



山特维克可乐满CoroMill[®] 790

铝合金加工的利器

CoroMill[®] 790: The Right Tool for Aluminum Machining

山特维克可乐满

如果不借助新开发的计算模型、先进的仿真技术和新的刀片制造技术，就无法开发独特的 CoroMill[®] 790 铣刀。由于刀片几何构形研发的需要，必须开发新型的刀片磨制概念。现有的技术包括机床、加工方法和精度保证措施已不能满足需求，因此 CoroMill[®] 790 刀片实际上也是刀片设计与相关制造技术的并行开发产品。

航空工业铝合金零件的加工对刀具有很高的要求，刀具在具有高性价比的同时还必须满足高质量加工的需求。在此背景下，整体硬质合金刀具逐渐取代了传统的高速钢刀具，这是因为整体硬质合金刀具具有槽型合适，切削刃锋利，在铝合金精加工中切削力小，并且容屑空间大，排屑顺畅等优点。

硬质合金的弹性模量大约是钢的3倍，它的这个优点使在负载相同

的情况下，整体硬质合金刀具的让刀值仅为普通钢刀具的1/3。整体硬质合金立铣刀还可以做成螺旋刃，这样就能平稳地进行切入和切出，排屑也很平稳顺畅，这些都助于减小切削力的波动从而抑制由此带来的振动趋势。

在使用直径较大的刀具(如 $\Phi 25 \sim 100$)时，可转位刀具对铝合金的粗加工和精加工依然有潜在的优势。用于铝合金加工的可转位立

铣刀无需重磨，具有更好的安全性、通用性和更高的金属去除率，尤其在去除大余量的工件时具有很大的优势。

CoroMill[®] 790 在切削力上的改进

在研发新型可转位立铣刀概念(主要用于铝合金和其他材料的高效精加工)时，可以通过修改参数来取得许多关键性的突破。为了满

足粗加工和精加工的不同要求,面临的主要技术难点包括以下几个方面:

- 平稳的切削作用;
- 良好的切屑形成;
- 极高的材料去除率;
- 低功耗;
- 很好的表面粗糙度和最小的接刀痕迹;
- 确保高转速下刀具的安全性。

加工铝合金,尤其是在小余量切削的精加工时,可转位刀片刃口通常显得较钝,常常导致犁削效应的产生,切削刃也容易猛然进入切口,引起切削力突然增加,从而因切削力的变化而导致让刀过大以及功率需求过高。上述问题因切削刃的需求而变得更为复杂,精加工时必须使用锋利的正前角切削刃,而粗加工时为确保金属去除率,要求切削刃具有足够强度。因此,我们需要一种新的充分考虑到切削力、切入、切屑形成、切削稳定性以及刀片的定位和夹紧的可转位刀片。

当铣刀的切削刃切入工件时,猛然的撞击会引起刀具的振动。它所产生的切削力主要取决于切屑厚度,该厚度与进给速度成一定比例。最初诱发的刀具振动将改变后续的切屑厚度,随后当切削力变化而反过来引起加工系统的振动加剧时,该厚度可能还会继续增加。切削力的方向和变动幅度在很大程度上决定了振动趋势。此类再生振动也称作颤振,如果不加以抑制,切削力的变化幅度就会增大,从而使切削后的表面粗糙度下降,产生接刀,甚至导致切削刃和刀具损坏,此外还会对机床主轴产生不利影响。为此,必须在切削开始时就抑制切削力的剧烈的变动从而抑制振动趋势,这也是采用防振刀具的主要原因。不过在许多情况下,这是通过对刀片结构参数进行优化(使其能对切削力剧烈变动的进行

