

振动切削机理研究及应用

孙俊兰

(盐城工学院机械工程系, 盐城, 224003)

摘 要 切削过程中的振动对工件的加工质量、刀具耐用度有较大的影响,对精密切削加工尤为突出。振动切削作为一门新技术,可弥补普通切削的某些不足。利用另外设置的振动源,将高频且有规律的振动作用到金属切削加工的工艺系统上,使该系统处于相对不振的状态,从而提高工件的加工精度,改善已加工表面质量,实现精密切削。

关键词 振动 金属切削

分类号 TH234

一、传统切削中存在的问题及振动切削的提出

在近几年机床的发展中,出现了日益增多的振动问题。一台看上去刚性很好的机床,在切削过程中,工件和刀具切削刃之间也会产生无规律的弹性振动。毫无疑问,振动会缩短刀具寿命,降低加工精度,增大表面粗糙度,降低生产率,甚至使加工无法进行。因此,人们总是设法避开在振动的条件下切削。

但是,随着对机床动态性能的研究,人们发现,只要有切削加工发生,就存在振动。人们尽管千方百计地提高机床的精度和刚性,但总是有限度的。也就是说,要实现精密加工,光从静力学角度考虑提高工艺系统的刚性,似乎已走进死胡同,而必须从动力学角度来考虑。

切削时的振动主要发生在刀尖与被加工工件之间,因此要研究振动,首先要研究刀尖上的动力学作用。刀尖上的动力学作用,对切削机理有着重要的影响。切屑形成机理不是根据刀尖和工件之间的静力学关系,而是根据动力学关系形成的。如果把切屑形成机理用时间函数来描述,那末可以将刀具—工件的振动系统抽象成弹簧、阻尼和质量系统,如图1所示。在切削过程中,该系统呈现不稳定状态。当切削层金属内部有硬质点、余量不均匀时,必然使切削力发生变化,从而引起刀具—工件系统发生激烈的颤振。

设想在该系统上,利用另外设置的振动源,把高频且有规律的正弦波形的振动作用到该系统上,那末就可以使本来容易产生弹性振动的工艺系统中的工件与切削刃的相对位置,处于相对不振的状态,从而提高工件的加工精度,改善已加工表面质量,实现精密切削,达到“以振治振”的切削效果。

二、振动切削的机理及特点

振动切削是利用另外设置的振动源,使切削刀具对着以一定的切削速度 v 运动的工件,以一定的振幅 a 、振动频率 f ,在切削方向上进行正弦波振动,并满足 $v < 2\pi af$,形成连续有规律

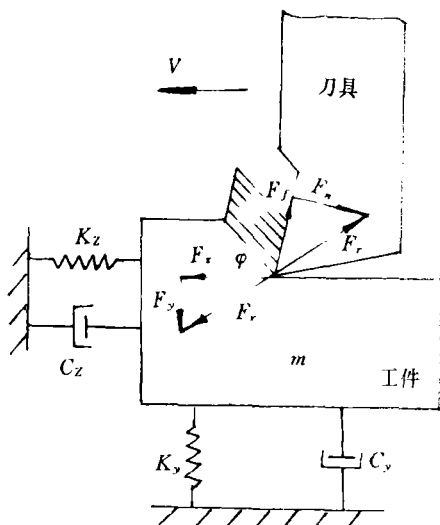


图1 刀具-工件振动系统的切削模型图

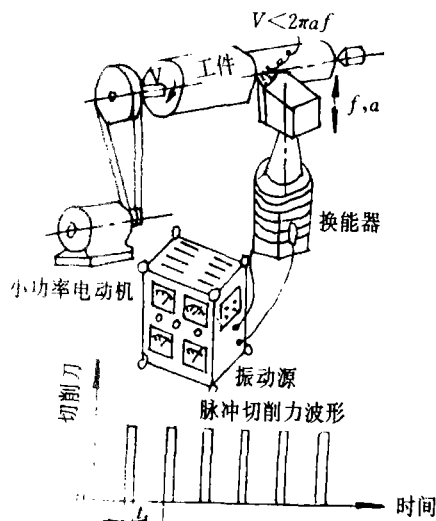


图2 振动切削示意图

的脉冲切削力波形,如图2所示。它的实质是在传统的切削过程中给刀具(或工件)加上某种有规律的、可控的振动,使切削速度 v (或进给量 f 、切削深度 a_p)按某种规律变化,从而形成一种本质上完全新颖的切削方法。

