

如何解决刀具振动问题 (二)

山特维克可乐满中国培训中心 (北京 100004) 李 民

2. 降低切削力产生切削振动的 12 种方法

(1) 使用锋利的刀片来降低切削力 机夹可转位刀片分为涂层与非涂层刀片, 非涂层刀片通常比涂层刀片要锋利, 因为刀片如果要涂层一定要进行刃口的钝化处理 (ER 处理), 锋利的刃口将影响涂层在刃口部位的粘结强度 (图 3)。即便是涂层刀片, 物理涂层 (PVD) 也比化学涂层 (CVD 或 MTCVD) 刃口要锋利, 因为后者的涂层材料经常是大约 $10\mu\text{m}$ 厚的 Al_2O_3 。我们知道, 现代机夹刀片采用的刀片材料按照其硬度分为这样六类: 非涂层硬质合金、涂层硬质合金、金属陶瓷 (CERMET)、陶瓷、立方氮化硼 CBN 和人造金刚石 (天然金刚石作为刀片材料并不常见), 因为金刚石类刀具只适合加工非铁族金属, 陶瓷和 CBN 刃口都做负倒棱, 而金属陶瓷韧性差不适于用于振动场合, 所以我们说: 若使切削力降低, 推荐使用非涂层或物理涂层的钴基硬质合金刀片。



图 3
刃口的钝化半径通常在
 $35\mu\text{m}$ 到 $75\mu\text{m}$ 之间

金属陶瓷也叫钛基硬质合金, 因为其硬点为 TiC, 所以刀片的硬度高而且整体热硬性好, 但是因为粘结剂是镍, 所以粘结韧性差, 作为刀片只适合进行软钢、不锈钢和铸铁的精铣与精车 (镗) 加工, 其特点是 $200 \sim 400\text{m/min}$ 的切削速度下配以小进给量小切深可以获得较低的表面粗糙度值和较长的刃口寿命, 其缺点是不能承受继续切削力, 走刀方向和加工余量的突然改变, 例如金属陶瓷的外圆车刀片刃口在车削不锈钢时切深与每转进给量的乘积不能大于 0.3mm^2 。山特维克可乐满公司在 2001 年推出的无镍钴基金属陶瓷 GC1525 提高了其韧性。

(2) 切深一定时使用小的刀尖圆弧半径 这样无疑可以降低切削力特别是径向切削力。而径向切削力是使细长杆类刀具或工件切削发生振动的罪魁祸首。刀尖圆弧半径与振动倾向的关系: 在相同的

切削深度时, 刀尖圆弧半径越大, 细长刀杆发生振动的倾向越大, 无论是镗削还是铣削。

(3) 切深可选择时避免切深等于刀尖圆弧半径 比如刀片的刀尖半径为 0.8mm 不变时, 随着刀片切深的增加, 细长的镗刀或铣刀杆振动倾向在切深 a_p 和刀尖圆弧半径 ($r = 0.8\text{mm}$) 相等时最大, 当切深 a_p 大于刀尖半径 r 后, 刀杆的振动反而被抑制。这就是有些悬伸与直径比值为振动临界点的镗刀和铣刀适当加大切深或者进给量反而降低振动的原因 (图 4)。

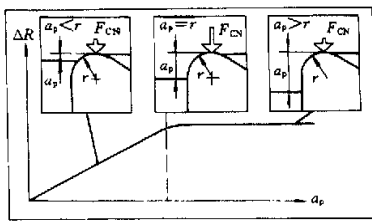


图 4 中的 ΔR 代表

镗杆的弹变, 可以看出当切深 a_p 与等于刀尖圆弧半径时弹变最大, 而且随着切深增加弹变不会再增加反而开始减小, 因为径向切削力 F_{CN} 在 $a_p = r$ 时最大, a_p 再增加只会增加轴向抗力, 而轴向抗力不是细长刀杆产生振动弹变的原因, 反过来还会使刀杆保持稳定。

(4) 对于细长刀杆的镗刀或者细长杆的外圆车削 90° 主偏角的刀具有利于消振 无论是外圆车刀车削细长轴, 还是细长刀杆的镗刀镗孔, 总是 90° 主偏角的刀具产生的径向切削力最小, 同时刀片刃口产生的轴向力最大; 45° 主偏角的车镗刀易发生切削振动, 因为产生振动的径向切削力与轴向力相等, 而使用圆刀片时径向切削力大于轴向力, 最易发生振动 (图 5)。

