

CAD/CAM

恒定切屑负载加工 实现更好刀具路径



更多精彩请扫描二维码

凭借其内部的研发计划，ADEX 寻求成为先进制造企业的创新之路。寻找并使用更好的方式来实现高效和经济的金属去除路径。

文 | Mark Albert

“我们称之为恒定切屑负载加工的是指 ADEX 加工有限公司在集中机床厂内部研发计划之后，完全接受的一种数控机床编程技术。” Charles Anthony 说道。Anthony 是 ADEX 机床厂的工程运营总监，多年来一直在推广“加工车间研发”概念，因为他相信在新技术方面会使 ADEX 表现更优异。

Anthony 选择恒定切屑负载加工作为研发的一个主要例子，在恒定切屑负载加工的情况下，ADEX 必须深入挖掘其优选切削刀具的性能特征，并且熟悉多轴数控机床加工中心和生产场所立式车床的运动学。

Anthony 称之为恒定切屑负载加工的是数控机床软件，Mastercam CAD/CAM 软件中生成刀具路径动态运动选项是其中之一。因为 ADEX 已经花费时间和付出精力，在编程钛和其他超级合金中等复杂零件时，全面掌握了应用此选项达到的最佳效果，涉及机床厂几乎所有机床的各种工件类型，显著提高了生产率并延长了刀具使用寿命。

Anthony 说：“利用这种方法来生成刀具路径，可以帮助我们更好地了解

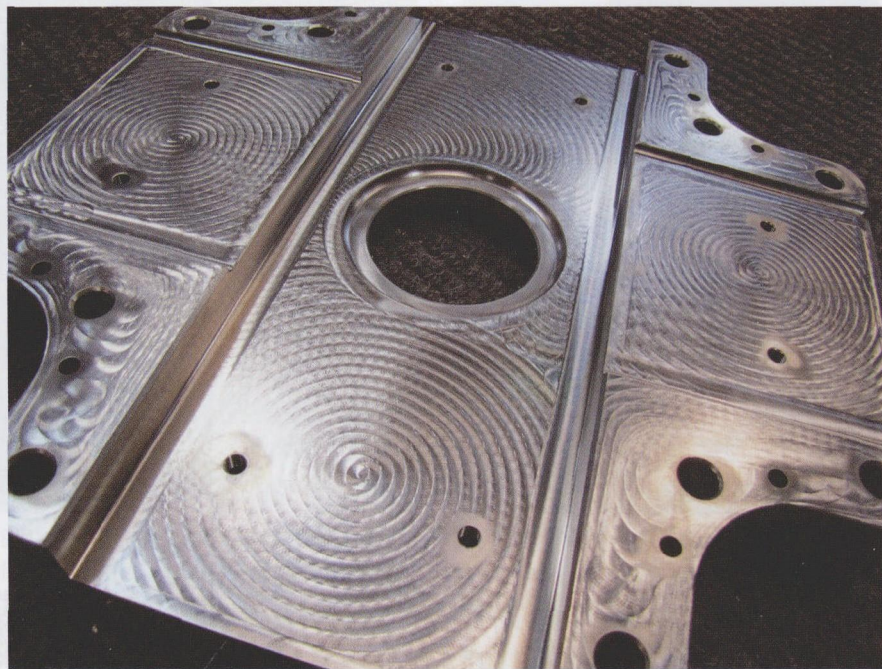


图1 只有在航空航天这种金属钛零件表面上加工，才可以揭示由铣削刀具编程路径产生的指示性刀具标记。这种明显的图案反映了切割刀具上保持恒定切屑负载，并遵守由 CAM 软件应用其他规则的运动

所使用的刀具以及机床性能。这对于确定动态运动选项作为输入的精确切屑负载数值来说是至关重要的。”为了清楚起见，除了维持恒定切屑负载以外，动态运动还对刀具路径生成应用了许多其

他规则。“掌握恒定切屑负载加工的理念，关键需要在 ADEX 上充分发挥其潜能。” Anthony 解释说，“我们经常看到刀具寿命延长两倍以上，有时候甚至达五倍。刀具路径将保护刀具和零件免受其



