

轴向振动钻削对进给方向毛刺形成的影响

徐国勇¹, 庞涛¹, 王贵成^{1,2}

¹江苏大学; ² 硅湖职业技术学院苏州市电梯安全技术重点实验室

摘要: 基于轴向振动辅助钻削原理,探讨了振动钻削对切出进给方向毛刺的影响。结果表明:由于施加轴向振动的作用,钻削加工中出现了脉冲和变厚钻削的过程,改善了钻削过程中的切屑的断屑条件,降低了轴向钻削力,从而减小了切削层材料的塑性变形,抑制了切出进给方向毛刺。

关键词: 轴向振动钻削;切出进给方向毛刺;脉冲切削;变厚切削

中图分类号: TG52;TH161

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2019.09.017

Influence of Axial Vibration Drilling on Feed-direction Burr

Xu Guoyong, Pang Tao, Wang Guicheng

Abstract: Based on the fundamental theory of axial vibration drilling, the influence of vibration drilling on the feed-exit burr is analyzed. The result shows that, due to axial vibration, vibration drilling has some unique characteristics, such as variable-thickness cutting and impulse cutting, which not only improve the chip-breaking conditions and working angle of the drill, but also reduce the thrust force. Therefore, the plastic deformation of workpiece material and the exit burr are effectively restrained and decreased.

Keywords: axial vibration drilling; feed-exit burr; variable-thickness cutting; impulse cutting

1 引言

孔加工技术在机械制造领域得到广泛应用,其对钻孔的精度和表面完整性的要求日益增高。新型材料以及难加工材料的广泛使用进一步提高了对孔加工技术的要求。振动钻削技术由于其高效和精密的加工特点,国内外的专家学者对其进行了大量的研究工作,并且取得了丰硕的研究成果。日本宇都宫大学隈部纯一郎教授^[1]提出了振动钻削过程中钻头静止化以及刚性化效果理论;加拿大学者 Simon S. F. C. 等^[2]以 Al6061-T6 铝合金为研究对象,提出了振动钻削进给方向毛刺高度的预测模型,并通过试验对其进行了验证。结果表明,通过合理的控制振动条件能够有效降低毛刺尺寸;张平宽等^[3]基于轴向振动钻削的几何模型,系统地开展了进给量和切削速度对钻头工作前角和后角的影响规律的研究,并建立了相应的数学公式,为振动钻削技术的研究和合理选择振幅和频率提供了新方法;长春大学史尧臣等^[4]以深小孔钻削为研究对象,对比分析了施加轴向振动后的钻削性能与普通钻削性能,结果表明,在钻削过程中施加轴向振动后可以改善传统钻削的断屑以及排屑效果。

本文以钻削理论和振动理论为基础,重点分析

了轴向振动钻削对切出进给方向毛刺的影响。

2 钻削毛刺的形成

在钻削加工中,在钻头钻入和钻出工件的表面上都会产生毛刺。根据王贵成^[5]提出的毛刺分类方法,钻削加工过程中产生的毛刺属于进给方向毛刺,钻头钻入工件表面生成的毛刺为切入进给方向毛刺,钻头钻出工件表面上产生的毛刺为切出进给方向毛刺。毛刺的生成受诸多因素的影响,钻削加工时,毛刺的尺寸和形貌在不同的钻削条件下会有明显的差异。图1为钻削加工中毛刺的生成模型。

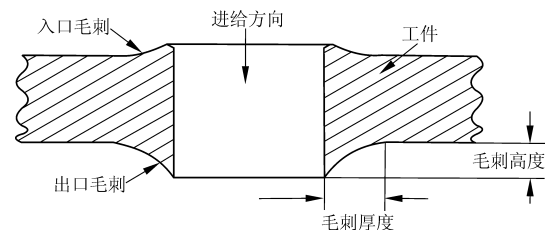


图1 钻削加工中的毛刺

Gillespie L. K.^[6]认为钻削加工中切出进给方向毛刺的形成总共经历了三个过程(见图2)。钻削过程中,随着钻头沿轴线方向不断进给,钻尖接近钻出表面时,钻尖前端工件材料厚度变薄,在钻削轴向力的作用下易发生变形,当材料的内部应力达到屈服极限时,沿进给方向将发生塑性变形;材料发生塑性变形以后,钻削机理发生了变化,一部分工件材料

受到切削刃的切削作用形成切屑,另一部分材料则受到钻头的挤压作用产生塑性流动,随着钻头的进给运动,材料的变形程度不断增强;工件出口处的材料变形量达到最大值,在横刃进一步地挤压作用下产生裂纹,并沿着径向向孔外部延伸,残留在孔的周围形成切出进给方向毛刺。

