

单点金刚石车削技术的研究

李池娟, 孙昌峰, 孟凡波, 孟小龙
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要:介绍了单点金刚石车削原理, 分析了单点金刚石车削技术中影响光学零件面形精度和粗糙度的重要技术因素, 同时提出了相应的解决方案, 并展望了单点金刚石车削技术在光学制造领域的应用前景。

关键词:单点金刚石车削 (SPDT); 面形精度; 表面粗糙度

中图分类号:TH161⁺.5

文献标识码:A

Study on single point diamond turning technology

LI Chi-juan, SUN Chang-feng, MENG Fan-bo, MENG Xiao-long
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract:Single point diamond turning technology principle is introduced in this paper. The important factors which influence surface accuracy and surface roughness are analyzed and the methods to resolve the problems are presented. Expect the application of single point diamond turning technology in optical fabrication area.

Key words:single point diamond turning (SPDT); surface accuracy; surface roughness

1 引 言

计算机数控单点金刚石车削技术 (SPDT) 是美国国防部科研机构于 20 世纪 60 年代率先开发、80 年代得以推广应用的一项新型光学零件加工技术。它是在超精密车床上, 采用天然单晶金刚石作刀具, 在对机床和加工环境进行精密控制的条件下, 直接利用天然金刚石刀具单点车削加工出符合光学质量要求的光学零件^[1]。该技术目前可加工的材料主要有红外晶体、有色金属和部分激光晶体以及光学塑料等。主要用于结构复杂和特殊要求零件的制造, 如高次非球面、衍射光学元件、折衍混合光学元件、微透镜阵列、激光热沉元件、扫描转鼓、轻质反射镜、 $F-\theta$ 镜、精密模压模具、大尺寸 KD*P 倍频晶体、半导体外延基片等。经过 20 多年的发展, 这项技术已广泛用于多种高精度光学元件的加工。

2 金刚石单点车削原理

金刚石车削加工时, 由于单晶天然金刚石非常

坚硬而尖锐, 可以认为材料的去除是在一个很薄的剪切区域内的剪切过程。认为在加工时不产生切削刃接触区, 而且没有边缘的流动变形, 这一剪切区从切削端向前延伸。光滑的金刚石尖端可以使加工表面具有最小的残余应力和理想的粗糙度。根据金刚石切削刃的几何形状和刀具每转的进给量, 可以计算理论的表面粗糙度 R_{th} :

$$R_{th} = f^2 / 8r$$

式中, f 为刀具每转的进给量, $\mu\text{m}/r$; r 为金刚石刀尖的半径, mm 。

实际加工过程中, 金刚石切削零件的精度和粗糙度除了与刀具的进给量和金刚石刀尖的半径有关外, 还受到多种综合因素的影响。如机床运动的精度和平稳性, 加工外界环境、温度和湿度,

作者简介: 李池娟 (1964 -), 女, 高级工程师, 从事光学制造和检测方面的工作。E-mail: lichijuan@tom.com

收稿日期: 2009-07-01

刀具的安装和磨损程度,冷却液的选择和喷射流量等工艺因素都会给零件的粗糙度和精度产生影响。

3 单点金刚石车削技术 (SPDT) 重要技术因素的分析

单点金刚石车削技术 (SPDT) 加工出的光学元件主要存在两方面的误差,即面形精度误差和表面粗糙度。以下将分别论述影响这两方面光学质量的加工技术环节。

3.1 影响面形精度的加工技术环节的分析

影响面形精度的加工技术环节主要有机床因素、装卡因素、刀具因素和冷却液因素等方面。

3.1.1 机床因素的影响

机床运动精度误差对光学零件的加工精度是致命的,因为它将被相似地复制到被加工的零件上。机床运动精度误差主要包括主轴运动误差和导轨运动误差。主轴运动误差又包括主轴的轴向窜动和主轴的径向跳动误差;导轨运动误差包括纵向进给误差和横向移动误差。主轴的轴向窜动误差和导轨的纵向进给误差直接作用在被加工零件的面形误差上,而主轴的径向跳动误差和导轨的横向移动误差将引起被加工零件横向坐标位置的不重合,使零件的面形控制精度降低。

此外,机床所处的加工环境的隔振性和温度、湿度控制的恒定性都将影响被加工零件的面形精度。图1所示为机床的振动使零件表面形成“蛇纹”。

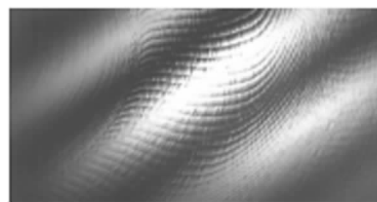


图1 机床的振动使零件表面形成“蛇纹”

3.1.2 装夹因素的影响

对于采用真空吸附方式固定被加工的零件,基准面的面形误差因真空吸附产生的变形将传递到零件上;对于采用机械装夹方式固定被加工的零件,设计夹具时应使零件在被夹持时不产生应力;或在不得已的情况下,使零件的装夹应力尽量小而均匀,在零件从夹具上取下后,装夹应力能够消失。

3.1.3 刀具选用和安装对加工精度的影响

通常,单点金刚石车削刀具分为波纹度控制刀和非波纹度控制刀两类,在加工过程中,刀具的波纹度会传递到被加工零件上,影响被加工零件的精度。因此,根据加工的不同阶段合理选配不同类型的刀具就显得十分重要。另外,刀具安装的坐标位置和高度对加工精度也会产生重要影响。当刀具圆弧的圆心不在主轴中心线上时,车削的零件表面会产生M形或W形,或在零件中心出现“圆柱”或“圆锥”。

