者使用自行研制的新型超声车削装置,对指数形变幅杆外圆进行了超声车削试验,获得了满意的加工效果,开辟了一条高效率精密加工超声变幅杆的新途径。

二、实验装置

作者自行研制了两套实验装置,其中一套是单刀正向进给超声车削装置(如图1所示),另一套是双刀反向进给超声车削装置(如图2所示)。

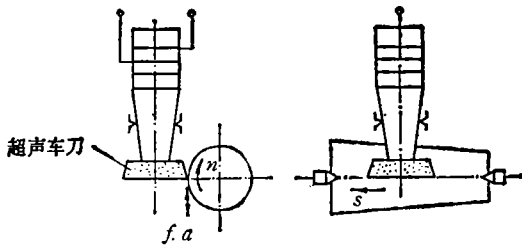


图1 单刀正向进给超声车削装置示意图

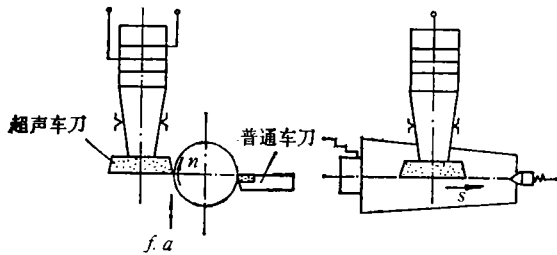


图2 双刀反向进给超声车削装置示意图

在双刀反向进给超声车削装置中,双刀是指一把超声车刀和一把普通车刀,其设计思想是双刀反向进给,辅之以弹性顶尖或拉力弹性顶尖,以抵消变幅杆在切削过程中的弯曲变形,减少热变形,保证加工精度。

对超声车刀来说,采用了机夹式可转位硬质合金刀片,而没有采用一振型车刀、四振型车刀和五振型车刀。考虑到排屑方便、减少切屑重量和冷却液对刀具振动频率的影响,采用了工件反转、刀片反装的切削方式。超声振动系统谐振频率采用FC-845数字频率计进行测量,刀尖振幅采用33JA-1 μ 螺旋读数显微镜进

行测量。

超声车刀刀尖高度对加工质量和刀具磨损有很大影响。因此,对这个高度有严格的要求,理论上车刀刀尖应高于零件回转中心一个振幅值(与工件反转、刀片反装的车削方式相对应)。当刀具下振时,刀尖正好处于工件的旋转中心处。因此,在超声车削装置中设置了刀尖高度微调机构(丝杠-倾斜燕尾机构)。当丝杠转动1°时,刀尖高度仅改变0.7 μ m,从而达到精确地微调刀尖高低之目的。由于超声车削装置有三个燕尾机构,刚度较低,因此又在刀尖高度微调机构中设置了锁紧机构。

为了解决超声车削变幅杆过程中,因电器元件、切削力、切削热、刀具磨损、声振系统的发热、外界环境等因素变化而引起的频率漂移问题,保证超声车刀刀尖振幅基本不变和超声车削过程的稳定,采用了具有频率自动跟踪系统的晶体管型超声波发生器。

表1给出了新型超声车削装置在车削过程中的频率变化。

表1 频率变化

试验时间 (min)	振动频率 (kHz)	集电极电流 I_c (A)	切削用量
0	19.557	2.0	主轴转速: $n = 45r/min$ 切削深度: $a_p = 0.1mm$ 进给量: $s = 0.043mm/r$
10	19.533	2.0	
20	19.544	2.0	
30	19.549	2.0	
45	19.542	2.0	
60	19.532	2.0	
70	19.533	1.8	
80	19.533	1.8	
90	19.537	1.8	
100	19.538	1.8	
110	19.538	1.8	
120	19.539	1.8	
125	19.535	1.8	
130	19.530	1.8	
140	19.528	1.8	

试验表明,这种新型超声车削设备具有下述特点:

