

钛合金铣削的新进展

New Step to Competitive Milling in Titanium

山特维克可乐满 Christer Richt

钛合金零件的加工不能说有多难。但是,由于钛合金的加工更具挑战性,因此要求采用适当的加工方式和方法,并且在工艺设计、刀具选择和应用上需要采用不同的方法。此外,由于竞争的需要,这还不足以实现成功的加工工艺,必须尽可能高效地进行钛合金铣削工序,以确保最大加工安全性与一致的产品质量。

与其他大多数工件材料相比,加工钛合金有更多的要求。此外,需加工的零件通常包含一些非常复杂的特征。

就其本身而言,如采取正确的手段和方法,钛合金零件的加工并不困难;就挑战而言,仅仅是切入工件时的方法不同。加工的方法不仅正确,而且在各个加工阶段都尽可

能高效,同时还要确保最大的加工安全性和产品质量的一致性——换句话说,就是使策略更具竞争力。

钛合金零件的机加工主要是铣削(图1),特别是航空结构件,最近该领域取得了很大的发展,为制造业水平的提高提供了诸多机

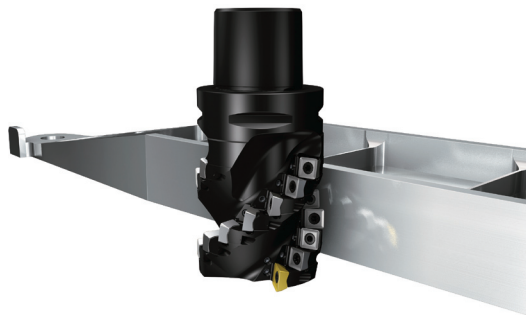


图1 典型的钛合金航空零件铣削

会。

迎接挑战计划

冶金、化学和热属性在很大程度上使钛金属成为一种独特的设计材料和工件材料。钛合金在可加工性方面差别很大,从传统的 Ti6Al4V 到强度更高的 Ti10-2-3 和 Ti5553,但钛合金的基本特性包括:

(1) 钛合金一般在必须能够承受高温的零件中使用。其导热性较差,这意味着与大多数其他金属一样,热量难以从产生切屑的切削区转移出去。由此导致更高的切削温度,随着切削速度的增加,温度也会急剧上升。这样一来,刀片就需要承受更高的热负载。

(2) 作为一种零件材料,钛合金具有出色的耐腐蚀性,但是在加工时其粘性较大,容易与刀具材料发生化学反应。这意味着有可能使钛合金粘到切削刃上,由此导致刀具快速崩刃从而导致安全性较差。

(3) 钛合金具有很高的材料强度,但弹性较大。这意味着在切削期间,刀具容易偏离工件材料,如果不能及时处理就会导致各种切削问题。

(4) 切削后所留下的钛合金表面需要格外注意。它很容易因出现极小的裂纹、划痕、材料焊接、塑性变形、热影响区以及残余应力而损坏。如果表面完整性不能保持在合理的水平上,这些因素就会导致零件的材料性能退化。

(5) 在切削过程中,切屑与刀具面之间的接触面较小,由此导致切削刃承受很高的压力。高压应力和高温是加工钛合金时刀具刃口变形和诸多磨损的主要原因。

这些属性需要使用正确的专用切削刀具和方法才能满足此类材料(往往为材料特性)所带来的加工挑战。

到现在为止,由于种种原因,钛

合金加工还是趋于保守。因而,在机加工领域它并没有像大多数其他材料一样取得逐步发展。材料加工具有挑战性,而且很多零件结构较为复杂、高安全性以及特定的质量需求等问题都意味着使用安全的加工方法是最佳策略。但是,随着钛合金零件数量的不断增多,加工钛合金的工厂数量以及制造商对竞争性的需求都随之增加,我们不可避免地需要寻找可实现较高生产效率的新方法。

如果工件材料是钛合金,就需要对加工工序进行更全面、详细的规划。钛合金的基本加工要素同其他材料相似,但是由于材料的自身特点,不但加工困难,具有特殊性,而且也会带来更多的挑战。这些要素包括切削刀具的性能、零件尺寸和加工特征、装夹、编程、刀具的选择。另外,冷却的好与坏也会对加工后的结果产生直接影响。

改善性能

改善钛合金加工的性能主要取决于如何找到最合适的切削刀具和加工方法。当然,对所有工件材料特别是钛合金来说,就材料属性本身而言,其风险意味着加工工序需要更严格地注重专用刀具和加工方法。此外,如果要求提高制造竞争力,那么选择先进的加工解决方案就更为必要。

首先,钛合金的通用切削经验法则如下:

(1) 对所使用刀具,通过控制切削速度来限制切削温度。钛合金切削时,延长相对较短的刀具寿命是个关键问题。

(2) 使用相对锋利的切削刃口降低钛合金加工时的摩擦系数,从而降低切削温度。

(3) 通过进给率的优化,降低空走刀时间,来提高金属去除率和减少切削时间。

(4) 通过正确使用冷却液来限制切削温度,正确的方法是最好使用高压冷却(HPC)。

(5) 规定严格的刀具磨损周期,定期更换刀片。

(6) 优化工艺,使用推荐刀具正确加工。

(7) 根据所使用的刀具,遵循推荐的最大切屑厚度和每齿进给量。

规划铣削工艺

对零件和机床进行评价时,需要考虑很多问题。目前,作为一种普通的加工工艺,和其他加工相比,铣削的一些特征还是不同的,这意味着要获得最佳的加工效果,需考虑到如下因素:

(1) 铣刀的类型、尺寸、形状、齿数;

(2) 刀片槽形和材质;

(3) 刀具夹持、机床接口、集成式刀具、冷却液供应和模块化;

(4) 编程,在仿真基础上建立的加工过程;

(5) 切削参数、起始值、评估和优化。

在零件加工之前,首先要清楚被铣削的零件特征的所有描述,包括:尺寸、表面要求、二维和(或)三维要求、型腔尺寸、特征和深度、壁厚和厚度、凹槽和槽、断续切削、圆角半径和表面质量的限制。

应根据所需要的功率和扭矩来选择最合适的机床,特别是在一定的主轴转速范围内,应考虑所使用铣刀的直径大小和进给率。刚性足够好的主轴、合适的接口和内冷,以及机床冷却液泵所提供的流量和压力,这些因素对的钛合金铣削是必须要考虑的,可根据所使用的不同刀具进行合理选择。

就铣削方法而言,如今可根据所述零件特征和机床因素有诸多选择。不仅面铣和方肩铣,对其他铣削如轮廓、型腔和凹槽等加工也有

许多方法：径向铣、斜坡铣、螺旋插补铣、圆弧轮廓铣、插铣、啄铣、高进给铣削和型腔、拐角的片铣等。在数控机床和多轴机床上，一些方法相对较先进，非常适合钛合金加工——有赖于最新发展的切削刀具概念和应用技术。

径向粗铣的新观念

对一个加工工序，从切入和切出以及是更适合轴向加工还是径向加工来说，考虑替换方法和替换刀具时有很多选择。例如，二维铣削中，较小径向吃刀量和较大轴向吃刀量在很多情况下都有优势。这是因为先进的钛合金专用长刃铣刀通常是进行内/外型面、边缘、轮廓和深方肩粗铣的最佳刀具。新近研发的刀具具有锋利的刀片槽形和带涂层的刀片材质，专为高进给以及更长、更安全的刀具寿命和更低功率需求而设计。

专用于钛合金加工的新型长刃铣刀具有2大主要优点：绝对精确的刀片定位与锁紧以及每个切削刃都有单独的高压冷却喷嘴。

钛合金铣削，要求刀片定位更加安全可靠，通常的长刃铣刀对抵抗轴向切削力都存在弱点，这就是为什么要研发新的钛合金专用铣削刀具。新的刀片定位支撑可消除在刀片座中的微观移动。这意味着较高进给率情况下，实现加工安全性和较高生产效率的完美吃刀量。刀具中的全新刀片定位和锁紧概念使刀片完全固定在适当位置，并将底刃刀片风险降到最低限度，而这正是此类刀具的典型特点。

这类刀具的一大优点是能使高压冷却液直接作用在每个切削刃口上(图2)。在能够供应压力为5~7MPa冷却液(冷却液贯穿刀具)的机床上，使用 CoroMill 690 铣刀时(图3)，切削区域的温度可以保持足够低，也就可以允许使用更高的切

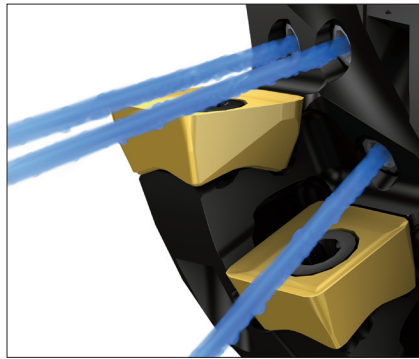


图2 HPC细节



图3 加工中的CoroMill 690 铣刀



图4 适合钛合金铣削的可转位刀片材料S30T和S40T

削速度，大幅延长刀具寿命，并且还可以更平稳地排出切屑尽量避免二次切削，以此大幅提升加工性能。

相对于通用型长刃刀具，对先进的钛合金专用长刃铣刀的较高投资能实现快速回报。

刀片材质

目前已研发出了一系列涵盖范

围很广的专用于钛合金铣削的可转位刀片材质，可以满足不同的钛合金零件特征的加工要求。新推出的2种刀片材质(图4)专用于满足钛合金铣削的要求，是现有材质类型的补充。虽然无涂层刀片在钛合金铣削领域占据主要地位，但使用新一代涂层的刀具材质在许多方面都进行了改进——可运用更高的切削速度，实现更长的刀具寿命、困难工况下的额外切削刃强度。