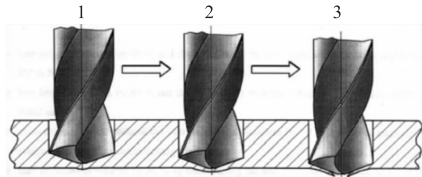


图2 钻削毛刺形成过程

3 轴向振动钻削对毛刺的影响

3.1 轴向振动钻削基本原理

振动钻削技术是在钻削加工技术和振动技术等基础上建立的新型钻削加工方法。振动钻削加工与普通麻花钻削加工的本质区别是在钻削加工过程中通过振动装置使钻头与工件之间产生规律而可控的相对运动,使切削用量按照一定规律变化,以达到改善切削性能的作用。由于振动效应,钻削过程就变为瞬态和脉冲的动态切削过程,从而可以改善钻削性能。图3为施加轴向振动的钻削模型。钻削时切削刃上某一点在进给方向上的位移 y 和进给速度 v_f 可表示为

$$y = f_r n t + A \sin(2\pi f t) \quad (1)$$

$$v_f = f_r n + 2\pi A f \sin(2\pi f t) \quad (2)$$

式中, f_r 为每转进给量; n 为钻头转速; t 为钻削时间; f 为振动频率; A 为振幅。

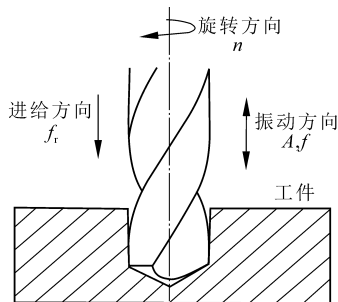


图3 轴向振动钻削基本模型

3.2 脉冲切削特性对毛刺的影响

在制造麻花钻的过程中,难以精确地做到两条切削刃的完全对称以及钻头轴线在其理想的中心位置,这会导致在钻削加工中,钻头轴线与加工表面不垂直以及钻头轴线与机床主轴旋转轴线发生偏离,从而引起钻尖在钻入工件时受到横向力的作用而发

生弯曲。钻尖处的等效弯曲刚度与钻头直径的4次方成正比,与钻头伸出主轴长度的3次方成反比,所以钻头直径越小,刚性就越差,钻头钻入工件时横向弯曲就越大。由于钻头弯曲造成钻头轴线与钻削表面发生偏斜,进而导致钻头两侧的毛刺尺寸相差较大,如图4所示^[7],钻头一侧毛刺的尺寸较大,而另一侧毛刺的尺寸相对较小。

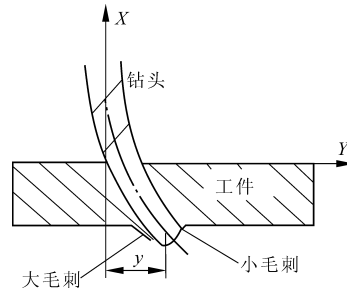


图4 麻花钻弯曲变形后产生的毛刺

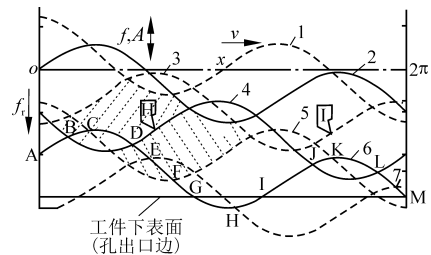


图5 轴向振动钻削($\omega_r = 1.5, f_r = 0.02, A = 0.75 f_r$)

从钻头钻入工件表面的过程来看,普通钻削时钻头连续钻入工件表面,钻头在持续横向力的作用下发生连续偏移。由于施加轴向振动后,钻削过程产生脉冲切削特性,即在振动钻削过程中,钻头切削刃进行周期性的切削动作,周期性的钻入和钻出工件,其入钻过程是不连续的脉冲运动。振动钻削时,当钻尖接触工件表面后,受到瞬间横向力的作用,钻头产生弯曲变形,但是在轴向振动的作用下,钻头快速退出工件,钻头恢复到原来的状态,整个振动钻削过程,钻头不断重复此循环。与普通钻削相比,轴向振动钻削具有的独特脉冲式钻入工件的方式,避免了钻头在横向力作用下的弯曲变形,提高了入钻的定位准确性,从而防止了钻削出口处因钻头弯曲而产生大尺寸毛刺的可能性。

3.3 变厚切削特性对毛刺的影响

传统的钻削加工中,进给方向上的钻削厚度在整个钻削过程中保持不变,为进给量的1/2。图5为轴向振动钻削时工件的出口处切削刃的运动轨迹示意图^[8]。图中,I、II分别表示钻头的两条主切削刃,两条主切削刃之间的相角差为 π ,波形面1、3、5、7和2、4、6分别代表I、II的切削运动轨迹。

从图中可以看出:在轴向振动的作用下,钻削过程中轴向上的钻削厚度发生周期性的变化,这种现象即轴向振动钻削具有的变厚切削特性。

基于轴向振动钻削原理,轴向振动钻削时,瞬时轴向钻削厚度可以表示为

$$a_c = \frac{f_r}{2} 2A \cos \left[w_f \left(\theta + \frac{\pi}{2} \right) \right] \sin \left(w_f \frac{\pi}{2} \right) \quad (3)$$

