

# 先进航空发动机生产的 专业知识与制造方法

## Specialized Knowledge and Manufacturing Method for Advanced Aeroengine

山特维克可乐满

航空航天业是世界上对技术要求最苛刻的行业之一。而航空发动机零件所面临的加工挑战更是严峻,其成功的关键在于将最新的应用和工艺知识与最佳的刀具解决方案相结合。

### 涡轮盘

涡轮盘车削工序复杂,其材料通常是难加工的合金材料,例如 Inconel 718、Waspalloy 和 Udimet 720。此类零件通常是清除型腔轮廓比较困难。

(1) 刀具解决方案: 模块化 SL70 刀具系统。

圆刀片是粗加工和精加工要求苛刻材料的最佳选择,其加工效率很高,同时还具有很好的可达性。这些圆刀片刀尖半径较大,这意味着可以在不降低切削深度的情况下主偏角更小,因此可以提高生产效率。模块化的 SL70 刀具系统的刀板可以根据凹型腔的特征设计,无需使用非标刀具或对刀具进行改进。用户可以灵活地选择各种接柄和刀板,这样基于有限的刀具库存即可构建出多种模块组合。这些刀板考虑了轴向和径向干涉,所以能够深入到斜槽中,并且带有高压冷却,冷却液可以通过刀板内部直接作用于切削刃口上。由于带有防振特性,在可达性要求较高的场合亦可确保高性能,因此这些刀板在车削深槽特征时,往往能够在更高的进给率下降低振动并获得更长

的刀具寿命。此外,甚至在使用大悬伸或承受高切削力时,山特维克可乐满 Capto 接口也可提供极强的刚性。

(2) 应用: 摆线车削。

在加工深狭槽和凹槽中,从金属去除率方面来说,摆线车是一种高效加工方式。通过工件分段式,摆线车采用滚入切入的方式,可以减小刀片接触面。车削凹槽时,排屑始终是关键因素。加工这种材料剪切力大,因此需要形成更窄的切屑,这就需要平衡刀片槽型和进给量。此举也最大化了直线运动,这样就能够通过最大化进给率而获得最佳的生产效率。同时,这种加工方法能够保证在每次退刀时,切削力方向不同。另外,由于刀片始终没有离开工件,所以交替变换切削方向能够充分利用切削刃口,使刀片更持久耐用。摆线车削能够避免切屑堵塞,降低振动趋势和残余应力,非常适合于安全高效地去除大量材料。

### 涡轮机匣

涡轮机壳体通常采用极具挑战性的材料制成,涡轮机匣的材料通常极具挑战性,例如 Inconel 或 Waspalloy。由于金属去除量较大,因此在铣削时,容易对零件结构产生重大影响(例如变形)。此类零件需要使用许多车铣和五轴方式去除大量材料,由此导致生产周期非常长。



(1) 刀具解决方案: 陶瓷材质 CC6060。

与硬质合金刀具相比,陶瓷切削刀具的耐热性更高,并且不易与工件材料产生化学反应。陶瓷材质 CC6060 是一种优化材质,针对大直径零件切削长度较大,CC6060 适合更高的进给率和长时间的连续切削,这使其成为铣削涡轮机匣类零件的理想选择。由于其出色的抗沟槽磨损性能,所以和其他陶瓷材质相比,CC6060 材质可以适用于更大的切削深度,在半精加工至粗加工的初始和中间切削阶段中可确保最佳的生产效率。该材质也是型腔加工和仿形加工工序的首选。

(2) 应用: 凸台间的陶瓷车铣。

在整个涡轮机匣加工期间,平均有 75% 的时间耗费在车铣凸台间的材料上。车铣牵涉到利用旋转铣削刀具进行切削时还要使工件旋转。这种工序非常适合于加工那些要求高金属去除率和有遮断物(如点火凸台)的车削零件。涡轮机匣的凸台位于其圆柱周界的边缘。采用陶瓷刀具进行车铣不仅可降低沟槽磨损,而且能够提高进给率以及获得更高的

金属去除率——它是去除凸台间材料的最高效方式。

## 风扇机匣

这些大型钛合金零件可加工性较差,具有复杂的形状和薄壁等特点。但与镍合金不同,钛合金不能用陶瓷进行加工。这样就使如何高效地去除金属成为一项挑战。加工此类零件保持低切削温度至关重要。

