

振动钻削难加工材料小孔的断屑技术研究

新松机器人自动化股份有限公司 (辽宁沈阳 110168) 李廷政
沈阳第一机床厂 (辽宁 110142) 李欣

振动钻削技术以其低成本、高效率、经济实用的特点被广泛应用在航空航天、电子、仪器仪表等行业的高精度小孔加工中,但随着材料技术的不断发展,新材料应用的越来越广泛,在实际生产中经常需要在模具钢、硬质合金、聚晶金刚石、工程陶瓷、钛合金等一些高硬度、高强度、高韧性的难加工材料上进行小孔加工,这对振动钻削时断屑和排屑提出了更高的要求。

1. 切屑折断的条件

在钻削加工过程中,如果切屑不能够自然折断,就需要采取一定的措施迫使其折断。只有当切屑周期性地折断,才能便于排出。在材料力学中,最常用的断裂强度理论有两类:一类是最大应力理论,另一类是最大应变理论。一般认为,前一种理论适用于脆性材料,而后一种理论适用于塑性材料。由于脆性材料的切屑自然断裂成碎块状,因此我们研究切屑的折断条件,主要是针对塑性材料而言,一般采用最大应变理论作为切屑折断条件分析的理论基础,其判据形式是

$$\varepsilon \geq \varepsilon_b \quad (1)$$

假设切屑厚度为 a_c ,切屑形成时的卷曲半径为 R_c ,受阻折断时的半径为 R_L ,当切屑应变 ε 达到断裂应变极限 ε_b 时,切屑将被折断。因此,切屑折断的条件为

$$\varepsilon = K \cdot a_c \left(\frac{1}{R_c} - \frac{1}{R_L} \right) \geq \varepsilon_b \quad (2)$$

式中, K 为切屑剖面的中性面至粗糙面的距离系数; a_c 为切屑剖面的中性面至粗糙面的距离。

由式(2)可以看出,切屑厚度 a_c 越大,形成时卷曲的卷曲半径 R_c 越小时,切屑应变 ε 就越大,切屑就易于折断。即切屑的折断是一个变形问题,

而不单取决于强度和力的大小。

2. 影响切屑折断的因素

从上面的分析可知,所有影响切屑变形的因素都对切屑折断有影响。

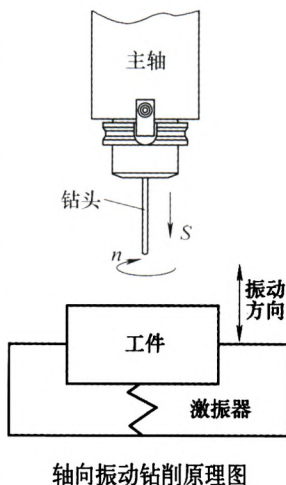
(1) 刀具结构的影响 刀具结构参数中对切屑折断有较大影响的是前角、主偏角和负倒棱等。减小刀具前角 γ_o ,可使切屑与前刀面的接触长度变短,后角与切屑厚度的比 α_o/a_c 加大,即加大了切屑的变形量,使切屑易于折断。但是减小刀具前角的同时会加大切屑力,这就需要综合考虑功率消耗和刀具切削性能。改变主偏角会影响切屑的厚度,主偏角愈小则切削厚度愈小,切屑愈不易折断;主偏角逐渐增大,则切屑厚度逐渐增大,切屑也易折断。负倒棱则可增加切屑的变形量,其宽度越大则切屑越易折断。

(2) 切削用量的影响 使用麻花钻钻孔时,主切削刃上选定点的切屑厚度为 $a_c = \sin k_r \cdot S/2$,所以增加进给量 S 及主偏角 k_r 均可使切屑厚度增大。由于厚度大的切屑,内外层的变形差异大,这种差别可引起切屑卷曲。当切屑卷曲半径达到一定时,切屑底层受到的拉应力增大,超过切屑的断裂极限时,切屑便会折断。一般当增大切削速度时,切屑容积系数也增加,切屑不易折断。试验表明,只有在切削深度较小($a_p=2\text{mm}$),且 a_p/S 值近似等于4时,才不受切削速度的影响。通常情况下,切削深度 a_p 增加,即切削宽度增加,产生的切屑折断性能较差。

