



# 刀具的发展提升了钛合金 铣削的性能

## Tooling Developments That Elevate Titanium Milling

山特维克可乐满

在粗加工铣削中,为了获得最佳金属去除率,轴向切削深度是考虑的主要因素;而在精加工铣削中,必须考虑选择最佳的进给率。在钛合金加工中,无论是粗加工还是精加工工序,尽管切削速度可以有不同水平,但是,它总是受到限制的。了解了这些钛合金加工时的基本原则,就可以为优化工序做许多工作,从而使钛合金加工更具竞争力并实现可靠的加工过程。需要考虑的4项关键因素是机床能力、冷却液供给、切削刀具和加工方法。

由于钛合金已成为机加工车间内越来越常用的材料,相应的加工工艺是否能进一步发展使该种材料的性能和加工结果达到全新的水平就成为至关重要的因素。在钛合金加工中,铣削占据主导位置,部分原因是由于在飞机机身零件中加工出型腔、外形、槽和边缘都是极具挑战的工序。

大部分加工是二维的,由于型

腔深度和半径要求以及其他挑战性因素,对加工的要求越来越严格。至于所用的机床,对于钛合金加工来说,它们已经非常过时了,这就要求为实现出色的加工以及最充分的机床利用率来选择最佳的工具系统和加工方法。

### 钛合金的加工特点

在实际的钛合金加工过程中会

遇到诸多必须考虑的因素。基于这点,钛合金的铣削工艺会和很久以来主要的加工方法不同。两种全新的铣削刀具解决方案以及应用的不断发展,已经为钛合金铣削提供了新的可能性。

与许多其他材料相比,成功加工钛合金的潜力要小得多,加工性能也不同。由于钛合金在可加工性方面变化比较大,这影响了加工方

法和刀具的选择以及加工工艺,但是与其他任何合金的加工一样,需要更加仔细的规划——从为作业选择机床到为切削细节进行编程。尽管航空制造业中的零件特性相当相似,但是,尺寸和形状各异,因此,机床、夹具、冷却液、刀具、加工方法以及切削参数的选择也不尽相同。由于刀库的空间有限,工艺的柔性(灵活性)是首要条件,就生产效率和能力而言,刀柄的类型、刀具的安装调整都是关键因素。

正如粗加工和精加工工序必须按照不同的参数规划,对于可转位刀具和整体硬质合金刀具来说,与不同的应用领域联系的钛合金铣削也随之出现。需加工的尺寸和形状以及合适的刀具型号是第一位的决定因素。可转位刀具去除材料的效率最高,现在已经被看作是粗加工的首选,在大而平的表面精加工中,它也是无可匹敌的。整体硬质合金刀具广泛应用于半精加工和精加工工序,当对于可转位刀片刀具来说半径、型腔及槽的尺寸过小时,整体硬质合金刀具也是理想的解决方案。

待加工零件的参数的编程数据是选择专用铣削刀具的基础。由于最大化金属去除率应与经济的刀具寿命相平衡,基于这点,就可以确定其他刀具变量了。对于钛合金来说,刀具的基础因素包括用硬质合金材质制造的、切削刃锋利且坚固,并具有相对大的正前角。这些要素可以满足钛合金的特殊耐热和化学要求。在槽形和刀具材料方面,可转位刀片技术经历了一段很长的发展过程,它正在成为性价比更高的解决方案,从而取代大量的现有硬质合金刀具,甚至可用于中等和大尺寸刀具。

### 钛合金材料的径向铣削

径向铣削非常适合钛合金加

工。但是,大的径向切削深度会大大缩短刀具的寿命,而大的轴向切削深度对切削温度的影响甚微,所以不会以相同的方式影响刀具寿命。因此,使用密齿距的长刃铣刀,同时运用30%的径向切深以及具体应用所允许的最大轴向切深是高效去除钛合金材料的最佳方法。

由此,长刃铣刀适合众多钛合金零件的侧壁粗铣和精铣。长刃铣刀的长螺旋刃非常适用于钛合金加工中的大量径向铣削。可转位刀片长刃刀具由多排刀片组成,这些刀片与连续磨削的整体硬质合金刀具切削刃一样。目前,从刀具的底部起沿外周上升排列可转位刀片已达到钛合金中实现良好加工性能和安全性极限。可实现高效排屑的大尺寸排屑槽是必需的,并与高效的正前角、锋利的刀片相结合,组合成了可实现出色加工性能的可转位长刃刀具。