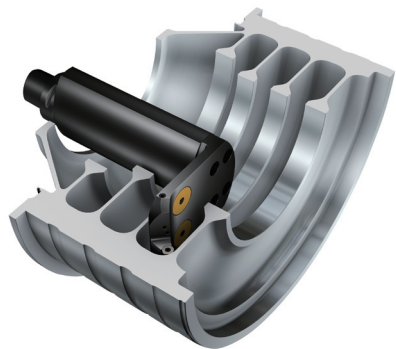
(1) 刀具解决方案: 立式车床(VTL)。

为了确保温度可控和极佳的零件精度,此类加工应在立式车床上进行。立式车床设计需要具备手动快换或自动换刀功能。尤其是采用自动换刀时,长切屑意味着零件损坏的风险很高。但是,在立式车床上,可以冷却液通过滑枕直接输送到主轴,对冷却液压力没有限制,因此改善了切削条件和加工安全性。

(2) 应用: 高压冷却(HPC)。

确保风扇机匣加工获得成功的一个关键是使用高压冷却。HPC的好处包括可以改善切屑控制和降低切削区的温度。切屑控制更安全,就能保证切屑从紧密的型腔和凹槽中顺利排出。这样可确保切屑不会缠绕住刀具或划伤零件。高效地冷却切削区将有助于尽可能降低刀具磨损,延长高达50%的刀具寿命,并且能够使切削速度提高20%。

在机床的高压泵产生压力后,接下来就需要刀具将冷却液传送到正确的位置。利用高精度喷嘴,可以将



减振刀片

冷却液引导至主切削刃。这种高效应用有助于在切削期间均匀散热。

## 盘轴与风扇盘

发动机盘轴和风扇盘代表两种同样极具挑战性的特征: 深内腔和燕尾形叶根槽。

(1) 刀具解决方案: 防振刀板。

加工这些零件时采用防振刀板将有助于解决常见的振动和排屑问题。防振刀板设计有已获专利的防振装置,能确保工艺更安全高效。与未加装防振装置时相比,其切削深度可高出4倍。这些较窄的条形刀板能够深入到深内腔底部高效地去除切屑,可确保极为安全的加工工艺。

(2) 应用: 深槽内的无振动车削。

深槽代表此类零件最具挑战性的特征之一。在应用方面,盘轴的深槽加工时由于容易在凹型腔中形成切屑堆积,从而引起刀片安全隐患。为了确保加工安全性,应采用无振动车削。椭圆截面的齿纹接口提供了杰出的稳定性和可达性,而3到10英寸高的刀板能实现最佳的冷却液供应以帮助排屑。

## 轴

发电机轴采用高合金钢或Inconel制造,其面临的主要加工挑战是零件的长度和复杂的内部特征。轴在制造方面最重要的进展得益于多任务机床的不断发展。

(1) 刀具解决方案: Silent Tools 减振镗杆。

由于这类零件的长度较长,因此在镗削期间常常会出现振动。振动会引起例如具有破坏性的表面纹理、精度不够、生产率低、增加刀片的消耗、机床的磨损加速以及产生噪声等问题。Silent Tools 镗杆具有嵌入式防振结构,这使其能够实现无振动加工,同时还能保持良好的生产效率和较严的公差公差要求。

(2) 应用: 镗削深孔和孔中的深

凹型腔。

镗削深孔会导致表面光洁度差,并且由于不稳定而引起振动。零件唯一不需要抵消的切削力是轴向力。但是,径向力会令刀具弯曲进而离开切削区,由此对公差和孔径产生负面影响。通过施加逐渐提高的轴向和径向载荷,当前频率或 Silent Tools 减振镗杆会吸收切削时所产生的任何振动,不仅改善了切屑控制,而且能够提高切削参数。

## 整体叶盘 / 叶轮

由于在重量、效率和维修等方面的优势,整体叶盘在发动机压气机中的应用越来越多。与其他零件相比,此类零件具有狭窄的凹腔、狭长槽和很深的复杂几何形状,切削时往往需要五轴联动。

确保加工获得成功的关键因素应具有良好动态特性的五轴机床、经过优化的软件和正确的刀具选择。

(1) 刀具解决方案: CoroMill Plura 50 度螺旋角带避空整体硬质合金圆角立铣刀粗加工材料为 Inconel 的狭槽时, CoroMill Plura 50 度螺旋角带避空整体硬质合金圆角立铣刀特别适合于铣削深度约为刀具直径两倍而铣削宽度较小时的应用场合。

(2) 应用: 摆线铣削。

摆线铣削是用于去除花边和凹腔中材料的一种高速加工技术。通过平稳地圆弧切入和圆弧切出工件来控制铣刀与工件的接触弧长,即可获得更高的生产效率和更长的刀具寿命。摆线铣削能够将高工作台进给与低切削力有机结合,从而使切削刃和工件保持较低的温度。该方法采用了薄屑技术,其结果是切屑中热积聚少,刀具能够以全切深运行。此外,还削减了走刀次数。摆线铣削并非总是粗加工狭槽的最快方法,但毫无疑问的是它能获得更长的刀具寿命、高可预测性和更高的零件质量。

(责编 小城)