抑制)而实现的。

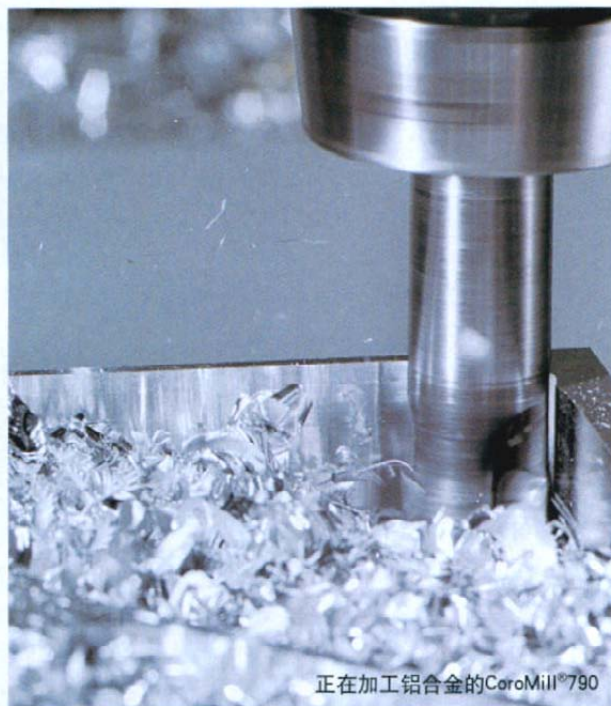
众所周知,在铣削铸铁时,后刀面的磨损会形成一定程度的振动阻尼。磨损后的“刃带”磨过加工表面,吸收振动能量,从而导致振幅衰减。从逻辑上讲,该效应也应该能够用于抑制其他类型的铣削振动。该项技术所面临的难点是如何合理地将专门设计的后刀面磨损带用作主后刀面。为了获得正确的阻尼效应,它在刀片上的位置、角度、宽度以及用在切削刃上的范围都需要相当精确,并且与刀片上的其他设计因素也应具有正确的关系。

径向切削力在很大程度上决定了刀具的让刀量和振动的强弱。如果应用得当,起缓冲作用的主后角刃带可抑制刀具偏移幅度的增加,从而控制切屑厚度与径向切削力。山特维克可乐满已获专利的新型刀片设计的秘密在于,当刀片有偏离工件的趋势时,其刃带将在刀具开始向后弯曲的瞬间与工件上相应形成的已加工曲面接触——从而防止在加工期间刀具振幅的增加。这意味着该刀片有持续的稳定效应,该效应也是切削作用的一部分。专门设计的主后角刃带与工件之间偶尔短暂的接触非常轻柔,不会对刀具切削性能、磨损发展或毛刺形成产生任何影响,其结果是——径向切削力的变化相当小。该技术成功的关键在于主后角刃带相对于刀片几何构型和刀具直径的尺寸和位置。然后,通过具有切削过程仿真的有限元分析来评估切削合力、切屑形成以及刀片中应力水平的分布。

对于径向切削力的影响来说,小到中等直径刀具刚性不好,较易发生偏斜,而大直径刀具则比较稳定,它们对防振的要求也不一样。此外还发现,进给率不是影响径向切削力的主要因素,在刀具的不同的进给之间(通常每齿进给量为0.25mm和0.35mm),径向切削力的大小只有些许的变化。对于典型的 $\Phi 25\text{mm}$ 铝合金立铣刀,其刀片上的刃带呈 1° 、0.1mm宽,并且与曲线形切削刃完全匹配。切削刃技术的发展带来的问题即为相应刀片的制造问题。

新型铣刀促进刀片技术的发展

开发 CoroMill[®]790 刀片时,理论计算和仿真表明了切削生产对刀片几何特性具有特殊需求,这就需要一些先进的刀片磨削和测量技术。因此,山特维克可乐满自行开发了1套用于新型刀片制造的技术和相应的设备。开发可用于制造新的复杂刀片的制造技术,已经成为用于径向铣削铝合金和其他材料的新型精加工可转位刀片技术开发工作的一部



正在加工铝合金的CoroMill[®]790

分。山特维克可乐满已经发展了新型组合式磨削和测量技术以及相应的机床。

铝合金是一种具有良好可加工性的材料。其材料单位切削力约为钢的1/3,熔点为625℃。这种低熔点意味着无论切削速度有多高,切削区的温度都不会超过625℃。在出现过度磨损、对切削刃的强度没有影响之前,硬质合金刀片可以承受很高的温度。更高的切削速度对功率的要求也会随之提高。事实上,铝合金高速加工时的一个常见问题是需要很大的机床功率,这往往会导致单位功耗下金属去除率偏低。因此,通常要求机床在高转速下仍能提供尽可能大的输出功率——在高速加工铝合金时,由于刀具的改进而使所需功率降低是非常有益的。

从刀具的观点来看,主切削力对功率需求具有决定性影响。降低单位材料去除量所需的功率对铝合金铣削应用有着很明显的正面影响,具体表现在每道工序的生产效率更高,并且机床加工能力也更强。前角除了决定切削是否轻快之外,也会影响到主切削力。新型刀片设计通过增大前角,同时与刀片几何构型的其余部分相互匹配,可尽可能地减少切削力,其结果是大大降低了功率要求。