对于钛合金铣削来说,切削刀片的稳定夹持是至关重要的,即使是在粗加工中,切削刀片的任何移动都会导致不均匀磨损,并使切削刃处于危险之中。轻微的磨损迹象

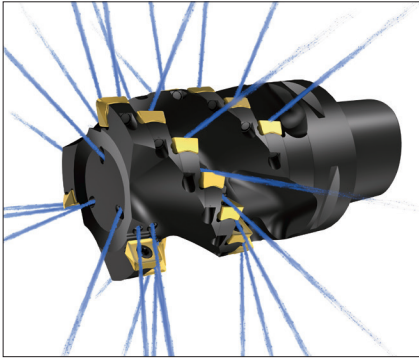
会在钛合金切削过程中使切削刃变钝,从而加快磨损并导致刀具破损。对于一排紧密固定的连续刀片来说,刀片的轴向支撑特别难,会导致对刀片螺钉的过度依赖。因此,在使用长刃铣刀时,获得杰出性能的最佳方法是在刀片和刀体之间牢固的接口。刀片座必须有一个确定的支撑和锁紧装置,还要特别考虑到轴向力和旋转力。

### 新刀具解决方案

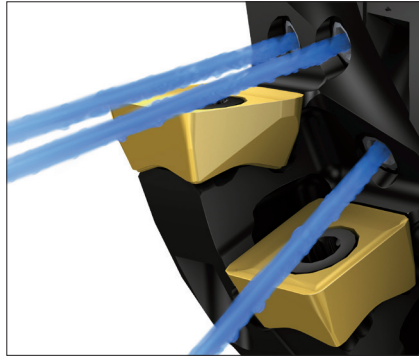
在此背景下,山特维克可乐满 CoroMill® 690 长刃铣刀(专用于钛合金加工)的研发重点在于拥有创新性的刀片设计。刀片能够精确定位并固定锁紧可确保高金属去除率以及宽敞的排屑槽。CoroMill® 690 铣刀所配备的刀片代表了刀片制造技术发展的新成果,专为钛合金加工时所需的切削过程而优化。这种直接压制的锋利刀片具有切削动作轻、吃刀充足、功率要求低以及高进给率的优点。此外,专为钛合金径向铣削而优化的槽形还有助于延长刀具的寿命。这样一来,就为高效去除大量材料的边缘与型腔粗加工



CoroMill® 690



CoroMill® 690 带有冷却液通道和喷嘴, 可为每片刀片提供高压冷却



提供了一种坚固而可靠的高性能刀具,加工飞机结构件时通常就需要这种刀具。

CoroMill® 690 铣刀有两种刀片尺寸,相同直径的刀体能够选择不同的齿距,用以应对各种加工工序,而密齿距刀体是通过提高进给率为提高生产效率带来了更多可能性。同时,这些刀片具有通用的径向铣削能力,优化的可能性更多。CoroMill® 690 长刃铣刀的研发在一定程度上基于 CoroMill® 390 的应用经验,CoroMill® 390 作为成熟的立铣基准刀具,拥有广泛的应用范围,其中包括粗加工型腔时的插铣。同时,该产品系列可为钛合金铣削提供可转位刀具全面的加工能力,此应用的重点是高安全性下的金属去除率。

### 冷却液至关重要

钛合金铣削取决于所应用的冷却液——质量越高,加工效果越好。事实证明,高压冷却应用(压力范围为标准  $70 \times 10^5 \sim 100 \times 10^5 \text{Pa}$ ,具体取决于所使用的系统)已显示出其明显的优势。由于高压冷却在许多现代机床上已成为标准配置,因此它是优化钛合金铣削的潜在资源。

高压冷却会影响热量分布、切屑形成、切削刃粘附趋势、刀具磨损以及表面完整性,由此而对钛合金加工结果产生非常明显的影响。

由于钛合金易发生化学反应,

因此在加工期间容易使工件材料焊接到切削刃上,从而会影响刀具寿命,并导致切屑的二次切削和硬屑堵塞。在高压下从喷嘴喷出的冷却液对温度控制起着关键的作用,并因此影响加工结果和可靠性。刀具喷嘴直接对准刀片上与精加工表面相接触的部分,从而在切屑与刀片前刀面之间形成的所谓的“液压楔”。因为这些喷嘴孔属于刀具的不可调整部分,因此在装配时已进行过优化并消除了不稳定因素,这样一来就能够获得更具一致性且更安全的加工过程。

CoroMill® 690 专用于钛合金铣削,这种刀具包含多个冷却液通道和孔,能为每片刀片提供高压冷却加工。其每个切削刃都由许多刀片组成,而每个刀片都有相应的冷却液喷嘴为其提供高压喷射。在无需使用铣刀的整个切削刃长度的情况下,可以使用塞子代替喷嘴,这样可以避免不必要的空喷射而浪费冷却液压力。位于刀具端部的喷嘴有助于排屑,避免出现切屑的再切削效应(特别是在型腔加工中)。此外,为确保泵能够提供所需的流量,喷嘴尺寸还可具体选择。与正常的冷却压力相比,使用高压冷却能够使刀片寿命延长一倍,这是因为它能够有效地避免可导致刀具损坏的重复切削。