图2 这个零件通过使用动态运动选项为某些粗加工和精加工操作准备的刀具路径，提供了一个很好的示例

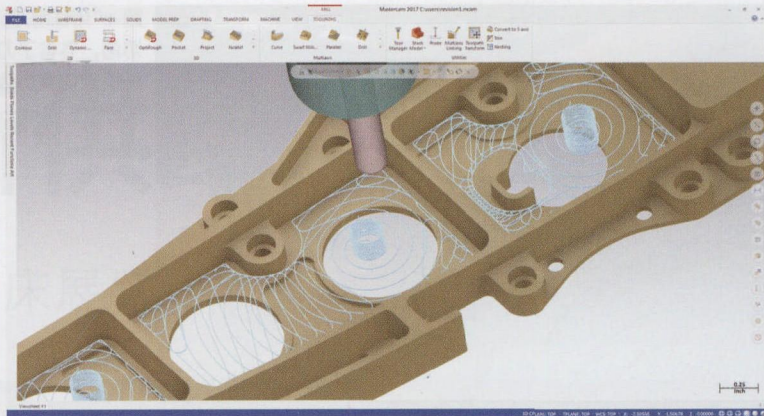


图3 在 Mastercam CAD/CAM 软件中，动态运动编程选项使得用户能够为控制异常刀具路径算法的加工参数输入特定值

他常规类型刀具路径的损坏。更大的益处就是循环时间显著减少。通常可获得 20% ~ 40% 以上的金属去除率，特别是在粗加工期间，因为刀具路径非常有效地利用了切削刀具的潜力。”此外，良好的刀具路径帮助 ADEX 成功地加工复杂工件，使其在难以加工的材料中达到严格的公差要求。

研发背景

ADEX 的创业时间可以追溯到 2007 年，当时是一家专门从事五轴加工的机床厂。当 Anthony 于 2012 年加入该公司后，他带来了近 25 年的数控机床加工经验，以及工艺工程和运营管理的背景。他熟悉 ADEX 中的其他制造技术，包括垂直车削、电火花加工、CAD/CAM 以及计算机坐标测量机。

这种实践经验和理论知识的结合，帮助 Anthony 为 ADEX 提供更卓越的技术。在其领导下，公司的使命仍保持不变，即将先进的制造技术应用于复杂的航空航天、国防和能源部件的全天候（7×24 h）生产，包括高温合金，比如铬镍铁合金、钛及其他高镍或钴基材料。“因为我们以航空航天工作所期望的标准和纪律来处理每项作业，所以我们非常乐意被称作航空航天公司，虽然我们收入的 35% 来自这个行业以外。但是我们最大的客户却在做飞机。”

在将 ADEX 引入 Mastercam 中的动态移动选项时，他使用该软件功能对飞机舱壁粗加工操作进行了编程，从而将加工周期从 30 h 降低到了 13 h。这份报告显然引起了 Anthony 及其程序员小组的注意。特别令人鼓舞的是，当加工作用力从侵蚀性金属去除过程中产生应力或热量时，这种舱壁的薄地板和薄壁并没有出现可能发生的任何翘曲。

虽然 ADEX 长期以来是 Mastercam 的用户，但动态运动选项已被忽视。此后不久，关于测试工件的一些演示产生了不同印象。动态运动刀具路径看起来并不像机床厂以前所使用的任何刀具路径。在看起来效率低下而且几乎不稳定的移动中，切削刀具在与工件接触和不接触的情况下都可进行旋转。

恒定切屑负载是关键

“早期，我们了解到动态运动专门用来创建刀具路径，从而确保切削刀具上的恒定切屑负载数值。然而，保持恒定的切屑负载是一个倾向高速进给率和小步进的数值，但会最大化金属去除。这个想法是在最适合特定切削刀具和机床条件下进行快速切削。”Anthony 解释说，“动态运动在生成刀具路径时具有更多的功能，但恒定切屑负载则是其算法的基本原理。”

当研发项目开始时，基于从每台机

床上进行测试切削收集的结果表格，使用不同的材料和不同样式的切割刀具，Anthony 开始开发自己的计算器来生成这些数值。

当以一定速度旋转圆形槽纹切割刀具接触工件时，在切除材料的情况下，槽纹锋利边缘形成切屑。这些切屑的尺寸取决于切割刀具与工件接触的程度。所形成的最厚切屑为步进的 50%。当步进小于 50% 时，所形成的切屑将比在 50% 步进时的厚度要薄一些。当接触程度越来越小时，所得到的切屑在比例上则越来越薄，这种效应被称为径向切屑减薄。

当然，制作厚切屑所去除的材料比以相同速率来制作薄切屑要更多一些。然而，制作厚切屑要比制作薄切屑更不理想的原因有很多。例如，切削刀具可能不具有在全半径处切削的强度、锐度和其他特性。在这种情况下，将必须制作较薄的切屑。

另一个重要的事实就是金属切削 / 切屑加工过程总是产生热量。这些热量的大部分局限于切屑自身，但是工件和切削刀具可能会吸收其中的一部分。较厚的切屑可能比较薄的切屑带走更多的热量，因为较厚的切屑具有更多的体积，以保持热量。在生产较薄切屑时，通过增加切割刀具旋转速度或在切割方向上切割刀具向前运动（进给率），可以防止