在铣削加工时,为了防止初始切削力的急剧增加,切削刃需要尽可能地逐步切入工件(如沿着整体硬质合金立铣刀的螺旋线逐步切入),这将影响径向切削力大小和方向增长率,并由此影响刀具偏斜以及工件形状误差的幅值。此外,也可以大大降低轴向切削力,这意味着加工表面上由刀具施加的压力变小,这是在加工薄壁零件时需要考虑的因素。采用CoroMill®790刀片槽形,可以获得非常小的切削力。

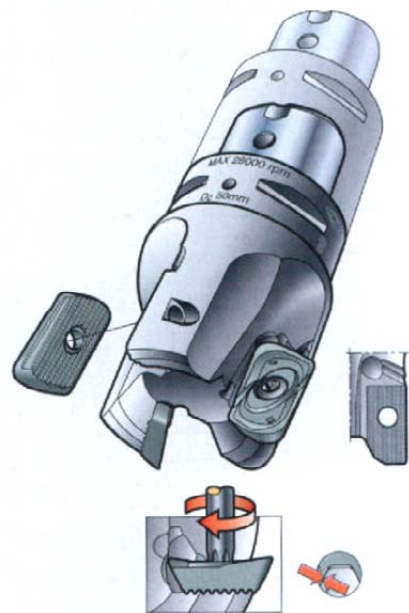
通过加深刀片前刀面上的切屑槽形,降低了切削力,优化了切屑形

成和排除——飞出并远离切削区和工件表面。这种槽形的刀-屑接触面更小,有更低的摩擦力和更平稳的切削作用,能采用更大的切削深度。这种刀片表面经过优化的喷砂和磨削处理,能承受铝合金加工时的切削应力以及防止铝合金粘接在刀片上。

尽管刀片的切削刃看上去因其更加锋利和切屑成形槽更深而显得较脆弱,但实际上其应力水平不会高于相对较钝的切削刃。借助更加系统化的设计方法、更完善精密的计算、仿真和测试手段,可以开发出更加合理的刀片结构,切削性能更加优异,而且足够安全。其目标是控制和降低切削合力,并使其指向最有利的方向。

对于大多数材料而言,CoroMill®790刀片的锋利切削刃具有去除低至0.01mm加工余量的能力。这在精加工孔时非常有用,在此应用场合下,传统的镗削刀具可能会由于切削刃吃刀不足而无法加工。在机床性能满足要求的前提下,CoroMill®790立铣刀精加工孔时可获得极高的精度——圆度误差范围在6μm之内。

CoroMill®790的铣削宽度通常小于1mm,在精加工时,铣削宽度一般在0.25~0.5mm之间。通常达到IT8的公差等级是毫无问题的,如果机床和装夹良好可以达到IT7等级,如果加工环境和装夹都是最佳,甚至可以达到IT6等级。CoroMill®790刀具可获得高的精度、粗糙度以及金属去除率,这对于标准可转位刀片铣刀来说是独一无二的。CoroMill®790刀片有2种主要的切削刃尺寸系列,其最大的轴向切削深度分别为18mm和12mm。这种切削刃具有基于Wiper(修光刃)技术的结构。由复杂多段曲线构成的切削刃可提供良好的表面质量,并且能够补偿在加工期间由于让刀引起的刀具偏斜,



CoroMill®790开放式定位

同时还消除了接刀误差。

在刀具中,刀片的定位质量对加工性能和结果来说至关重要。为此,CoroMill®790刀片采用了由锯齿形接口组成iLock刀片座,定位非常准确,同时可以防止刀片出现任何的细微移动。刀片与刀片座的侧壁是不接触的,来自各个方向的切削力和高转速下受到的离心力都由该接口承受。开放式定位使切屑能流畅地排出。锯齿形接口的精度确保了切削刃在刀具中处于正确的位置,并使由刀片尺寸误差引起的刀具的径向跳动量减少1/2。

结束语

总而言之,如果不借助新开发的计算模型、先进的仿真技术和新的刀片制造技术,就无法开发这种独特的CoroMill®790铣刀。由于刀片几何构形研发的需要,必须开发新型的刀片磨制概念。现有的技术包括机床、加工方法和精度保证措施已不能满足需求,因此CoroMill®790刀片实际上也是刀片设计与相关制造技术的并行开发产品。

(责编 玉龙)