

数控车削加工中的振动及其控制措施

石家庄科一重工有限公司 (河北 050071) 冯战雷

随着现代工业的发展,特别是军工、电子、宇航工业的需要,出现了许多难加工的材料,它们在数控车削时极易引起振动。同时,现代化工业所需的精密零件对加工精度和表面质量的要求也越来越高。例如,精密加工和超精密加工的尺寸精度要求接近于微米(μm 级)甚至更小,表面粗糙度值 R_a 在 $0.02\mu\text{m}$ 以下,而且不允许出现振纹。因此,在数控车削加工过程中哪怕出现极其微小的振动,都会导致加工零件表面质量无法达到设计及使用要求,特别在镗孔和车削刚性差的工件时,振动经常成为车削加工中难度较大的技术问题。

为了消除数控车削过程中因振动而产生的加工表面波纹,笔者经查资料和根据个人经验进行总结,通过分析振动产生的原因,针对不同的类型,采用以下减小振动、提高切削稳定性的实用技术措施,希望能对大家有所帮助与借鉴。

一、车削加工中的振动类型

数控车削加工中的振动类型,按其生产的原因可分为自由振动、强迫振动和自激振动。据测算,这三类振动分别占5%、30%、65%。

(1) 自由振动 当系统的平衡被破坏,只靠系统的弹性恢复力维持的振动,叫做自由振动。往往是由切削力的突然变化或其他外界力的冲击等原因所引起的。这种振动一般可以迅速衰减,因此对外加工过程影响较小。

(2) 强迫振动 受外界周期性的干扰力(工艺系统内部或外部振源)持续作用而激发的振动。数控车削过程中由于高速旋转零件的回转不平衡,传动系统齿轮啮合不良、带传动缺陷、轴承误差等因素所引起的振动均属强迫振动,还有切削过程本

身不均匀和往复运动部件运动方向改变时所产生的惯性冲击等都能引起强迫振动。这种振动一般不会自动衰减,甚至会引起机床的共振,因此对加工过程影响较大。

(3) 自激振动(颤振) 由振动系统本身在振动过程中激发产生的交变力所引起的不衰减的振动。即使不受外界周期性干扰的作用,振动也会发生。自激振动能否产生及其振幅的大小,决定于每一振动周期内系统所获得的能量与阻尼消耗能量的对比,自激振动的频率等于或接近于系统的固有频率。由于维持自激振动的干扰力是由振动过程本身激发的,故振动终止,干扰力及能量补充过程立即消失。

二、车削加工中振动类型的识别

数控车削过程出现振动影响加工质量时,首先应判断振动是属于强迫振动还是自激振动,然后才能采取相应的措施,尽力把振动减小到允许的程度。

强迫振动和自激振动同样会在工件表面留下振纹,不易区别,但这两类振动的特征不同。自激振动只有在切削过程中才会发生,其频率接近系统某主振部件的固有频率;强迫振动则是由于外界持续的激振所激发的,除切削冲击引起的强迫振动外,与切削过程是否进行无关,其频率等于外界干扰力的频率。

根据上述特征,一般可采用下面几种方法进行判断:

(1) 通过机床空运转试验判断 在机床运动参数与切削时完全相同的情况下进行空运转试验,拾取振动信号并作频谱分析,画频谱图,这样可以

查找机内振源。比较空运转试验和现场加工中所得到的频谱图,如果频谱图上有峰值,可判定加工中存在强迫振动成分。

只要在停机时或机床运转时检查刀具与工件处于加工位置时是否振动,其频率是否与切削过程出现的振动频率相同或接近,往往就可判别振动的类型。同时,还可分清楚是机外振源还是机内振源引起的。

在进行机床的空运转试验时,应尽可能缩小检查范围,分别起动各电动机并逐一通过各传动链,分别测出刀具和工件在加工位置处的振动和频率,并将各种可能振源的激振频率与切削过程的振动频率相互对照,以便于判断确切的机内振源所在。

比较机床空运转和加工中所得到的频谱图。如果两者的频谱线成分完全相同,只是峰值大小有所不同,则可判定加工中振动是强迫振动;如果加工时的谱线图上有与机床运转的谱线成分不同的(或者是它整数倍)的频率成分,则可判定除有强迫振动外,还有自激振动。