振动切削是一种脉冲切削。它的显著特点是切削力小,切削温度低,加工表面质量好,刀具耐用度高。这是由它的切削机理决定的。在振动切削中,并没有利用刀具振动的整个周期,而只是在极短的一瞬间进行切削。现以切向振动为例加以分析,见图3。刀具过 O 点作简谐运动,若刀具在某时刻向左方振动,在 E 点与工件开始接触,经过 EFA 形成切屑1,产生脉冲状切削力 F_z, F_y 。刀具到达 A 点后,由于刀具与工件运动速度方向相同,且刀具速度又大于工件速度,使刀具在 A 点开始脱离工件,此期间切削力降为0。在 B 点再次开始接触,经过 BGD 形成切屑2,同时又产生脉冲切削力 F_z, F_y 。刀具与工件有规律地接触和分离,并在一定的位置上往返重复,产生切屑1,2,3,..., n ,这样就连续地产生有规律的脉冲切削力波形。

下面我们用数学方法描述一下刀具与工件分离实现脉冲切削的条件。设刀具的位移 $x = a \sin \omega t$, 则刀具的运动速度 $v_d = a \omega \cos \omega t$, 那末,刀具在 A 点离开工件的时刻 t_1 应满足 $v_d = a \omega \cos \omega t_1 = -v$, 从该式中即可求得刀具与工件脱离的时刻 t_1 为:

$$t_1 = \frac{1}{\omega} \cos^{-1} \left(\frac{-v}{a\omega} \right) = \frac{1}{2\pi f} \cos^{-1} \left(\frac{-v}{2\pi af} \right)$$

从 t_1 的公式中可以看出,若 $v > 2\pi af$, 此式不能成立,即意味着刀具不能脱离工件。振动切削中把 $v_c =$

$2\pi af$ 称为临界切削速度。当 $v > v_c$ 时工件不能与刀具分离,相当于普通切削,只有当 $v < v_c$ 时,才能保证振动切削的效果。刀具到达 B 点后刀具与工件开始接触,到达 B 点的时刻用 t_2 表示, t_2 应满足: $a \sin \omega t_2 = a \sin \omega t_1 - v(t_2 - t_1)$

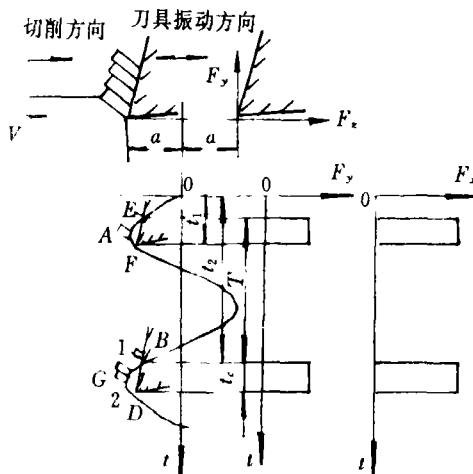


图3 振动切削机理

实际的净切削时间: $t_c = T + t_1 - t_2$

式中 T 为刀具振动周期, $T=1/f$ 。可见超声振动切削是一个在极短时间内完成的微量切削过程。在一个切削循环过程中, 刀具在很小的位移上得到很大的瞬时速度和加速度, 在局部产生很高的能量, 这种极高的瞬时速度和加速度, 有助于塑性金属趋向脆性状态, 塑性变形减小, 摩擦系数降低。因此切削力与普通切削相比, 可以大大地降低。同样由于切削时间极短, 刀具在这样短的时间内很难生成大量的切削热, 且散热时间又长, 所以导致振动切削的温度很低。

普通切削必须形成较大范围的弹塑变形区, 产生大量的滑移变形之后才形成切屑, 因此普通切削的残余应力是拉应力, 且加工变质层较深。振动切削的残余应力非常小, 且加工变质层也较浅, 只在刃口附近集中很小量的加工变形, 工作表面的金属组织变化很小, 具有与工件内部几乎相当的组织。因此, 与普通切削相比, 其耐腐蚀性、耐蚀性均得到提高。

振动切削减小或消除了切削振动, 使加工精度和表面质量明显提高。由于超声振动切削的实际切削时间极短, 这个时间远远小于车刀、工件振动的过渡时间。切削工件时, 还没有来得及振动, 刀具就已经离开工件了, 这就是振动切削能减小甚至消除振动的原因。

由于振动切削的这些特点, 使得它能胜任普通切削所不能胜任或难以胜任的切削加工。振动切削可以代替磨削对高速钢、淬硬钢进行切削, 可以实现切削深度小于 $5\mu\text{m}$ 的精密微量切削, 可以对硬脆材料例如陶瓷、玻璃进行加工, 而这些是普通加工所不能胜任的。振动切削刀具寿命也远远大于普通切削。