在钻头的切削刃运动轨迹越过工件下表面之前,钻头前端到孔钻出表面的最大尺寸 H_{\max} 可表示为

$$H_{\max} = \frac{f_r}{2} + \left| 2A \sin F_n \frac{\pi}{2} \right| \quad (4)$$

式中, f_r 为每转进给量; A 为施加的振动振幅; F_n 为钻头每转一转所振动的次数;普通钻削时孔底残留金属层的高度 H_{\max} 仅为 $f_r/2$ 。

在进给量 f_r 一致时,振动钻削工件终端部残留金属层厚度大于普通钻削,抵抗变形能力更高,在进给方向上不易发生塑性变形,从而工件末端的材料在刀具切削刃的作用下从工件上分离,形成切屑,而在孔的周围形成较小尺寸的毛刺。

4 试验条件与试验结果

在 UCP800 Duro 的 MIKRON 立式加工中心上进行试验,采用 GSD-LIST520P 的高速钢麻花钻,钻头直径为 3mm,螺旋角为 30° ,顶角为 118° 。试验材料选用 L5 工业铝,其具有良好的延展性、可塑性强,广泛应用于航空、航天乃至日常生活中。采用 OLYMPUS DSX500 光学显微镜测量毛刺尺寸。

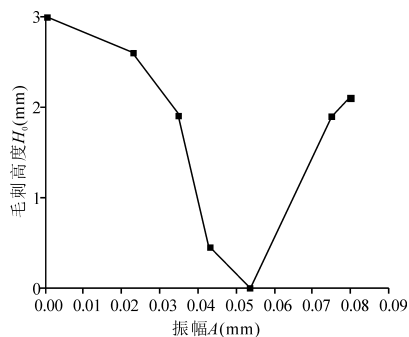


图6 轴向振动钻削毛刺高度
($n=1350\text{r}/\text{min}$, $f_r=0.02\text{mm}/\text{r}$, $f=70\text{Hz}$)

图6为切出进给方向毛刺高度 H_0 随振幅 A 变化情况。由图可知,在钻削过程中施加轴向振动后,切出进给方向毛刺尺寸小于未施加振动时产生的毛刺尺寸。振动钻削过程中,对于不同的切削条件,通过选择合理的振动参数,能够减小切出进给方向毛刺尺寸,甚至完全抑制毛刺的产生。结果表明:选用

L5 工业铝为加工材料,加工孔的直径 $\phi 3\text{mm}$,主轴转速 $n=1800\text{r}/\text{min}$,进给量 $f_r=0.02\text{mm}/\text{r}$ 时,普通钻削时切出进给方向毛刺高度约为 3mm,当施加振动频率 $f=70\text{Hz}$,振幅 $A=0.055\text{mm}$ 的振动钻削时,毛刺高度几乎为 0。

5 结语

因轴向振动钻削具有的独特的变厚切削以及脉冲切削特性,使其在钻削过程中增加了工件终端部待切削金属层的厚度,改变了主切削刃的切削方向,提高了钻头的定位精度,改善了钻尖的工作角度,从而减小了工件终端部材料的塑性变形量,最终抑制或减少了进给方向毛刺的生成。

参考文献

- [1] 隈部淳一郎. 精密加工振动切削(基础与应用)[M]. 北京:机械工业出版社,1985.
- [2] Simon S F C, Gary M B. Burr height model for vibration assisted drilling of aluminum 6061-T6[J]. Precision Engineering, 2010, 34(3): 369-375.
- [3] 张平宽,王贵成,王慧霖. 轴向振动钻削中钻头角度变化的影响因素[J]. 农业机械学报, 2005(3): 115-117.
- [4] 史尧臣,李占国,于雪莲,等. 超声轴向振动钻削断屑机理分析与试验研究[J]. 工艺与检测, 2017(10): 107-110.
- [5] 王贵成. 切削运动——刀具切削刃毛刺分类新体系及其应用[J]. 应用基础与工程科学学报, 1995(3): 73-79.
- [6] Gillespie L K. Burr produced by drilling[J]. Bendix Corporation, Unclassified Topic Report, 1975.
- [7] 马利杰. 轴向振动钻削机理及其工艺效果实验研究[D]. 镇江:江苏大学, 2007.
- [8] 王磊. 轴向振动钻削机理及进给方向毛刺形成与控制技术研究[D]. 镇江:江苏大学, 2008.

第一作者:徐国勇,硕士研究生,江苏大学机械工程学院,212013 江苏省镇江市

First Author: Xu Guoyong, Postgraduate, School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China

通信作者:王贵成,教授,江苏大学机械工程学院,212013 江苏省镇江市

Corresponding Author: Wang Guicheng, Professor, School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China