(2) 通过切削试验判断 以不同的切削用量或重磨、更换刀具进行切削,看振幅和频率是否发生变化。

如果是机外振源或主传动系统以外的振源所引起的强迫振动,那么改变切削用量和更换刀具,一般都不会引起振源和频率的改变。

如果振源在主传动系统,那么改变转速后振动频率将随振源转速的改变而正比地变化;改变转速后如振源显著减轻,即说明主要振源就在于这时不使用的那副齿轮。

如果是断续切削的冲击引起的受迫振动,其频率与工件或刀具转速的改变正比地变化,同时其振幅大小也与切削用量有关,增大进给量和切削深度都会使振幅加大。

如果是自激振动,那么改变转速后其频率一般只会在很小范围内略有变化,在某些转速范围内,自激振动不会发生。同时,增大进给量和减小切削深度时,会因动态切削力的减小而使振动减弱。

(3) 频谱分析 在停机状态下作环境试验,对所测振动信号进行频谱分析,可判断是否有机外振源的干扰。

(4) 谱线图比较 根据各运动部件的运动参

数,计算各运动部件的干扰频率,并与机床空运转试验谱线图比较,可找出机内振源。

三、强迫振动的消减措施

(1) 减小干扰力的幅值 主要是消除或减小外界周期性干扰力的持续作用。如对高速(600r/min以上)回转的零件进行平衡(动平衡和静平衡)或设置自动平衡装置,对车削质量偏心的零件进行配重等。刮研接触面,提高接触刚度;采用跟刀架、中心架等增强工艺系统刚性;减小冲击切削对加工过程的影响。

(2) 提高传动装置的稳定性 如采用少接头、无接头传动带,用斜齿轮代替直齿轮,在主轴上安装飞轮等,主轴采用变频调速等措施;在精密的数控机床上用叶片泵或螺旋泵代替齿轮泵,在液压系统中采用缓冲装置以消除运动冲击。

(3) 改变振源或系统的固有频率 使其偏离激振频率,调整运动参数,使可能引起强迫振动的振源频率远离机床加工薄弱模态的固有频率。调整轴承及镶条并适当预紧轴承以消除间隙,及时更换有缺陷的传动零件,隔离外界振源等。

(4) 减振装置 采用合理的减振装置。

四、自激振动的工艺途径抑制措施(以车削45钢为例)

1. 合理选择切削用量

(1) 切削速度 v 的合理选择 由图1可以看出切削速度 v 对振幅的影响关系曲线。试验证明车削时 v 在20~60m/min 范围容易产生自振,相应的振幅为最大。而 v 高于或低于此范围,则振动减弱。因此,为了避免切削时发生自振,实现稳定切削,切削速度应在低速(<5m/min)或高速(>80m/min)范围内选择。

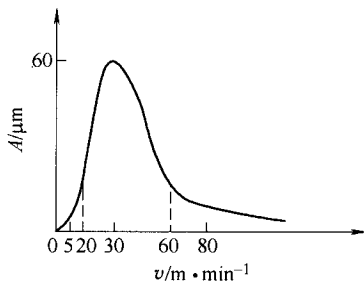


图1 切削速度 v 对振动的影响

(2) 进给量的选择 如图2所示,现实是进给量对振幅的影响,随着进给量 f 的增大,振幅 A 下降,振动减弱。在进给量 f 较小时, A 有最大值,即

易产生自振。因此,为了避免振动的产生,在机床、表面粗糙度值等许可时应选取较大的进给量。

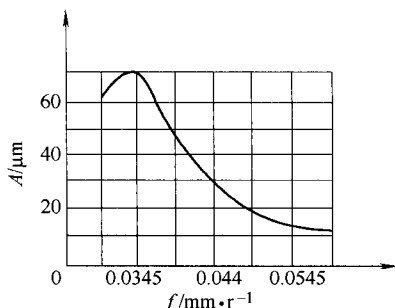


图2 进给量 f 对振动的影响

(3) 背吃刀量的选择 如图3所示,车削时随着背吃刀量 a_p 的增加,振幅 A 增大,振动加剧。减小背吃刀 a_p ,将大大降低生产率。因此,如果机床、表面粗糙度值等许可,应选取较大的进给量予以弥补,根据图3所示规律,根据经验选择合适的背吃刀量 a_p 。

