

在高进给铣削时，切削刀的曲线利用减薄切屑实现较高的进给率。Stellram 公司表示，在加工高温航空合金时，此高进给铣刀的进给率是传统的铣刀的 5 倍

刀具

钛加工的十个技巧

关注一些简单的工艺问题，可以提高铣削钛合金的生产效率。

文 | Peter Zelinski

钛合金和铝合金都被用于制造飞机结构组件，且这两种组件在加工完成之前约有 90% 的材料要被去除。刀具制造商 Stellram 公司全球航空航天业务经理 John Palmer 说，其实，很多厂商都有更大的钛加工能力，但他们自己并没意识到。许多高效加工钛合金的技术其实并不难掌握，但几乎没有哪个厂商充分发挥了其高效铣削钛金属的技术潜能。

稳定性是关键。刀具接触工件时，便形成了一个环路。刀具、刀架、主轴、床身、路径、工作台、夹具和工件都是该环路的一部分，所有环节都必须稳定。其他重要的事项还包括冷却剂的压力和容量以及输送方式，再加上方法和应用。为了发挥那些能高效加工钛材的工艺更多潜力，Palmer 先生分享了他的意见。

保持较低的径向走刀量

加工钛的关键挑战之一是散热。在钛的加工过程中所产生的热量只有少量随切屑排出。与加工其他金属相比，钛加工过程的热量大部分都进入了刀具。由于这种作用，径向走刀量的选择决定了表面速度的选择。

全插削，即 180° 走刀要求有

较低的表面速度（图 1）。但减少径向走刀量便缩短了切削刃产生热的时间，并且让切削刃在下一转进入材料之前有较长的时间冷却。因此，当径向走刀量减小时，表面速度可以适当增加，同时将温度保持在切削点。精加工时，如果切削刃磨损很快且其接触圆弧非常小，有较高的表面速度和最小的每齿进给率，

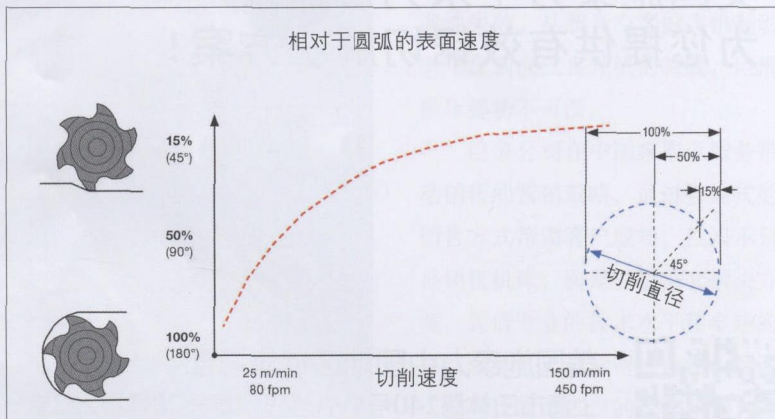


图 1 保持低的径向吃刀量

那么加工效果会很好。

增加排屑槽的数量

常用的立铣刀有四个或六个排屑槽。对于钛材质而言就太少。排屑槽的更有效数量应该是十个甚至更多（图 2）。增加排屑槽可以补偿每齿进给率低的需要。在许多应用中，刀具有十个排屑槽则间隙变窄，清除切屑时会显得很紧。然而，对于高产钛铣削来说，由于吃刀径向深度偏浅，产生的切屑小，所以能使用多排屑槽的立铣刀来提高生产率。

生成“从厚到薄”的切屑

实现这一想法要用到“顺铣”这一概念，即不要用“传统铣削”的方法，让切削刃在与刀具进给相同的方向上运动。用这种方法加工时，切屑是由薄变厚的。当材料还未开始从母体金属被切除之前，刀具碰到材料的摩擦力便已产生热量。薄切屑是无法吸收和去除这些热量的，热量只能进入刀具。这样，在出口点切屑厚，切削压力增加，会引发切屑粘附的危险。而顺铣，则形成由厚到薄的切屑，切削刃从进入多余的材料开始，从完成的表面退出（图 3）。侧铣时，刀具会尝试“爬过”材料，以厚切屑进入，最大限度地吸收热量，以薄切屑退出，防止切屑粘附。

