

精密切削中影响零件加工表面完整性的因素分析*

孙俊兰, 姜大志

(盐城工学院 机械工程系, 江苏 盐城 224003)

摘 要: 分析了精密切削中影响零件加工表面完整性的因素, 分析了各因素对加工表面完整性的影响, 指出刀刃几何形状、进给量、刀具磨损等对加工表面粗糙度影响最大, 刀刃钝圆半径对加工表面的变质层的影响最大, 从而合理地采取措施, 改善零件的加工表面完整性。

关键词: 精密切削; 加工表面粗糙度; 加工表面完整性

中图分类号: TH161.1

文献标识码: A

文章编号: 1671-532X(2002)04-0021-03

随着航空航天、仪表和微电子技术的发展, 对零件的尺寸精度和形状精度及表面粗糙度的要求越来越严格, 目前通常将被加工零件尺寸精度在 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$, 表面粗糙度在 $Ra 0.02 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 之间的加工方法称为精密加工, 而将加工精度高于 $0.1 \mu\text{m}$, 加工表面粗糙度小于 $Ra 0.01 \mu\text{m}$ 的加工技术称为超精密加工技术。超精密切削又称为亚微米切削, 目前正研究纳米级的超精密加工技术。超精密切削加工技术是现代制造技术的发展方向之一, 并且已成为在国际竞争中取得成功的关键技术。

1 精密切削零件加工表面完整性的特点

零件的加工表面完整性, 要求零件表面经过机械加工后其表面层无损伤, 表面层的物理—机械性能、金相组织都能满足使用要求, 并确保一定的使用寿命。精密切削常作为零件主要表面的终加工, 且精密切削零件通常是重要的关键零件, 对零件加工表面完整性要求较高, 其加工表面完整性直接影响其使用性能。

零件的加工表面完整性包含两方面的内容: 一是与表面纹理组织有关的部分, 研究零件最外层表面与周围环境之间界面的几何形状, 通常包括表面微观几何形状与表面缺陷等表面特征, 从微观几何学方面去研究零件表面状态, 通常用表面粗糙度作为衡量指标; 二是与表面层的物理特

性有关的部分——表面变质层, 从物理学方面研究其表面特征, 如变形硬化、残余应力、裂纹等。

零件经切削加工得到的表面层典型结构如图 1 所示。在金属基体的上部为变形层, 这是表面在加工过程中产生弹性变形、塑性变形和晶格扭曲而形成的加工硬化层。它的硬度较高且有残余应力, 金相组织也发生了很大变化。靠近基体的是塑性变形区, 塑性变形区上面是热变形区。在变形层的上面还有贝氏层、氧化层及吸附层等。

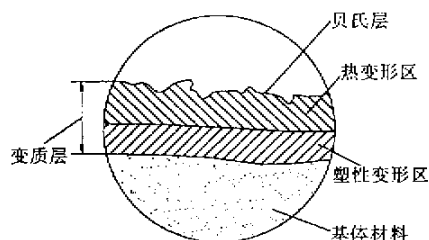


图 1 零件表面层结构示意图

Fig. 1 Surface structure sketch of part

精密、超精密切削属微量切削, 背切刀量、切削厚度都很小, 由于刀刃钝圆半径的存在, 使得精密、超精密切削有其自身的特点。精密切削的模型如图 2 所示, 图中的 O 点为分流点, 由于切削厚度很小, 分流点以上的一部分金属成为切屑沿前刀面流出, 分流点以下的未被切除的金属留在工件表面, 由于刀刃钝圆半径 ρ 的作用, 这部分金属被迫在很大压力下产生严重的压缩变形, 绕

* 收稿日期: 2002-09-03

作者简介: 孙俊兰(1956-), 女, 江苏盐城人, 盐城工学院副教授, 研究方向为机械制造技术。

过刀刃钝圆而沿后刀面流出,产生的恢复层加剧了刀具后刀面与加工表面间的摩擦,此时刀具后刀面对加工表面的熨压作用产生的塑性变形比刀具的切削作用更大,直接影响已加工表面的质量。