(3) 工件材料的影响 被加工工件材料的力学性能主要通过切屑变形系数来影响剪切角的大小,从而影响切削断屑,材料的脆性越大,切屑越容易折断。

3. 振动钻削断屑机理分析

附图所示是轴向振动钻削加工原理图。加工时，钻头以机床给定的进给量 S 和转速 n 做匀速的直线进给运动，工件固定在激振器上，与激振器联接成了一个振动工作台，工件随着激振器按照给定的振幅和频率做上下振动，从而能够实现钻头对工件的振动钻削加工。



轴向振动钻削原理图

(1) 轴向振动钻削运动方程 在普通钻削中，刀具相对于工件的运动可以分解为主运动和直线进给运动，刀刃上一点在钻削加工过程中形成一条空间螺旋线，其数学表达式为：

$$\begin{cases} x_o = v_f t \\ y_o = r \sin \theta \\ z_o = r \cos \theta \end{cases} \quad (3)$$

式中， v_f 为钻头沿轴向进给速度 (mm/s)； θ 为钻头周向角位移 (rad)； r 为刀刃上一点到钻头轴心的距离 (mm)； t 为钻削时间 (s)。

当进行轴向振动钻削时，由于工件在轴向方向上施加了一个周期性振动，刀刃上同一点相对工件的运动轨迹就变成了一条带有振动波纹的空间曲线，假设所施加的轴向振动的运动方程为 $x_1 = A \sin \omega t$ ，则刀刃上一点 (式3所指点的) 的运动方程式为

$$\begin{cases} x = v_f t + A \sin \omega t \\ y = r \sin \theta \\ z = r \cos \theta \end{cases} \quad (4)$$

式中， A 为施加振动的振幅； ω 为施加振动的角频率。

在附图中，钻头的进给量为 S (mm/r)，钻头相对工件的转速为 n (r/min)，工件的振幅为 A (mm)，振动频率为 f (Hz)，钻头主切削刃上一点在 t 时间内周向角位移为 θ (rad)，则

$$\theta = 2\pi n \frac{t}{60} \quad (5)$$

$$v_f = \frac{n}{60} S \quad (6)$$

$$\omega t = 2\pi f \frac{60 \theta}{2\pi n} = \frac{60 f}{n} \theta \quad (7)$$

将式 (5)、(6)、(7) 分别代入式 (4) 中得：

$$\begin{cases} x = \frac{nS}{60} t + A \sin(\omega t) \\ y = r \sin(\frac{n\pi}{30} t) \\ z = r \cos(\frac{n\pi}{30} t) \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} x = \frac{S}{2\pi} \theta + A \sin(\frac{60f}{n} \theta) \\ y = r \sin \theta \\ z = r \cos \theta \end{cases} \quad (8)$$

式 (8) 即为轴向振动钻削运动方程，两种表达形式只是为不同参变量 (t 或 θ) 而设定的，其本质是一样的，相应应用于不同参变量的情况。

(2) 轴向振动钻削时刀具的工作角度 振动钻削时由于振动工作台对工件所施加轴向振动的影响，实际切削速度的大小和方向都在不停地发生变化，从而造成切削角度的变化。振动钻削引起的刀具角度的周期性变化可以比较容易的由刀具理论基准系到工作基准系的转换推导出来。若以 v_s 表示瞬时进给速度，则由式 (4) 得：

$$v_s = \frac{dx}{dt} = \frac{Sn}{60} + 2\pi f A \cos 2\pi f t \quad (9)$$

又因为钻头前、后角动态变化量是相同的，于是有：

$$\nabla \beta = \arctan\left(\frac{nS}{60 \times 2\pi r} + \frac{fA \cos 2\pi f t}{r}\right) \quad (10)$$

其中， $\frac{nS}{120\pi r}$ 是与进给速度有关的，而 $\frac{fA \cos 2\pi f t}{r}$ 项是由振动引起的。若钻头的刃磨后角为 α_o ，刃磨前角为 γ_o ，实际工作轴向后角为 α_{os} ，实际工作轴向前角为 γ_{os} ，则 α_{os} 的变化范围为 $\alpha_o - \nabla \beta \sim \alpha_o + \nabla \beta$ ， γ_{os} 的变化范围为 $\gamma_o - \nabla \beta \sim \gamma_o + \nabla \beta$ 。