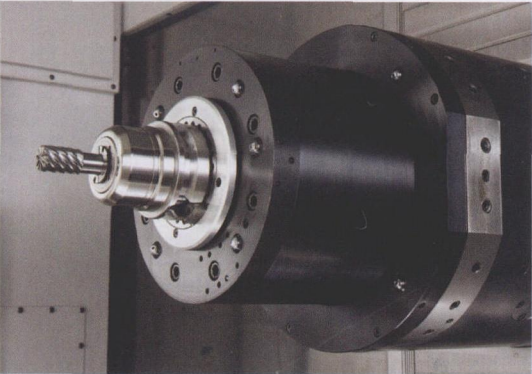


图 2 增加排屑槽的数量

图 3 生成“从厚到薄”的切屑

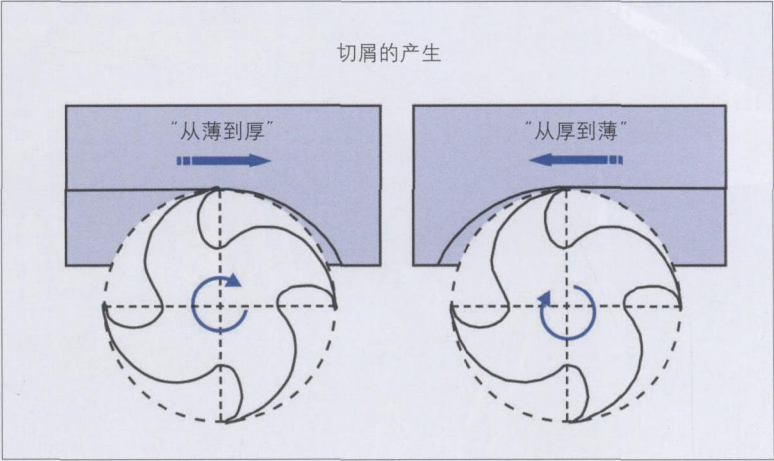
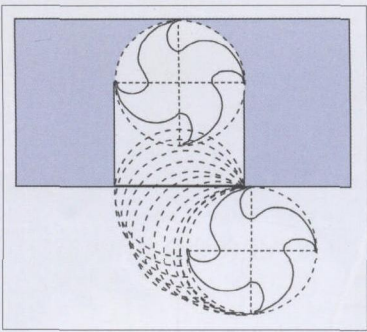


图 4 沿弧线进入



轮廓表面铣削要仔细检查刀具路径，以确保该刀具继续以这样的方式运行，从多余的材料进入并从精加工完成的表面退出。要在错综复杂的走刀期间实现这一目标，并不总是只把材料保持在右边那么简单。

弧线进入

加工钛等金属，力量剧烈改变时刀具会损坏。最坏的时刻通常发生在刀具进入材料的瞬间。直接进给进入坯料内，会产生类似用锤子击中切削刃的效果。所以应该轻柔地滑入。要做到这一点，必须创建一个刀具路径，让刀具沿弧线进入材料，而不是直线（图 4）。在“从厚到薄”的铣削中，刀具路径进入的弧线的方向与刀具旋转的方向相同。弧线进入路径允许切削力逐渐增加，以防止卡住或刀具不稳定。发热和切屑的产生也逐渐增加，直到刀具进入全切削状态。

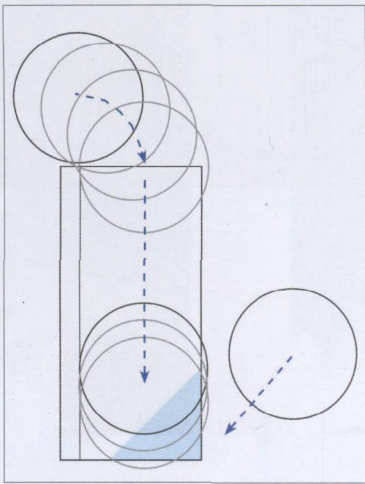


图 5 结束于倒角

结束于倒角

力量急剧变化也会发生在刀具出口。这一方法与“从厚到薄”的切削一样有作用，但问题是，当刀具到达走刀终端并开始清除金属时，“从厚到薄”的形成会突然停止。这种突然的变化也会产生同样的力的急剧变化，冲击刀具，还可能会擦伤工件表面。为了防止这样的突然转变，必须采取预防措施，先在走刀的终端铣出 45° 倒角，使刀具的径向切削深度逐渐衰减（图 5）。