1. 连续进行超声车削140min,频率漂移量为29Hz,频率稳定度为0.15%。超声振动系统

工作稳定,切削效果显著,切屑柔软,形状一致,径向切削力小,工件上无温升,发生器功放管温度约 35℃,电感、电容无热烫感,夹芯式压电换能器温度 38℃。

2. 超声车刀振动稳定,刀尖振幅达 16μm,冷却液(机油加锭子油)雾化很好。

3. 当工艺系统出现颤振时,微调超声波发生器频率 15Hz 左右,即可消除颤振。

4. 系统操作简单,易于调试,抗环境干扰能力强,制造成本低,适用于机械制造工厂使用。

三、实验结果

选用指数形变幅杆作为试件,试件材料为工具钢。变幅杆输入端直径 $D_1 = 30\text{mm}$,输出端直径 $D_2 = 10\text{mm}$,长度为 137.72mm。指数形变幅杆直径变化规律为

$$D = 30e^{-0.00798x}$$

实验在国产 CQM6132 车床上进行。刀片材料为超细颗粒硬质合金;刀具前角 $r_0 = 0^\circ$,主后角 $\alpha_0 = 5^\circ$,副后角 $\alpha'_0 = 5^\circ$,刀尖圆弧半径 $r_\epsilon = 1\text{mm}$ 。

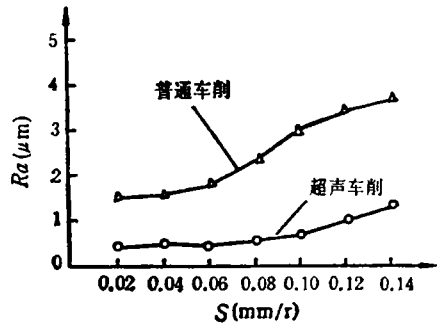


图 4 进给量 s 与表面粗糙度 R_a 的关系
 $n = 250\text{r/min}$, $a_p = 0.1\text{mm}$

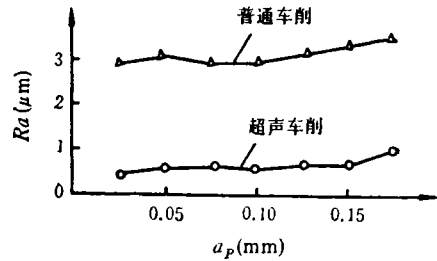


图 5 切削深度 a_p 与表面粗糙度 R_a 的关系
 $n = 180\text{r/min}$, $s = 0.086\text{mm/r}$

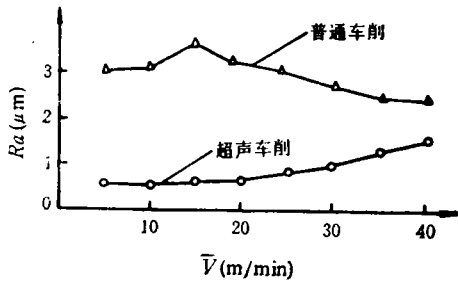


图 3 平均切削速度 \bar{V} 与表面粗糙度 R_a 的关系
 $a_p = 0.15\text{mm}$, $s = 0.103\text{mm/r}$

图 3—5 为超声车削和普通车削变幅杆外圆时工艺参数对表面粗糙度的影响规律。超声车削的工艺效果受临界切削速度的限制。超声车刀的最大振动速度 $V_c = 2\pi fa$, f 为振动频率, a 为刀尖振幅。当切削速度 $V \leq V_c/3$ 时,超声车削的工艺效果最为显著。因此,提高振动频率和刀尖振幅,可以提高切削速度。

为了选择最优切削用量,作者以表面粗糙度 R_a 值为目标函数,采用正交试验法,依照各

因素指标均值极差处理数据对切削用量进行优选。试验条件为: $r_0 = 0^\circ$, $\alpha_0 = 8^\circ$, $\alpha'_0 = 8^\circ$, $r_\epsilon = 1.2\text{mm}$, $f = 19.53\text{kHz}$, $a = 16\mu\text{m}$,超声车刀的最大振动速度 $V_c = 2\pi fa = 117.8\text{m/min}$,