这2种钛合金专用材质使用了不同涂层技术。细晶粒硬质合金材质加上PVD涂层可以获得锋利的切削刃，具有较好的耐磨性，可以使用更高的切削速度并能够长时间连续切削。另一方面，在困难的工况下，包括困难切削、进刀和退刀，甚至是振动趋势下，为实现高生产效率，对刀具强度有更高的要求。新

型CVD涂层材质配备韧性很高的基体，满足更苛刻切削的要求，具有更安全、可预测的刀具寿命。

小直径刀具

在传统的解决方案中，如果需要更小的刀具直径，就要使用硬质合金和高速钢立铣刀。在过去的几年中，整体硬质合金立铣刀有

了长足发展,出现钛合金铣削专用的槽形和材质(图5)。这些立铣刀的缺点在于细长和本身刀具材料,稳定性和灵活性不足,成本较高。在整体硬质合金立铣刀和可转位刀片立铣刀的交叉领域(范围为10~25mm),如今出现了一种互补的解决方案:可换头式立铣刀。

对大多数工序和加工要求而言,可转位刀片刀具很灵活,具备高金属去除能力,非常适合大多数工序,而整体硬质合金刀具则具有较小的刀具公差,能够提供很高的表面质量和精度,尤其是在大轴向切深下,能够实现径向长刃切削。可换头式立铣刀重复定位精度可以达到一定的要求,能够适用一定的场合,但是在长侧壁铣和纯面铣,以及由于空间限制需要长悬伸的超精加工中不能使用。

在需要长切削刃和细长悬伸的情况下(例如加工封闭型腔,或在半精加工到超精加工工序中的大轴向切深下进行轻型切削),整体硬质合金立铣刀是最佳选择。现在诸多改进包括:带避空设计的可变排屑槽结构;为平稳切削提供的各种螺旋

槽形;以及在钛合金加工中使用内冷却液有助于排屑。在受限型腔进行二维粗铣以及在封闭凹腔内进行四轴、五轴铣削时,为圆角轮廓和半径铣削选择合适的刀具半径方案非常重要。

另一方面,可转位立铣刀是常用高效粗加工到半精加工工序的最佳选择。可换头式立铣刀的金属去除率高于整体硬质合金刀具,而表面质量和精度均优于可转位刀具。那么最佳的概念就是将刀头配以现代的整体硬质合金刀具,从而实现可转位性以及优异的精确度。

灵活、强大及高成本效益

现代可换头式立铣刀(图6)在钛合金铣削领域具有很多优势,奠定了其很重要的位置。不过它没有整体硬质合金立铣刀长的、螺旋型排屑槽,而且整体刚性相对脆弱。但是,它具备可转位刀具的诸多优点,不需要用于刀座的松动部件,它带有夹紧螺钉或夹紧机制。如果整体硬质合金立铣刀发生断裂,则意味着很大的刀具成本,因为必须更换整个刀具,相比之下,可换式刀头成本就会低很多。整体硬质合金刀具可进行重磨,在直径、位置和成本上有所减少,而小刀头仅使用一次,然后替换新刀头,磨损后可进行回收再利用。



图6 加工中的CoroMill 316

灵活性是可换头立铣刀的一大优势。在机床上或刀具室内轻松而快速的换刀以及刀具的精度确保了切削刃的精确定位。可采用可换头立铣刀轻松优化刀具可达性和稳定性之间的平衡。选择最合适的刀柄,实现最长的刀具可达性或者通过最小长度刀柄实现高刚性。可换头式立铣刀成功的要点在于:

(1) 刀头与刀柄之间的联轴器设计有专门开发的螺纹牙形,加工时全面接触可确保最大稳定性。

(2) 刀头强度、精度和铣削头系列针对粗加工和精加工进行了优化,涵盖了大多数工序类型。

(3) 可用的刀柄系列包括整体硬质合金刀柄,在使用4~5倍于刀具直径的悬伸时能够增大刀具刚性。

结论

钛合金零件的加工不能说有多难。但是,由于钛合金的加工更具挑战性,因此要求采用适当的加工方式和方法,并且在工艺设计、刀具选择和应用上需要采用不同的方法。此外,由于竞争的需要,这还不足以实现成功的加工工艺,必须尽可能高效地进行钛合金铣削工序,以确保最大加工安全性与一致的产品质量。

(责编 亦非)



图5 使用Plura刀具加工钛合金