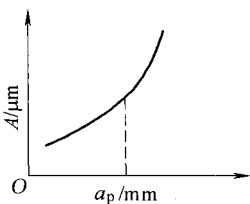


图3 背吃刀量对振动的影响

2. 合理选择刀具的几何参数

这是实现稳定切削过程最简便而又行之有效地重要途径。在刀具的几何参数中,对自激振动影响较大的主要有:前角 γ_o 、主偏角 κ_r 、后角 α_o 及刀尖圆角半径 r_e 。

(1) 前角 γ 。如图4所示,当切削速度 v 较低时,随着前角 γ_o 的增大,振动将随之减弱;或者说,前角由负变正时,切削的稳定性增加。在其切削速度较高时,前角 γ 对振动的影响将减弱。这说明了在高速下可以采用负前角,而在低速或中

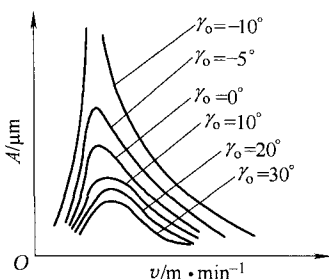


图4 刀具前角对振动的影响

速时,应选用较大的正前角。但是,前角 γ_o 的增大将会削弱刀尖的强度,所以要合理选用。

(2) 主偏角 κ_r 如图5所示,随着主偏角 κ_r 的增大,振幅将逐渐降低。这是因为主偏角增大,垂直于加工表面方向的切削分力 P_y 将减小。同时,实际切削宽度 b 也将减小,小于 b_{min} ,因此不易产生

切削自振。但当主偏角大于 90° 时,振幅又将会有所增加。

(3) 后角

α_o 。一般说来,

后角 α_o 对于切削

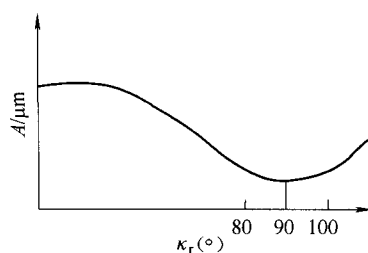


图5 主偏角对振动的影响

稳定性无多大影响,但当后角减小 $1^\circ \sim 2^\circ$ 时,会使振动有明显的减弱。在生产中也发现,当刀具后面有一定程度磨损后,会产生抑制振动的作用。为不使刀具后面与工件间产生太大的摩擦,通常可在刀具主后面上磨出一段负倒棱,如图6所示。必须注意,这种车刀只能以抑制工件系统的低频振动,如车刀系统发生高频振动,这种车刀反而会

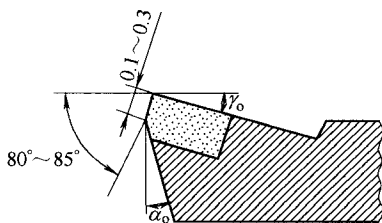


图6 后角对振动的影响

使振动增大。

(4) 刀尖圆角半径 r_e 。刀尖圆角半径 r_e 增大,则径向切削力 P_y 将随之增大,故从避免自激振动的观点考虑,希望 r_e 越小越好。但 r_e 的减小将使刀具寿命和加工表面质量下降,因此 r_e 值的选择应综合考虑诸方面的影响。

3. 主轴转速和减振装置

周期性改变车床的主轴转速(变化幅度约10%~20%),可消除再生自振;提高工艺系统的刚度,可减小动柔度最大负实部的数值,以提高抗振性(此时应注意提高薄弱环节的刚度和减轻构件质量)。另外,还可在车削加工中采用合适的减振装置。

五、结语

以上所述是根据自己的工作经验和查阅资料后的总结。根据车削过程中的振动现象认真分析产生振动的原因,采取相应的消振措施后,切削中的振动能明显减小,大大提高了车削工件表面质量、刀具使用寿命及劳动生产率,但还不能完全消除振动,因此还需作进一步的研究与试验。这种采用工艺措施减振的方法希望能对大家有所借鉴与帮助。

MW (收稿日期:20120214)