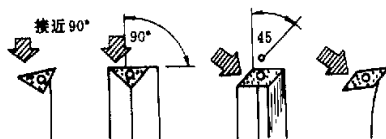


图 5

(5) 对于细长杆的铣刀反而是圆刀片铣刀最有利于消振 铣刀与镗刀相反, 主偏角越接近 90° 径



向切削力越大,刀杆振动越大。所以在模具深孔型腔的面铣削加工中通常选用 45° 主偏角铣刀,如果切深小于1mm常采用圆刀片铣刀或者球刀。

(6) 细长杆立铣刀铣削深型腔时常采用插铣方法。插铣就是刀具象钻头一样轴向进刀,当铣削深的型腔时,通常长杆的悬伸大于3倍的刀杆直径,我们推荐使用轴向进刀的插铣方法,但是立铣刀刀片刃口有一定的径向切削刃,刀具供应商有技术资料证明此刀具在插铣时的最大切削宽度。比如山特维克可乐满的CoroMill390立铣刀刀片插铣宽度为5.5mm,而且可乐满在2001年底在美国市场推出的Plunge Mill是专门用于模具和航空工业的大直径插铣刀,它最大的特点是高效率 and 超大切宽,通常用于大型深腔模具的开粗。

(7) 薄壁工件的铣削加工 薄壁工件铣削发生振动的原因完全来自于工件,这种工件被叫作箱式或者碗式零件(box like or bowl like shape workpiece),由于振动来自于工件本身,那么技术人员各显神通,国外在处理这类零件的铣削加工主要以改善工件夹持为主,例如增加合适的辅助支撑点,在夹具和机床工作台面之间加装一层木板,用粗大的橡皮条或者弹簧勒在壳体的外面,在箱体内部充满湿沙子等等,奇思妙想不一而足。在铣削薄腹板时,推荐使用 90° 面铣刀以减小对腹板的轴向切削力。

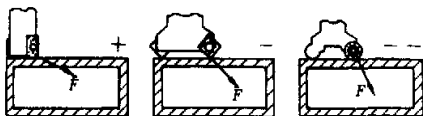


图 6

从图6可以看出, 90° 的主偏角铣刀比如CoroMill390刀体,配以轻快的切削刃口刀片和正前角槽型的刀片,切削力最为轻快。

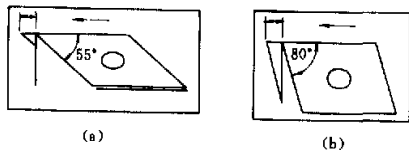


图 7

(8) 内孔镗削时刀片刃形角越小越好。这样副偏角很大,副刃口与被加工面的颤动接触区小,颤动很难变成振动,副切削刃挤屑的机会也小,例如

在镗削内孔时,镗刀的主偏角假设为 93° ,使用CCMT的刀片其副偏角为 7° ,使用DCMT的刀片副偏角为 32° ,切削要轻快得多。但是刃形角小的刀片安全性差。

(9) 面铣刀采用疏齿不等距铣刀来减小铣削振动。“齿”指刀片。同样直径的面铣刀比如100mm,那么5个刀片的刀盘肯定比10个刀片的铣刀产生的铣削力小50%,如果它们的切削三要素相等。其实5个刀片的100mm刀盘相对于10个刀片的刀盘既为疏齿刀盘,如果刀片之间的间隔是不等的即为疏齿不等距铣刀,这种面铣刀不仅切削力小而且是固定频率去刺激工艺系统发生共振。获得这样的铣刀有两种方法,一是刀具供应商专门制作这种刀具,比如山特维克可乐满在它的全部标准铣刀中在任何一个直径系列分为疏齿不等距、密齿和超密齿铣刀,比如直径80mm的刀盘客户

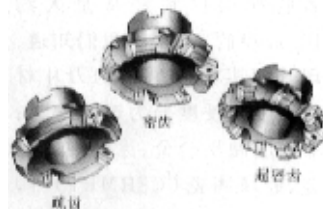


图 8

分别可选4个刀片安装,6个刀片安装或者8个刀片的铣刀,他们都是标准库存,在它的铣刀样本里铣刀齿数最少有两种选择。以铣刀产品著称的刀具厂家这样为客户备货的就笔者所知只有可乐满一家,而且是从20mm的机夹立铣刀开始直至400mm的面铣刀(不等距超密齿铣刀)。

疏齿铣刀	密齿铣刀	超密齿铣刀
容屑槽大,适于加工不锈钢和铜铝合金等长屑工件材料	容屑槽适中,可以用于加工所有金属	容屑槽窄,适于加工铸铁等短屑金属
同时参加切削的刀片数目最少,用于小功率机床、工件和夹具刚性差的切削条件,薄壁工件或者长悬臂刀杆的铣削消振	通用的加工条件下的首选刀具	用于工艺系统刚性好的,机床功率充足的条件下实现切削的高效率走刀

除了向刀具商购买疏齿铣刀外,还可以通过拆除现有刀盘上的刀片数目来实现疏齿铣削,但是要注意不能只摘除其中的某一两个刀片,这样的结果会使其相隔刀片因每齿进给量翻番而造成刃口崩碎。正确的拆除办法是