依靠次级释放

锋利的切削刃能最大限度地减少对钛的切削力，但切削刃也需要强大到足以抵抗切削压力。次级释放型刀具，其切削刃的第一正面区域负责抵抗外力，第二区域脱开以

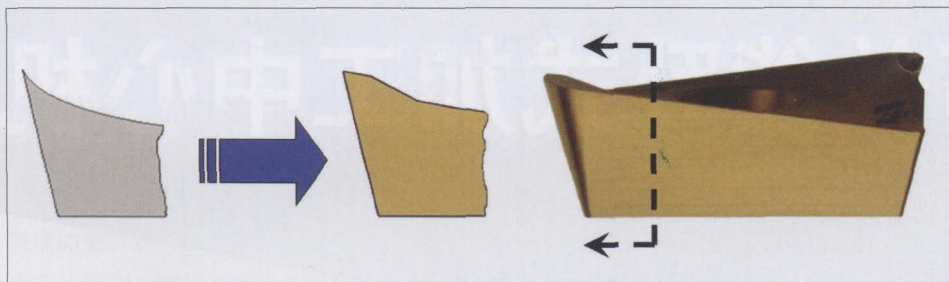


图6 依靠次级释放

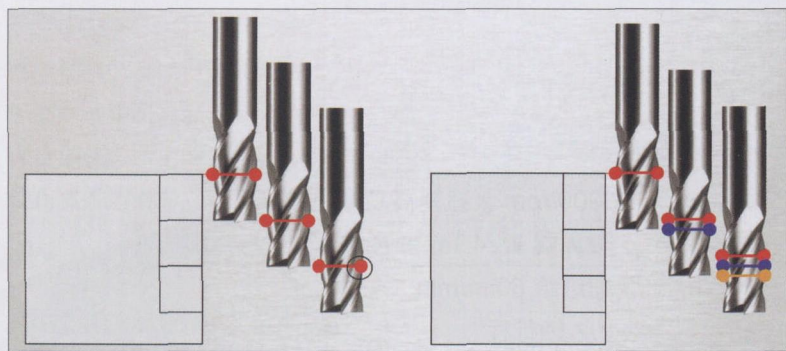


图7 改变轴向深度

加快清除，完成这两个目标（图6）。次级释放在工艺装备中很常见，尤其在加工钛时，用具有不同的二次释放功能的刀具做实验，会发现在切削性能或工具寿命方面有令人惊讶的变化。

改变轴向深度

在切削深处，氧化等化学反应也可能会影响刀具。如果在同一深度重复使用刀具，那么在此处可能会发生早期损坏。当连续进行轴向切削时，刀具损坏区会引起工件硬化，工件上还会出现线条，这在航空航天部件上是不可接受的，出现这种表面效应就必须及早更换刀具。为了防止这种情况，必须维护刀具，

每次走刀必须改变切削的轴向深度，沿着排屑槽按不同点分布问题区域（图7）。在车削时，第一遍走刀用锥形车削，随后用平行车削，防止在切削深处出现凹痕，那么类似的结果也可以实现。

在细薄型的细节周围限制轴向深度

当铣削钛材的薄壁和无支撑的细节时，比例为8:1是非常有用的。为了避免凹腔壁变形，铣这类壁要连续轴向逐步进行，立铣刀不能一次走刀就铣到壁的最深处。具体地说，每向下一步，轴向切削深度不应大于这些铣削走刀完成后留下的壁厚8倍。例如，如果壁厚是0.1 in

(1 in=25.4 mm，下同)，与其相邻的一次铣削走刀的轴向切削深度应不大于0.8 in。

尽管深度受限，但只要能执行这一规则，高产铣削便能办到。要做到这一点，加工薄壁时，要使粗毛坯的包络保持包着该壁，使这细节比最终的细节厚3倍或4倍。例如，如果该壁被保持在0.3 in厚，那么8:1规则允许的轴向深度为2.4 in。在这些走刀完成之后，再采取较浅的轴向深度把厚壁加工到其最终尺寸。

选择比凹腔小的刀具

因为加工钛材时吸收热量的程度有限，刀具需要有散热的间隙。铣削小凹腔时，刀具的直径应不超过凹腔直径的70%（图8）。若间隙小于这一数值，会有把刀具与冷却液隔绝的风险，也会卡住至少能把一部分热量带走的切屑。70%的规则也可适用于铣削表面顶部的情况。此时，被加工细节的宽度应为刀具直径的70%。该刀具偏差10%，以利于生成“从厚到薄”的切屑。

从加工工具钢得到启发

高进给率铣削，本来是模具行业为加工工具钢而开发的刀具概念，近年来已引进到钛材加工。一台高进给率的铣床需要很浅的轴向切削深度，但当在此深度上运行时，该刀具可以采用比传统铣刀更高的进给率。

原因是切屑变薄了。高进给铣削的关键在于刀片，其切削刃有一个大半径的曲线（图9）。这个半径把切屑的形成扩大到切削刃的整个大接触面上。由此带来了薄屑的效果，0.040 in的轴向切削深度会产生厚约0.008 in的切屑。这种“薄屑”解决了通常加工钛金属要求较低的每齿进给率问题，可以采用编程进给率。**MM**

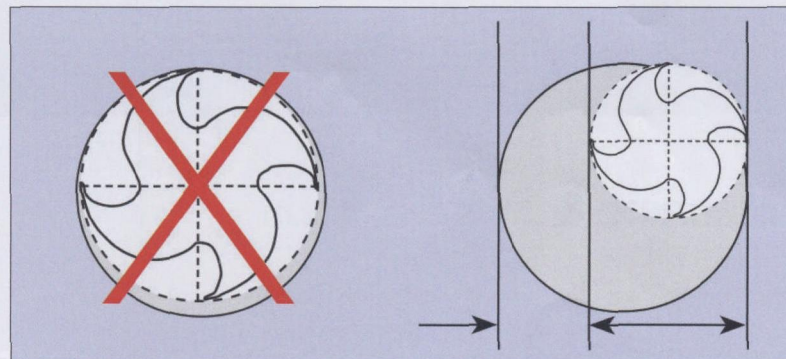


图8 选择比凹腔小得多的刀具