3.1.4 冷却液因素的影响

切削过程中保持冷却液喷射的流量均匀一致性对被加工零件面形精度的影响十分明显,图2显示的是车削过程中因冷却液的喷射流量的变化使车削零件面形形成突变。

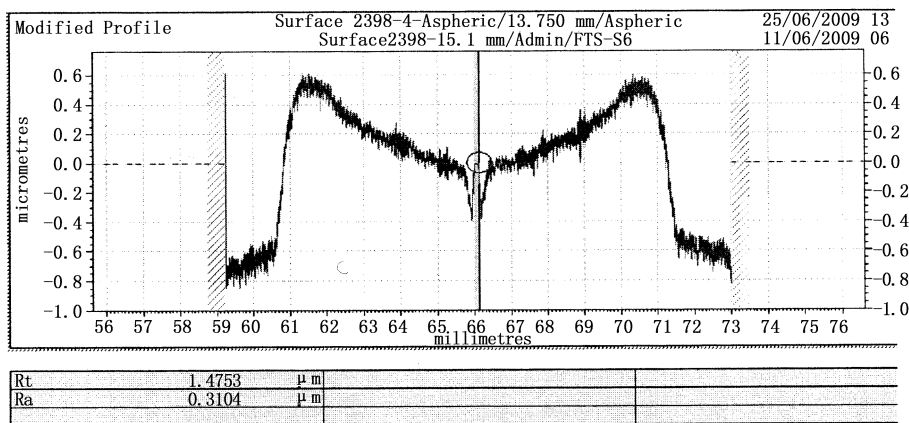


图2 冷却液的喷射流量变化使车削零件表面形成突变

3.2 影响表面粗糙度的加工技术环节分析

从理论上,采用单点金刚石车削的零件,表面粗糙度满足 $R_{th} = f^2/8r$, f 为刀具每转的进给量, r 为金刚石刀尖的半径。似乎只要减少刀具每转的进给量和加大金刚石刀尖的半径就可以无限制地使零件表

面粗糙度变小,实际情况并非如此,这是假设零件表面在切削过程中不会破碎的前提下得出的。实际加工的表面粗糙度要远远大于理论值。这是由于加工材料结构存在缺陷、机床刀具的振动、刀具的缺陷以及切削方式的不准确等因素引起的^[2]。以下从几

个方面分析影响表面粗糙度的工艺因素。

3.2.1 机床主轴转速对零件表面粗糙度的影响

每一种被车削材料因其结构和物化性质不同,都有与之相匹配的最佳车削主轴转速,在这个转速点上,通过选择合适的刀具和切削深度可使零件表面粗糙度均方根值最小。高于或低于这个转速点,无论怎样选择刀具和切削深度都无法获得最佳表面粗糙度和光洁度。因此,在零件的精车阶段,正确选择机床主轴转速是获取光学零件最佳表面粗糙度的关键参数。

3.2.2 金刚石刀具参数选择对零件表面粗糙度的影响

在车削金属元件(如铝、铜等)时,金刚石刀具的前倾角为 0° 或小的正倾角。但以同样刀具的前倾角车削红外晶体和激光晶体将会引起晶格不同程度的破坏,使零件表面“发毛”,粗糙度均方根值急剧变大。实验表明,车削红外单晶锗的刀具的前倾角为 -15° 左右,车削激光晶体 KD^*P 的刀具的前倾角为 -45° 左右。

为了获得好的零件表面粗糙度,刀具的圆弧半径要与被车削的零件的曲率半径相匹配,通常车削大曲率半径零件时,选用大圆弧半径的刀具,反之亦然。尤其为了车削非常细微的衍射沟槽,又要获得非常光滑的表面,正确选择刀具形状和圆弧半径就显得更为重要^[2]。

另外,金刚石刀具的刀刃质量、刀面质量、刀杆尺寸及刀具的安装刚度都会对被车削零件的表面粗糙度产生严重影响。

3.2.3 进刀量(切削深度)对零件表面粗糙度的影响

一个零件的车削过程包括粗车和精车两个阶

段,选择粗车进刀量和精车进刀量的合理搭配,可使表面粗糙度收敛质量与收敛速率得到优化,在最短的时间里,获得最好的表面粗糙度。

3.2.4 冷却液对零件表面粗糙度的影响

最终的零件表面加工质量对加工时使用的冷却液的流量和种类非常敏感。冷却液的喷射流量太少则无法带走车屑,流量太大则加剧对零件和刀具流体力学的影响,从而使切入深度不能在整个表面上保持稳定。为了获得理想的表面粗糙度,不同的被车削材料需要不同的冷却液与之匹配。

4 结论和展望

单点金刚石车削(SPDT)技术是光学元件制造极为有效和经济的方法,有些情况下甚至是唯一的方法,在光学表面加工中的作用将会不断扩大。目前正在进行刀具、切削方法、材料、冷却液和动力学条件下的相互作用等方面的研究,目的在于扩大可加工材料的品种。不久的将来,黑色金属在炭饱和气氛下可能实现单点金刚石车削;另一个应用是车削脆性材料,如玻璃等,其条件包括提高温度,改变应力状态,改变环境气氛,或改变玻璃的化学性质等^[3]。让我们进一步发挥想象力和创造力,使单点金刚石车削(SPDT)技术更加完善。

参考文献:

- [1] 张坤领,林彬,王小峰.非球面加工现状[J].组合机床与自动化加工技术,2007,(5):1-5.
- [2] 杨力,等.先进光学制造技术[M].北京:科学出版社,2001.
- [3] 辛企明,等.近代光学制造技术[M].北京:国防工业出版社,1997.