图4“用铣削刀具全长来进行切削，节省了刀具使用。这是恒定切屑负载加工的另一好处。”Anthony指出

热量传递给工件或切割刀具上，防止它们达到损坏的温度。

当然，主轴转速和进给速度受到机床能力的限制，更快的主轴和更强大的轴驱动器可以更快地生产薄切屑，从而补偿较低金属去除能力和较低切屑散热能力。

然后，要考虑工件材料的硬度和其他性能，必须相应调整主轴转速、进给速率、切削深度（步进）以及所有其他加工参数。找到计算最佳机床设置的正确数字，则成为 ADEX 恒定切屑负载研究项目的目标。

计算成功

最后，Anthony 和他的团队开发了一个计算器，程序员可以使用动态运动选项来计算切屑负载最佳值以及输入所需要的其他变量。他认为这个计算器是专门针对 ADEX 进行开发的。“我们刚刚把这项作业提高到了一个更高水平，这样我们的计算器在应用恒定切屑负载加工方面有了一个很好的开始。”Anthony 说，“我们可以使用计算器来检查不同的输入值，来查看哪个组合是最有效的切屑负载值。”

这不只是关于恒定切屑负载的问题。该软件计算了金属去除过程期间材料条件的变化，以便根据剩余材料和微升机进给率来调整步进，以避免拖动。对于保持安全而有效的刀具路径来说，这种

库存意识是至关重要的。

ADEX 发现该软件使得机床厂使用更小、更便宜的硬质合金刀具，从而更经济地去除金属。有时，当不再试图最大化金属去除率时，零件加工收益更多。

恒定切屑负载加工产生切屑，在尺寸和形状上看起来保持一致，通常为长而轻的刨花，看起来像紧包的箔。由于实心坯料的粗加工零件可能会产生大量的切屑，因此切屑的一致性形状有助于排空，并防止切屑输送机出现堵塞。

刀具路径模拟是必不可少的。Anthony 将 Mastercam 的仿真功能优先于第三方仿真软件。机上探测是利用恒定切屑负载加工的另一项要求，因为它可以使粗加工操作直接进行精加工操作而不会发生中断。在对零件进行粗加工后，可以探测工件，并且自动调整刀具补偿以便进行精加工操作。但是，这种方法既不简单也不快速。事实上，CAM 驱动过程测量成为 ADEX 的另一个主要的研发项目。

过程测量

几年前，当 ADEX 对其制造工艺进行全面的研究分析时，就关注到了测量。由于在 M01（可选停止）条件下暂停机床，机床厂会损失 15% ~ 50% 的可用生产时间，这些可选停止成本非常昂贵。因为机械师通常倾向于一次性多台机床，所以在 M01 模式下是无法及时处理机床的。

同样，解决停止后问题可能意味着漫长的延迟。检查工件尺寸或切削刀具状况，可能涉及到需要对决定是否重新切削进行谨慎判断，或者将零件移动到 CMM 进行检查，然后将其装回到机床上。

“当采用 0.0001 in（1in = 25.4 mm）公差进行处理时，这种方法可能是一个大问题。”Anthony 指出，“这些手动干预除了非常耗时以外，还打开了人为错误的大门，从而可能无意中引入了各种问题。”

首先设想的解决方案是 ADEX 在五轴机床上使用主轴探针，以便加工过程中在指定点处测量零件，从而验证尺寸是否偏离规格要求，并且调整刀具偏移，以便在没有中断制造过程的情况下进行补偿。然而，最初发现这种方法不切实际。它要求数控机床程序员精通计量或者与测量系统程序员合作开发测量程序。

在 2014 年，当数控机床软件为 Mastercam 推出 Productivity Plus 附加软件，ADEX 马上开始进行了测试。该插件使得 CAM 程序人员能够在 Mastercam 编程会话中创建和调用 Renishaw 探测宏。起初，插件有点难以应用于 ADEX 的复杂加工中心。然而，编程软件和插件的随后发布则解决了这些障碍。ADEX 很快就建立了一个目标，即在所有进行复杂加工操作的 Mazak 五轴加工中心以及三轴铣床和大型 VTL 上进行实施。

在这一点上，ADEX 开始了为期一年的研发项目，将该项技术应用于航空航天、国防和能源方面。“我们设想过程测量潜在的巨大好处，并且将其作为优先事项。我们还邀请了 Mastercam 经销商 Barefoot 数控机床作为本项目的合作伙伴。”Anthony 说。

Anthony 称：“2015 年 10 月，具有过程测量的五轴加工程序证明了客户对三台五轴 Mazak 机床表现出压倒性的满意。在特殊情况下，75% 的过程停机时间已经通过自动过程测量被消除了。”估计生产率将提高 25% ~ 40%，这是因为在机床厂所有机床上都实施了过程测量。[MM]