总之, 振动切削有着普通切削无法比拟的工艺效果, 尤其在难加工材料和精密零件的加工中, 更是大显身手, 因此受到了各国的重视, 成为切削加工中的一个不可忽视的工艺方法, 解决了许多工艺问题。但就目前我们国内来讲, 振动切削的应用较少, 许多切削工作者还不太了解振动切削的实质, 因此, 积极、慎重、稳妥地宣传和推广这项新技术是金属切削行业的一项当务之急。随着振动切削应用的不断扩大和理论不断完善, 它必将在技术进步和四化建设中起到积极的作用。

三、振动切削的可行性分析及实用价值

振动切削作为一门新的技术, 可使切削加工向精密、经济的方向发展, 弥补了普通切削的某些不足, 有相当重要的实用价值。

在普通切削车床上, 使车刀刀刃振动的能量和使工件回转的能量, 是由远离刀刀的一台共用电动机来供给的, 要完成切削工作, 就需用大的电机, 随之也产生了发热等浪费现象。振动切削时, 使刀具振动切削产生切屑的能量, 来自另外准备的振动源(可由超声波发生器提供), 除此之外的动力, 只是带动工件按规定的几何学关系运动, 用一个小功率的电动机就足够了。振动切削时产生脉冲切削力波形, 切削力小, 刀刀与工件之间的相对位置不随时间的改变而改变, 切削刃锋利, 切屑容易形成, 因此可以得到高的尺寸精度和形状精度的工件。同时由于工件已加工表面的变形小, 加工变质层浅, 残余应力小, 表面粗糙度低, 因此, 振动切削可以得到良好的加工表面完整性。

振动切削机床, 除电动机外, 还需要使用把电能转变成机械能的振动源, 使刀刀在切削方向上进行有规律振动的振动装置。这样, 刀架附近的结构变得有些复杂, 同时, 还要有电气操纵部分, 这些装置在调整时要稍微麻烦一些。

(下转第 34 页)

的影响见表 5。

表 5 表明,反应时间控制在 1h,产率最高。反应时间过长,会产生副产物,引起产率下降;反应时间太短,反应不完全,亦不利产率的提高,最佳反应时间为 1h。

表 5 反应时间对反应的影响

反应时间(h)	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5
产品(g)	5.8	7.2	8.2	7.0	6.8
产率(%)	58.5	72.6	82.7	70.6	68.6

表 6 回收溶剂和含酸废水重复使用对反应的影响

回收二氯甲烷(ml)	15	20	25	30	35
产品(g)	7.1	8.5	7.7	7.2	6.9
产率(%)	71.6	85.7	77.6	72.6	69.6

2.6 回收溶剂和含酸废水重复使用对反应的影响

TBAC0.2g,对甲基苯酚 7.0g,反应时间 1h,选用含酸废水配制的 18%的硝酸 50ml。不同用量的回收二氯甲烷溶剂对反应的影响见表 6。

由表 6 可知,最佳回收二氯甲烷用量为 20ml。利用回收溶剂和含酸废水重复使用可提高产率 2%左右。

3 结论

3.1 最佳反应条件为:18%的硝酸 50ml,对甲基苯酚 7.0g,TBAC0.2g,二氯甲烷 20ml,反应温度 20~23℃,反应时间为 1h。

3.2 TBAC 为相转移催化剂,催化合成邻硝基对甲苯酚有较高的催化活性,实际用量为反应物摩尔数的 1%~2%。

3.3 实验中所用的溶剂二氯甲烷及含酸废水均可回收重复使用,有利产率提高,且产品质量不变。

参考文献

- 1 葛广周.化工时刊.1992(5)
- 2 高全昌等.化学世界.1988,29(10)
- 3 靳通收,高淑娥.染料工业.1992,29(2)
- 4 蒋木庚等.江苏化工.1990(2)

(上接第 9 页)

但一旦调整好,即使不熟练的操作者,也能加工出高精度且稳定的工件。过去只有用磨削加工才能进行精密加工的工程材料,现在靠振动切削同样可以实现。对某些不适合磨削的工程材料的超精密加工,振动切削更显示它强大的生命力。振动切削不仅适用于车削,也适用于钻削、镗削、铰孔、攻丝、拉削、齿轮加工,还有振动磨削、振动冲压、振动攻丝、振动研磨、振动轧制等。

随着工业技术和宇航事业的发展,出现了越来越多的难加工材料,给切削加工带来了很大困难,也对切削加工提出了更高的要求。利用传统的切削加工方法,显然已不能满足需要,因此必须发展新型的切削加工方法,改进现有的切削技术。振动切削作为能适应时代要求的、系统的而且能节约资源的新技术,必将不断被人们所重视。它的出现为精密切削和超精密切削开辟了一条理想的道路,致力于振动切削研究是发展精密切削和超精密切削的一个重要的发展方向。