

刀具

实用的钛铣方法

当以正确的方法配上合适的切削刀具、夹具、刀轨和加工参数，一个车间的钛铣能力会比它所显现出来的要更高一些。

文 | Mark Albert

钛铣设备的机床通常都采用重型刚性结构以及可以承受低转速高扭矩的锭子设计，大锭子锥度和高压冷却剂也很常见，多轴线切割设备还可能配备高强度耳轴和转台。

然而，一个配备完整 40 锥度立式加工中心的车间也不会让此类制造资源失去进行有效顺利钛铣加工的机会。工程副总裁 Mike MacArthur 和切削刀具制造商钛金属专家 RobbJack 一直在推行这一观点。重要的是，尽管关于切削刀具的考量仅仅是因为，让这个端铣刀能够有效切削这块工件系统，为此钛铣方法就自然而然地成为了重点，他的观点并不是单纯的切削刀具中心论。

“不论一个车间采用何种工具进行钛铣加工，钛铣加工的原则是一样的。近几年来有所改变的是以这一原则为基础的控制变量选项。” MacArthur 说，“这些选项带来了在许多现有加工中心进行金属铣削加工的可用方法。” 他补充说。具备高度同心刚度握持力的超精确夹具对钛金属加工提出了另一个要求。配备高压冷却剂输送系统的机床较为先进。当然，设计用于多种钛金属加工操作的端铣刀现在已经有了非常多的选项，也有很多切削刀具生产商在生产。

任何关于钛铣加工的背景都一定会涉及热量问题。“要在任何机床上实现钛铣策略的制定，这都是优先考虑的对



图 1 要加工这块仅有雪茄盒大小的钛金属工件对于现在的加工中心来说并不是难事

象，在通用机床上尤其如此。” MacArthur 说。过热会很快造成端铣刀刀刃的损坏，并进一步破坏剩余切削策略中的“支撑结构”。由于利落的剪切作用可实现工件表面完整、吸收热量的同时刀刃完成流畅旋转的片状切削，钛金属需要采用高强度且锋利的刀刃。“切削工具制造商有权进行以此为目标的设计，但是否采用保护刀刃的措施则取决于车间。” MacArthur 说。

超酷的刀位轨迹

也许钛金属加工中最重要的刀具保护措施就是采用可以避免过热的刀位轨迹和较小的刀刃。涉及铣削槽和

宽槽时，可以利用实现刀具与工件接触条件恒定的刀位轨迹算法达成这一目标。今天，大多数计算机辅助制造软件的开发商都会提供此类算法，只是名称不尽相同。槽中，此类刀位轨迹通常都会采用一个规则的圆锥形套路，刀具会按统一曲线由槽的一边向另一边移动，MacArthur 声称这种统一的弓形移动路线很明显。

进行不规则形状铣削槽的切割时，刀位轨迹算法会创建一个可能较难识别的套路，因为这个套路乍一看并没有反映出铣削槽的侧壁形状。事实上，这个刀位轨迹设计利用逐渐加速的循环弓形材料移动轨迹达到避免刀具走入角落或

突然变向。尽管不同计算机辅助制造开发商提供的产品在主要细节或处理速度上有所不同，但都提供了一个类似的钛金属加工收益——以小尺寸刀具按小行距进行高转速切削的能力。

这一方法可以利用轻型刀刃实现较高的金属切削速度。轻型刀刃则能够保证单个出屑槽与工件的接触时间更短，吸收的热量也就更少。

为了给这个概念更多的代表性数字，他描述了以下几个样本试验零件。采用一个六槽 1/2 in 直径的刀具进行了一块 6Al4V 钛金属块的加工。切削速度为 75 in/min 及 400 ft/min (1 in = 25.4 mm, 1 ft = 304.8 mm)。径向切削深度为 0.05 in (刀具直径的 10%)，轴向深度为 1 in (刀具直径的两倍)。在这个范例中，在略少于 15 min 的时间内共切下了约 22 m³ 的金属料。为了显现这一案例中显现出的金属切削潜力，MacArthur 补充道：“在严格采用此方法进行的粗加工操作中，1 个 1/2 in 直径的刀具 15 min 内可以在 6Al4V 的钛金属上完成 65 m³ 的切削作业。”

最重要的是，这一加工参数的强度和扭矩要求不需要大型“钛金属设备”的性能，过去五六年内生产的大多数垂直加工设备都可以实现。“由于建造商采用了有限元分析和其他先进的设计工具，最新一代的 40 锥度加工中心模型的强度和性能都高于旧型号。” MacArthur 解释