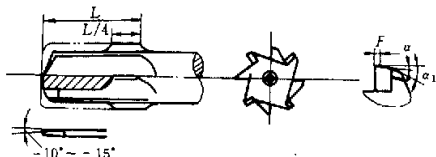
图 9

深孔铰刀

浙江调速电机厂 (桐乡 314500) 沈宏谋

167 B

机械加工过程中,时常遇到 $L/D > 5$ 的深孔,这种孔的加工比较困难,原因是切屑阻塞在孔内而把工件表面拉毛,也容易挤坏铰刀的刀齿。其次由于切屑不易排出,切削液流不到刀头,刀齿得不到有效的冷却而产生卷口、啃毛的现象。造成铰刀经常折断,且孔表面粗糙度达不到技术要求。为此,我们对标准铰刀作了一些改进(如图所示)。



图中 $F = (0.02 \sim 0.06)$ mm 圆棱, 剖面为磨去部分

1. 铰刀的特点

将标准铰刀的切削部分在工具磨床上加工,每隔一齿磨去一段,这样切削齿数减少一半。表面上看刀齿上的平均负荷加大,刀齿寿命会降低,实际上由于增大了容屑空间,容屑情况得到了改善,不致挤坏刀齿。此外,切削液可充分供应到切削部分,使它在加工过程中刀齿不致因发热而卷口,大大提高了刀具耐用度。据统计一把 $\phi 8$ mm 铰刀,原只加工 30

拆掉一半的刀片,所以在购买面铣刀时尽量避免奇数齿刀盘。

面铣刀做成非等齿距,如果所有的容屑槽宽度一致,那么每个刀片支撑体厚度便不会相同,所以不等齿距的铣刀齿数一般为疏齿,不等距超密齿铣刀一般是大直径铣刀刀体空间足够而且不进行大切深铣削。很多刀具厂家为了降低备货成本只提供一种齿距的铣刀,例如 80 mm 的面铣刀通常是 5 个齿或 6 个齿而且是非等齿距的,容屑槽又做得很大,那么有的刀片的支撑体薄得可怜,有的刀片在刀体上却稳如泰山,我们知道这样做的结果是这些铣刀在 3~4 mm 以上的铣削中刀片受力变形不一致,刀片寿命长短不一,刀体退火失效快(刀体除非撞刀只会因退火而失效)。所以严格意义上讲这些刀具不能达到它样本中推荐的切深上限。(待续)

(收稿日期:20021205)

多个工件,改进后加工 700 多个工件仍未损坏。

考虑到铰刀齿数减少后,对降低工件的表面粗糙度值和提高加工精度是不利的,所以,刀齿并不完全磨去,只磨去一段,使铰刀校正部分约 $t/4$ (t 为切削全长)的一段刀刃仍然保留其原来的齿数。同时,每个刀齿的切削部分上还磨出负刃倾角 ($\lambda_s = -10^\circ \sim -15^\circ$),以降低铰孔表面粗糙度值,提高铰刀的耐用度。

改进后的深孔铰刀,可以提高切削速度,适当加大进给量,从而提高切削效率。我们曾在防爆电机机壳上加工 $\phi 8$ mm 深孔,材料 45 钢,孔长 92 mm,铰削余量 0.3 mm,主轴转速 $n = 100$ r/min,进给量 $f = 0.43$ mm/r,切削液为 30% 菜子油加 70% 肥皂水,铰后孔表面粗糙度值 $R_a 3.2 \mu\text{m}$,铰孔精度为 IT7。

2. 切削液及切削参数的选用

(1) 切削液 对于不同材料的工件,应采用不同的切削液,根据实际情况 45 钢、45Cr 等采用 30% 菜子油加 70% 的肥皂水,对铸铁件不需要加切削液,只要加少许煤油即可。

(2) 切削速度 切削速度过高或过低都易产生卷屑,铰孔表面粗糙度值高,对于钢件 $v = 4 \sim 5$ m/min,对于铸铁 $v = 4.5 \sim 5.5$ m/min。

(3) 铰削余量 铰孔余量对铰刀质量有很大影响,对于深孔铰刀更为显著。余量太大,可能产生断刀现象,如果太小,则不能铰除上道工序留下的痕迹,使工件达不到精度和表面粗糙度的要求。对于钻床上铰孔,铰削 $\phi 3 \sim \phi 4$ mm 孔,孔径余量为 0.1 mm,铰削 $\phi 5 \sim \phi 10$ mm 孔,孔径余量为 0.2 mm,铰削 $\phi 12 \sim \phi 16$ mm 孔,铰削余量为 1 mm。如果在车床上铰孔,铰削余量为 0.08~0.12 mm。

(4) 进给量 根据加工材料不同,钻床上铰削进给量 $f = 0.17 \sim 1.5$ mm/r,车床上铰削进给量 $f = 0.1 \sim 0.13$ mm/r。

铰孔前应该注意检查机床套筒的偏摆不得太大,铰孔时切削液不能间断,要充分。

(收稿日期:20020904)