表 2 正交试验数据

切削用量	$n(\text{r/min})$	$s(\text{mm/r})$	$a_p(\text{mm})$	$R_a(\mu\text{m})$
1	180	0.069	0.05	0.66
2	180	0.086	0.10	0.59
3	180	0.103	0.15	0.77
4	250	0.069	0.10	0.84
5	250	0.086	0.15	0.91
6	250	0.103	0.05	0.87
7	355	0.069	0.15	0.58
8	355	0.086	0.05	0.66
9	355	0.103	0.10	0.84
K_1	2.02	2.08	2.27	
K_2	2.62	2.16	2.19	
K_3	2.08	2.48	2.19	
k_1	0.67	0.69	0.76	
k_2	0.87	0.72	0.73	
k_3	0.69	0.83	0.73	
R	0.20	0.14	0.03	

临界切削速度 $V = V_c/3 = 39.3\text{m}/\text{min}$ 。工件转速 $n = 180, 250, 355\text{r}/\text{min}$ ，切削速度 $V = 5.65\text{—}33.44\text{m}/\text{min}$ 。进给量 $s = 0.069, 0.086, 0.103\text{mm}/\text{r}$ ，切削深度 $a_p = 0.05, 0.1, 0.15\text{mm}$ 。正交试验数据见表 2。

根据极差 R 值的大小，可以看出：工件转速 n （切削速度 V ）对表面粗糙度的影响最大，进给量 s 对表面粗糙度的影响次之，切削深度 a_p 对表面粗糙度的影响最小。

在上述试验条件下，把 R_a 为最小值（ $R_a = 0.58\mu\text{m}$ ）的切削用量组合起来，即得超声车削变幅杆的最优切削用量为

$$\begin{aligned} n &= 355\text{r}/\text{min}, s = 0.069\text{mm}/\text{r}, \\ a_p &= 0.15\text{mm} \end{aligned}$$

四、结果分析

1. 新型超声车削装置采取了下述措施，以提高频率稳定性：

- (1) 采用了频率自动跟踪系统。
- (2) 将镍片磁致伸缩换能器改为电致伸缩型夹芯式压电换能器。
- (3) 将阶梯形变幅杆改为圆锥形变幅杆。
- (4) 将变幅杆材料改成声损耗小的钛合金或工具钢。
- (5) 将变幅杆位移节点的弹性支承改为法兰盘刚性支承（法兰盘最薄处为 5mm ）。
- (6) 改善声振系统的支承结构形状，避免振型关联颤振和 nonlinear 强迫振动系统的超谐波效应，减少低频自激振动对声振系统、超声波发生器动态阻抗、振动频率和刀具的影响^[3]。因此，在超声波发生器上设置了频率微调机构，当

工艺系统发生颤振时，只要微调声振系统谐振频率，即可避免工艺系统的颤振。

2. 采用新型超声车削装置对变幅杆进行精密加工，可获得以下加工效果：

- (1) 加工精度达到 IT7—IT8，表面粗糙度 R_a 值达到 $0.8\mu\text{m}$ 以下，甚至可以达到 $R_a = 0.2\mu\text{m}$ 。
- (2) 采用传统加工工艺精密加工超声变幅杆外圆，包括“精车-锉削-抛光”，约需 90min 。采用超声车削方法精密加工变幅杆，取 $n = 355\text{r}/\text{min}$ ， $s = 0.069\text{mm}/\text{r}$ ，实际切削长度 $l = 137.72\text{mm}$ ，加工时间为 5.62min ，即超声车削的加工时间只有传统加工方法的 $1/16$ ，超声车削提高加工效率 15 倍。
- (3) 每把硬质合金刀片有四个切削刃，每个切削刃的耐用度为 40min ，故每把刀片的耐用度为 160min ，可加工 28 个变幅杆。

3. 效益分析

- (1) 去掉锉削、抛光两道工序，缩短工艺路线，大大降低了工人的劳动强度。
- (2) 减少锉刀和砂布消耗量，节约能源，降低加工成本。
- (3) 降低废品率。
- (4) 使用机夹可转位硬质合金刀片作为超声车刀，每把刀片可加工 28 个变幅杆。每把刀片按 10 元计算，则每个变幅杆消耗刀具的费用只有 0.36 元。

参 考 文 献

- [1] 马大猷、沈椽，声学手册，科学出版社，1983。
- [2] 李祥林、薛万夫、张日昇，振动切削及其在机械加工中的应用，北京科学技术出版社，1985。
- [3] 上海市大专院校机械制造工艺学协作组，机械制造工艺学，福建科学技术出版社，1985。