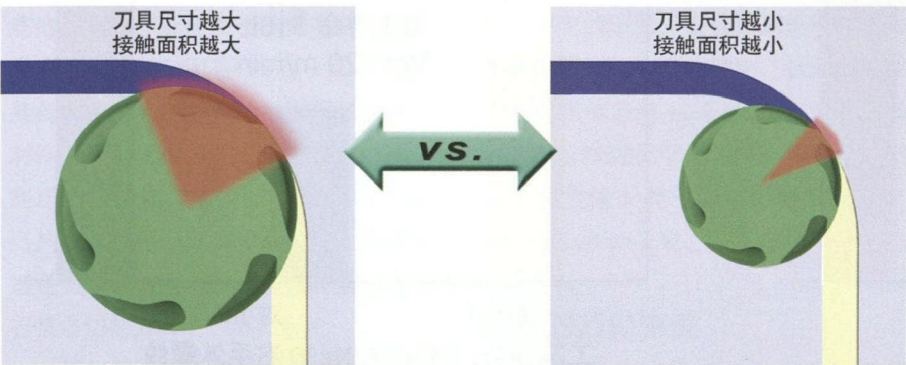


图2 使用较小的刀具可以减小刀具与工件表面的接触面积，这样工具吸收的热量少一些，这一方法需要有刀位轨迹程序设计以及正确的切削速度和力度，以保证小尺寸刀具也可以进行有效的材料切削

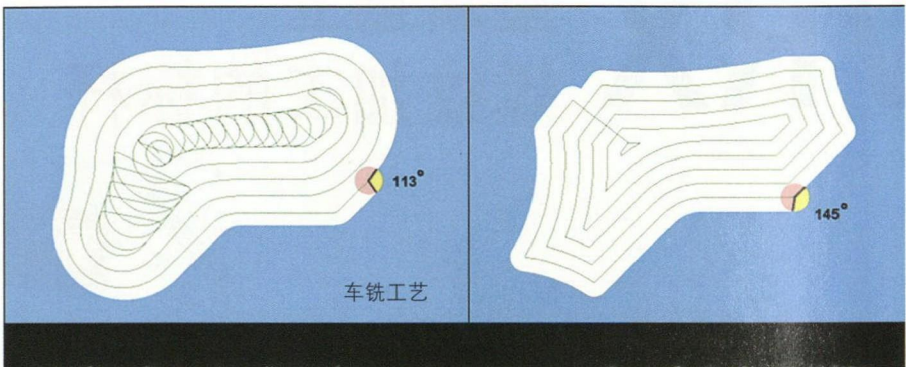


图3 控制切刀与工件之间接触角度的程序设计技术可以保证稳定的切削条件。尽管最终确定的刀位轨迹（左）比传统轨迹包含的切削动作更多，这一轨迹却支持程序员采用适宜于钛金属加工的小行距和高轴速

道。所以，一台保养妥当、型号较新的机床就可以进行钛金属加工了。

出屑槽截面

当然，高强度的锋利刀刃并不是切削刀具制造商们赋予钛金属端铣刀的唯一一个设计特性。常见设计原则中包括用于打乱谐波的不平整出屑槽，有利于切屑流动的螺旋出屑槽夹角以及可减少摩擦热量的平顺、光滑、耐磨涂层。刀刃上的向心开口同样是个典型设计，因为这一设计可以在刀刃放置在地面上打磨锋利时支撑和强化刀刃。“这并不是说所有钛金属端铣刀的制造方法都是一样的。” MacArthur 提醒。不论哪个供货商，适合用作钛金属加工的端铣刀应有至少四个（或更少）出屑槽，至多 10 个（或更多）出屑槽。

由于 1/2 in 或更小直径的端铣刀最适用于 40 锥度机床的功率和强度，四槽端铣刀在较重型的切削和有较多拐角的铣削槽切削中是不错的选择。15 in/min 切削速度、125 ~ 200 ft/min 是比较平均的四槽端铣刀设定值，此时 X 和 Y 轴上的行距以刀具直径的 25% 为宜。

但是，如果条件允许，由于实际转速和切削速度通常会达到 400 ft/min，用直径基本相同的六槽或八槽端铣刀进行开口矩形槽的切削也是不错的选择。相应的 45 ~ 75 in/min 的切削速度也说明了这一可能性。六槽及八槽端铣刀在解除条件恒定的刀位轨迹上性能尤佳，此时 X 和 Y 轴上的行距应在工具直径的 2% ~ 10% 之间，切削表面平滑的高速精加工切削也是这种工具的理想操作对象之一。

夹具

高精度高品质夹具是钛铣的必备装置。夹具的品质会对加工操作产生多重影响。机械刀具主轴的固定夹能够增强整个切削刀具组件的硬度。夹具的精度可以最大限度减小滑动，也可以在进行切削操作时创造稳定的条件。平衡性能好的夹具能够减小机床主轴及切削刀具上的应力，同时减少振动源。由于钛铣操作产生的切削力比铣削其他较软、较松散的切削材料更大，夹具的夹持力至关重要。

