通过设计高效精加工用刀具轨迹的生产实验室测试，至少提供了两种实用的应用，将桶形、椭圆形、锥形、透镜形圆弧切刀的性能与球端铣刀的性能相比较

刀具轨迹

模具表面处理优化的策略

先进的刀具几何形状结合 CAM 刀具轨迹，可以减少表面处理周期，改善工件表面质量。

更多精彩请扫描二维码

文 | Jesse Trinque

在近十年来，结合恒切削荷载 CNC（计算机数控）切削策略，高级硬质合金刀具大大提高了模芯和模腔粗加工的材料切削率。此类刀具和策略的结合也使外形尺寸更精准，更有利于后续的精加工操作。虽然这些粗加工方法取得了不错的效果，但很少用于精加工，这也解释了为什么大多数模芯和模腔需要大量的加工时间。减少将模芯和模腔加工至要求的形状所花费的时间，将大大降低模具的整体 CNC 生产成本。

一段时间以来，整体硬质合金刀具制造商和 CAM 供应商通过合作大大减少了粗加工所用的时间。现在，合作扩展到提高精加工的精度，CAM 刀具轨迹自动化促进了刀具几何形状的革新，反之亦然。比如说新型圆弧切刀的问世，在设计上与自动化 CAM 刀具轨迹联合用于精加工。在很多情况下，与更传统的球端铣刀相比，这一组合可以大大减少精加工的时间。

转变刀具几何形状

数年来，球端铣刀是精加工的首选刀具。其便于编程，可以成功进入零件的紧密区域。然而，对于需要大量表面处理的零件来说，目标是实现更高的表面质量，同时减少加工时间，这时的球端铣刀反而成为了麻烦。

这是因为球端铣刀需要采用非常小的行距，以便减小在材料内留下的尖点。为了补偿这一阶梯效应并达到要求，须采用较小的行距或步距，一

般为刀具直径的 3% ~ 5%。尽管这会提高表面处理的质量，但也会限制刀具可用的表面面积，需要多次操作才能达到要求。轨迹数目的增加解释了为什么精加工比模芯和模腔粗加工需要的时间更长。

圆弧切刀的设计原理是，保证小直径刀具具备较大的有效切削直径。这种设计减少了所需的加工轨迹数量以及尖点在材料中的深度，在较短的周期时间内实现较好的表面加工质量。较大的刀具切削半径（是切削刀具实际直径的 187 倍）扩大了刀具与材料的接触面积，减少了加工零件所需的步距数量。比如球端铣刀加工一组表面需要操作 30 次，而圆弧切刀只需操作 6 次，并且效果更好。

软件构件

圆弧切刀形状包括桶形、椭圆形、锥形和透镜形。每一种工具适用于不同的表面几何形状，可能是直的，也可能有微度波动或 7° 的拔模斜度。刀具可能结合三轴 CNC 机床一起使用，但在确定刀具平面时应注意，保证刀具以适当的方式与零件接触，并保证达到精确的精加工效果。

多轴设备可以实现更好的加工效果，尤其是使用可以连续五轴加工的机床。若使用“3+2”转位的机床，圆弧切刀作业的能力会大大提高。若采用可以连续五轴加工的机床，可采用应用清单来进一步扩展。具备先进特征（如高速前瞻）的快速、反应式控制器也非常具有优势。

为了充分利用此类刀具，程序员或者工程师需要利用 CAM 软件制定详细的程序。这些程序需要以精确的角度连续展示刀具，根据待加工处理的表面坡度和任何已知点的刀具形状而定。制定这种类型的刀具轨迹需要大量代码，因此很难实现，如果不可能实现，则需要手动写下此类程序。

在高级精加工策略中，圆弧切刀和 CAM 软件需要合作协调确定刀具和刀具轨迹，尤其是在“3+2”和五轴同时加工的模式中。圆弧切刀可以结合用户熟悉的三轴和五轴精加工刀具轨迹一起使用。

对于此类刀具的数据库支持也非常重要，这样程序员只需将可下载的数据库中的刀具自定义加载到软件中。然后加工操作将采用适当的刀具补偿，进行超高效精加工操作。技能高超的多轴程序员也可以调整参数，以制定一个较好的精加工刀具轨迹，更适用于特定的表面要求。

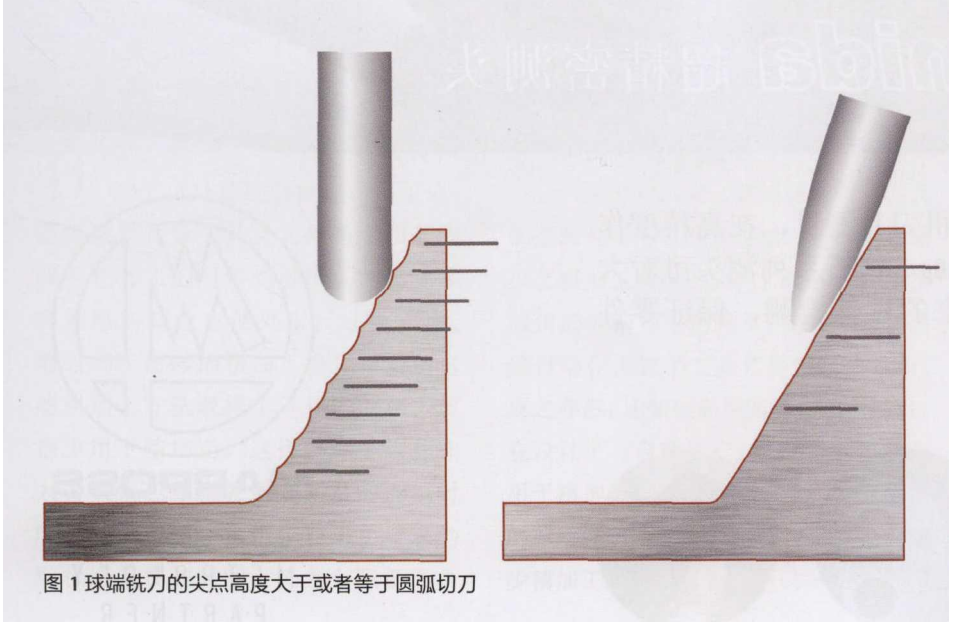

图 1 球端铣刀的尖点高度大于或者等于圆弧切刀

图 2 圆弧切刀和 CAM 精加工刀具轨迹结合是一种新技术，可以降低制造成本并且节省加工时间

机遇评估

若具备多轴设备和 CAM 软件，将更容易评估圆弧切刀的效果。在此类情况下，只需将圆弧切刀插入已经运行的程序中，调整行距和步距，使尖点高度更接近之前采用的球端铣刀轨迹产生的尖点高度（还需进行微小变更，以实现适当的刀具平面和轴控制），然后模拟程序，进料和进给速度与球端铣刀采用的相同。这一简易比较试验将展示这种替代精加工策略的好处。

然而，尽管这种策略的效果较好，但现在还不能丢弃球端铣刀工艺，有很多表面加工还需要球端铣刀。此时需要对圆弧切刀和自动化 CAM 精加工刀具轨迹进行评估。精加工时间减少，将减少模具制造商的模芯和模腔加工时间，这种技术也许值得考虑。另外，加工处理效果的提高将降低手动抛光要求，这将减少相应的成本。MM