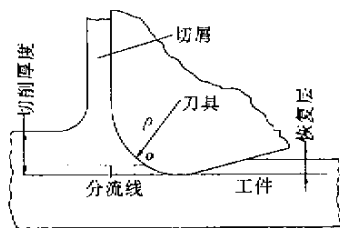


图 2 精密切削模型

Fig.2 Precision cutting model

在微切削加工过程中,由于切削刃的作用,在切削刃前端的工件材料晶格发生变形,当储存在变形晶格中的变形能积累到一定程度时,原子开始重新排列以便释放出储存在晶格中的变形能。但储存的变形能不足使全部原子都重新排列,随着刀具的切削刃向前推进,在靠近刀具和工件接触的工件表面上产生了晶格位错,位错沿着不同的滑移线方向呈现出连续交替运动状态,从晶格位错的产生和消失情况看,切屑被移去后,位错晶格则渗入切削刃底部的工件表面内。因为工件材料本身有弹性恢复功能,所以在工件表面形成了原子级台阶。残留在工件表面上的阶梯高度即可被认为是微切削过程中最终获得的表面粗糙度,残留在工件表面的变形晶格及产生的位错密度影响加工表面的变质层。

2 影响加工表面完整性的因素

在精密、超精密切削加工中,刀具的几何参数、切削用量、刀—屑间的摩擦系数、振动、刀具的磨损、机床的几何运动精度、切削液和周围工作环境等因素对精密切削零件的加工表面完整性都具有显著影响。

2.1 刀具几何参数对零件加工表面完整性的影响

2.1.1 刀口钝圆半径 ρ 对加工表面完整性的影响

在影响零件加工表面完整性的诸因素中,刀口钝圆半径对加工表面完整性有明显的影。资料研究表明,在切削条件完全相同的情况下,用其它几何参数相同而刀具刀口钝圆半径不同的金刚石车刀进行精密切削加工,对已加工表面粗糙度、变质层和表面残余应力进行分析,结果表明:当刀口钝圆半径 ρ 增加时,加工表面粗糙度值增大,加工表面的冷硬和残余应力增加。

刀口钝圆半径对加工表面完整性的影响主要是通过刀具实际切削前角的改变而导致附加切削变形而产生的。如图 2 所示,由于切削厚度 h_D 较小,刀—屑接触长度短,刀口圆弧部分在刀—屑接触长度中所占的比重相对增大,而刀口圆弧半径部分的平均前角较刀具标注前角要小得多,即刀具的实际切削前角减小,根据李和谢弗公式, $\Phi = \pi/4 - (\beta - \gamma_0)$, 剪切角 Φ 会随前角 γ_0 的减小而减小,切削变形增大,从而影响了加工表面粗糙度和表面变质层。

2.1.2 后角及刀具磨损对加工表面完整性的影响

后刀面对切削过程的作用是一个复杂的熨压过程^[2],后角越小,后刀面对加工表面的熨压作用越强,在工件表面会产生较大的弹性恢复变形,从而使加工表面粗糙度值减小,同时由于刀—工之间的摩擦产生的塑性变形也加剧了加工表面物理性能的变化,使冷硬和残余应力增加。刀具的强烈磨损,尤其是副切削刃上的边界磨损,对加工表面粗糙度的影响更为严重。刀具磨损引起后刀面与加工表面强烈的挤压摩擦,引起加工表面完整性的变化。

2.1.3 刀尖圆弧半径对加工表面粗糙度的影响

零件加工表面的粗糙度是由于刀具的轮廓映射到工件上的结果,加工表面粗糙度 R_{\max} 与刀尖圆弧半径 r_e 的关系为: $R_{\max} = \frac{f}{8r_e^2}$,当刀尖圆弧半径 r_e 增大时,表面粗糙度值减小。

2.2 切削用量对零件加工表面完整性的影响

(1) 切削速度 v_c 的影响。切削速度 v_c 对加工表面粗糙度的影响实质上是积屑瘤对 R_a 的影响。在切削中注意充分注入冷却和润滑作用都很好的切削液,并采用喷雾冷却等方法,使积屑瘤难以生成。故切削速度 v_c 变化对加工表面粗糙度的影响并不明显。

(2) 进给量 f 的影响。进给量对表面粗糙度的影响较大。由公式 $R_{\max} = \frac{f}{8r_e^2}$ 知,当进给量 f 增大时,表面粗糙度值增大。