可转位铣刀出于实际原因,其直径下限为 12mm,而硬质合金刀

具基于性价比考虑,其直径上限为 25mm。中间和重叠范围选择取决于具体应用。对精加工,精磨的整体硬质合金立铣刀通常是最佳解决方案,而对粗加工,最佳解决方案则是可转位刀具。但是,适合这种中间范围的刀具还在继续发展,因为刀具模块化通过这种可换头式铣刀提供了一个完全不同的视角。

### 小直径铣刀应用

深且窄的型腔需要较长的刀具可达性。要使这些型腔不成为加工时的瓶颈问题,需要一种能够提供良好性能的解决方案,并结合小刀具加工能力和加工灵活性。为深入型腔内部而使用加长夹头来夹紧整体硬质合金立铣刀并不能实现最佳的稳定性,因为这样会限制切削参数,并为零件质量带来风险。但是,可换头式刀具具有整体硬质合金刀具的可转位性和精加工能力的双重优点。

从性能与加工结果、刀具成本角度以及灵活性要求来看,可换头式刀具系统在 10~25mm 的刀具直径范围内优势明显。不仅可提供高度灵活性,还能够降低刀具库存。其精加工能力要优于可转位刀片刀具,并且与整体硬质合金刀具相比,刀具的成本得到大幅降低,此外,不必担心因重磨而使刀片尺寸变小。



Coromant Capto®



专用于钛合金铣削的 CoroMill® 690 长刃铣刀带有创新的刀片设计

由于能够选择不同的刀头与刀柄进行组合,因此能提供高度的灵活性和更多的优化可能性。

刀头与刀柄之间的接口是此类刀具的关键因素。其性能取决于强度、稳定性、精度、可重复性以及夹持便利性。正如 CoroMill® 690 长刃铣刀一样,它在很大程度上得益于切削单元与刀体之间接口的不断发展,这种接口也使推出新一代可换头式铣刀成为了可能。足够大的轴

向支撑面、锥形径向支撑面、专门开发的螺纹牙型以及螺钉支撑共同造就了刀头与刀柄之间所需的独特接口。这种接口是在大刀具悬伸工况下确保良好加工性能的基础。

CoroMill® 690 充分发挥了先进的柄部的优势。

可乐满 Capto®: 模块式接口,具有极高的稳定性,可保证在大悬伸切削深型腔或侧面时在刀体非切削部分和工件间留出间隙。

HSK: 整体式刀具,并能够直接与主轴联接以较短的悬伸进行切削,提供了更高的稳定性。

基于使用 CoroMill® Plura (金刚铣) 的丰富经验, CoroMill® 316 可换头式立铣刀系列来源于最先进的整体硬质合金刀具,可提供所需的全面加工能力。整体硬质合金刀柄具有不同的直径、长度和样式,能够为许多飞机结构件的半精加工和精加工提供最佳的刚性。

### 成功的钛合金铣削

在粗加工铣削中,为了获得最佳金属去除率,轴向切削深度是考虑的主要因素;而在精加工铣削中,必须考虑选择最佳的进给率。

在钛合金加工中,无论是粗加工还是精加工工序,尽管切削速度可以有不同水平,但是,它总是受到限制的。了解了这些钛合金加工时的基本原则,就可以为优化工序做许多工作,从而使钛合金加工更具竞争力并实现可靠的加工过程。需要考虑的 4 项关键因素是机床能力、冷却液供给、切削刀具和加工方法。

在切削速度较低的径向铣削时,机床需要有足够的功率和力矩,也要求有合适的主轴,以获得满意的金属去除率。如果机床也使用小直径刀具,则主轴速度范围需要足够高,以获得出色的加工结果。一般来说,需要评估主轴接口,它的联接稳定性不能太弱。为了获得足够的刀具弯曲刚性,良好的端面和锥度接触是基本要求;为了消除螺旋或径向铣削刀具产生的刀具上的拉力,足够的夹紧压力是至关重要的。

铣削刀具的新发展带来的性能提升直接增强了钛合金材料的性能。在克服钛合金材料的加工挑战中,专用刀具起到了主要作用,在优化部分,为工序选择和应用正确的刀具发挥了重要作用。

CoroMill® 690 长刃刀具专为钛合金的高效 2D 二维仿形加工、凹穴型腔铣削及侧壁加工而研发。随着 CoroMill® 690 产品系列的扩展,它现在可提供一套完整的产品,从而优化了航空工业零件的切削。与普通加工相比,钛合金铣削的方法和编程技术更甚一筹。按照推荐的方法加工圆角和轮廓,可在机床的生产周期和尽量减少废品方面取得与众不同的结果。通常,为确保从一开始就以正确的刀具路径加工,在加工前多花点时间来优化编程,这比选择现成的工艺将起到事半功倍的效果。



CoroMill® 316 是立铣中的成熟标志性刀具,应用广泛

(责编 良辰)