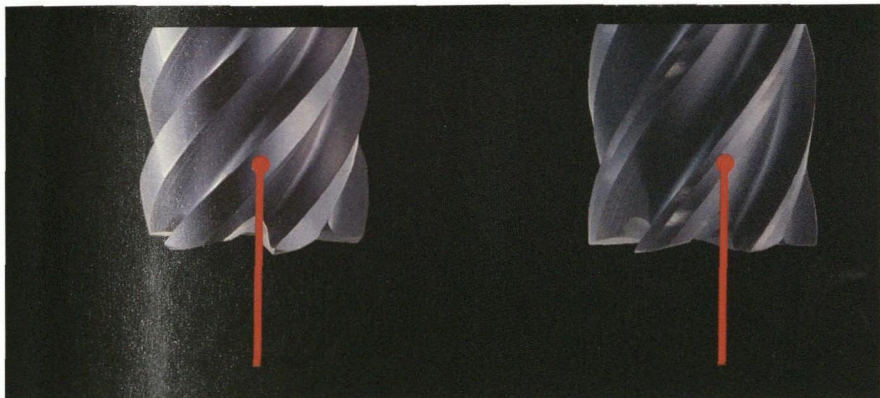


图4 红点标识的位置是在端铣刀刀刃上开口的对比形式。相对于右边的刀具，左边的离心刀刃在钛金属加工中可以实现更好的支撑作用和刀具保护

“这种情况中的一个因素经常被忽视或误解。”MacArthur 警告说，“那就是刀柄的圆度。”圆度高的刀柄会补充并增强高精度、高品质夹具带来的益处。这个圆度直接影响其与夹具夹面的接触程度。刀柄的圆度与夹具的品质密切相关，但大多数关于夹具要求的讨论都忽略了使用高圆度刀具的重要性。

刀柄的圆度对于小尺寸切削刀具尤为重要，因为切削刀具与夹具之间的接触面积会成比例缩小，接触面积的任何变化都会对夹持力造成巨大影响。

压力已启动

金属加工冷却剂有三个功能：冷却、润滑和切屑控制，这三个功能对于钛铣加工都有巨大意义。今天的大多数加工中心都带有有益于钛金属铣削的冷却剂输送选项。支持高压主轴输送更佳，因为这种输送方式对于排屑功能的提升最大，建议配置额外冷却液孔口及“喷头”。

为了防止偏转，钛金属端铣刀通常都配有厚重的芯材，所以出屑槽之间的凹槽槽道并不十分宽敞。然而，这些槽道足够容纳轻型切削产生的碎屑通过和排出。即便是出屑空间受限的六槽和八槽刀具也是如此。简而言之，大量供应高压冷却剂可以有效减少碎屑卡在出屑槽中的几率。



图5 图中三个较小的端铣刀分别有四个、五个和六个出屑槽。进行刀具与工件接触面积较大的操作编程时，应选用较少出屑槽的铣刀。若允许采用较小的接触面积时，可采用较多出屑槽的铣刀

一个激发思考的方法

本文推荐了一个钛铣加工的使用方法，这个方法让车间人员重新考虑新型立式加工中心等现有加工资源的可用性。这一方法非常实用，因为其在切削刀具、夹具、电脑辅助制造软件等方面的适宜方案都有明显的可用性。但是，这一方法也可以被称作一个激发思考的方法，因为它倡导操作者去了解钛金属、了解它的特性并以明智的方式应用这些基本原则，任何控制钛金属加工的认真尝试都必须严格遵循这一倡导。MM

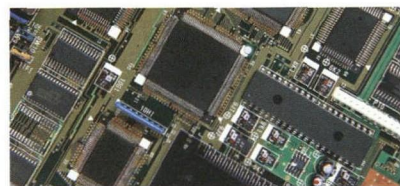
哈默纳科
HarmonicDrive

关注改善用户体验
周到细致的全面支持



便捷之作
执行元件系列

广泛应用于



PDF印刷 木工机械 激光 数控机床
等其他多种高精度需求



哈默纳科(上海)商贸有限公司

Harmonic Drive Systems(Shanghai)Co.,Ltd

上海市长宁区天山路641号上海慧谷白猫科技园1号楼206室
邮编: 200336 电话: 021-62375656 传真: 021-32507268
<http://www.harmonicdrive.net.cn/>

华南地区客户请垂询我司深圳办事处

广东省深圳市宝安区宏发领域大厦4栋17层27、29室
邮编: 518000 电话: 0755-27592446 传真: 0755-29305900