由此可见，在振动钻削的过程中，钻头实际加工中前角、后角与进给量 S 、振动频率 f 、振幅 A 、主轴转速 n 以及刀刃的切削半径 r 有关。

另外，实际加工中后角 α_{os} 不能小于零，即是负后角，否则会导致钻头严重磨损及钻杆冲击振动，甚至严重时崩刃。因此，为防止出现负后角，刃磨后角 α_o 必须大于后角变化量的最大值 $\nabla \beta_{\max}$ ，即 $\alpha_o > \nabla \beta_{\max}$ ，又由式 (10) 可得：

$$\nabla \beta_{\max} = \arctan\left(\frac{nS}{120\pi r} + \frac{fA}{r}\right), \quad \text{于是有} \quad fA < r \cdot \tan \alpha_o - \frac{nS}{120\pi} \quad (11)$$

双刃刀片用六轴多工位集成专用磨床

重庆派斯克刀具制造股份有限公司 (401336) 蔡 进

双刃刀片是机械电刨机的组件,刀片侧视外形如图1所示。该刀片是异型薄长件,使用时以圆弧凹槽定位。现有木工双刃刀片刃磨,仅限于单工艺加工或采用专用仿形工具磨床实现单工序刃磨,只能对木工刀具单个表面进行离散加工。在多工艺系统的集成

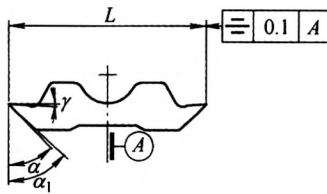


图1 双刃刀片

方面,国内的加工技术和工艺水平尚不成熟,还没有将多工艺过程集成为单工艺连续生产的专用系统及装备。

双刃刀片的毛坯由硬质合金或高速钢经过模压成形,毛坯到成品需要进行以下的磨削加工:磨削两处前刀面,形成两个前角 γ ;磨削两处后刀面,形成两个第二后角 α_1 ;磨削两处刃带,形成两个第一后角 α 。磨削还必须保证宽度尺寸 L 和对称度要求,被磨削面的表面粗糙度值 $R_a \leq 0.2 \mu\text{m}$ 。

此前,双刃刀片的加工主要采用逐个工序磨削。六道磨削工序需要进行六次装夹定位、人工操作误差及装夹误差等,直接导致工件的加工精度不高,且在每道工序加工后,需要对几何尺寸进行检测可能擦伤或者破坏刀具刃口,导致刀具质量下

降。下道工序的重新定位装夹使精度难以保证,产品表面粗糙度也难以达到要求。而且传统方法生产过程中,搬运时间与检测时间占总加工时间的30%~40%。这种劳动密集型的生产方式,自动化程度比较低,对工人的操作能力与劳动量的要求很高;同时传统加工工艺一般针对单一型号、较难满足市场对双刃刀片长度的特殊要求,不利于提高产品对市场的适应性。

1. 存在的问题

传统磨削方式存在以下问题:加工精度低、加工效率低、劳动强度大,无法对长度在1.5m以上的大尺寸双刃刀片进行高精度磨削加工。

显然,科技含量、加工精度及生产效率需进一步地提高。为了提高产品的科技含量、加工精度及生产效率,降低劳动强度及生产成本,迫切需探索一种能够实现一次装夹、多工序集中、连续生产等功能的新工艺、新方法,以满足市场及行业发展的需求,适应快节奏的竞争市场。

2. 设计要求

能够实现多工位集成、用连续加工方法代替离散工艺,一次装夹连续加工“材料进去,产品出来”,效率高、精度高,能够降低劳动强度的高速专用磨床。

3. 技术方案

(1) 针对目前双刃刀片磨削加工过程中存在的工序分散、加工精度低、效率低、材料利用率低等问题,结合新的磨削技术及磨削装备的发展,如新的磨料磨具的出现、砂轮制造技术发展、高速磨削技术及其控制技术的应用、运动部件的驱动技术、支撑技术等,开发出一种六轴多面多工位、多

这就是在其他条件确定的情况下,振动频率 f 和振动幅值 A 的参考约束条件。实际加工中,在保证切削折断的情况下,以及满足排屑空间对切屑尺寸制约的基础上,选取较小的振动频率 f 和振幅值 A ,可以使加工过程更稳定,同时钻头所受的冲击也较小,避免由于振动强烈而影响加工质量。

MW (收稿日期:20120828)