加工表面残余应力随进给量的变化而变化,随着进给量的减小,表面残余应力减小,而且减小到某临界值时时,表面残余应力随进给量的减小而增大。

为获得高质量的表面,精密切削一般采用极小的进给量。但在切削试验中也发现,采用更小

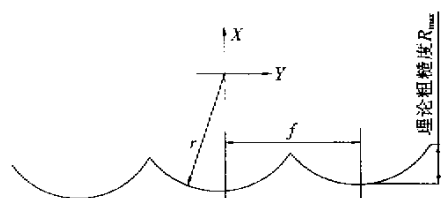


图3 理论粗糙度计算模型

Fig.3 Account model of theoretics roughness

的进给量切削时,工件表面挤压和粘结痕迹较明显,表面粗糙度值反而增大,加工效率也进一步降低。

(3)背切刀量 a_p 的影响。背切刀量 $a_p > 0.025 \text{ mm}$ 时,积屑瘤将随着 a_p 值的增大而增大,其原因是切削温度和积屑瘤底部粘结面积发生变化造成的^[3]。当 $a_p \leq 0.025 \text{ mm}$ 时,积屑瘤高度变化不大,即对加工表面粗糙度影响不大;由于天然金刚石刀具刃口锋锐,因此可选用较小背切刀量进行切削。但背切刀量不宜太小,当 $a_p < 0.005 \text{ mm}$ 时,切削较困难,易发生挤刮,造成加工表面粗糙度加大。

2.3 刀—屑间的摩擦系数对零件加工表面完整性的影响

当刀具与被切削材料间的摩擦系数增大时,摩擦角增大,剪切角减小,切削变形增大,从而影响已加工表面质量。

工件材料的组织结构对 R_a 也有一定的影

响。由于金刚石镜面车削时的背吃刀量较小,刀刃可深入到晶粒内部进行穿晶式切割,常出现不规则的空穴和划伤,因此工件材料本身的匀质性和微观缺陷对表面粗糙度有重大影响。

2.4 周围环境对零件加工表面完整性的影响

尽管精密加工机床具有很高的刚度,但振动仍然是影响加工表面粗糙度的主要原因之一。精密机床通常都有很高的固有频率,在精密加工过程中,实际的工艺系统是一个非常复杂的振动系统,系统中的振动使工件与刀具之间的相对位置发生了微幅振动,最终使表面粗糙度值增大、表面质量降低。

3 结论

精密、超精密切削加工技术是发展较快的一门技术,其发展目标为高效率、高质量、低成本,并逐步向超精密加工技术的民用化、商品化方向发展。本文分析了各因素对加工表面完整性的影响,指出在精密、超精密切削时,要提高零件的加工表面完整性,必须合理地选择刀具几何参数,采用较小的刀刃钝圆半径,合理地选择切削用量,提高刀具刃磨质量,优选金刚石刀具的晶面方向,选择刚性大、动态特性好的超精密机床,创造超稳定的加工环境。这对提高加工表面质量,改善零件加工表面完整性是十分重要的。

参考文献:

- [1] 王洪祥,张龙江,董申.微切削过程的分子动力学[J].制造技术与机床,2000(2):40-41.
- [2] 张雷,王立江,姜英正.PCD刀具精密切削产生超越性加工现象的研究[J].机械工程师,2002(2):8-9.
- [3] 王洪祥,董申,李旦.超精密车削表面粗糙度[J].制造技术与机床,2001(4):26-28.
- [4] 袁哲俊,王先逵.精密和超精密加工技术[M].北京:机械工业出版社,1999.

Research of Surface Integrity of Machined Parts in the Precision Machining

SUN Jun-lan, JIANG Da-zhi

(Department of Mechanic Engineering of Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, China)

Abstract: The factors that affect surface integrity of machined parts are discussed in during precision cutting and every factor that affects surface integrity of machined parts is analyzed in the paper. It points out that geometry shape of cutting edge, feeding and wear of cutting tool are main affecting to surface roughness of machined parts. It is thanked that dull round radius of cutting edge has largest affecting to changed property layer of machined surface. The reasonable technique can be used to improving surface integrity of machined surface.

Keywords: Precision machining; Surface roughness; surface integrity