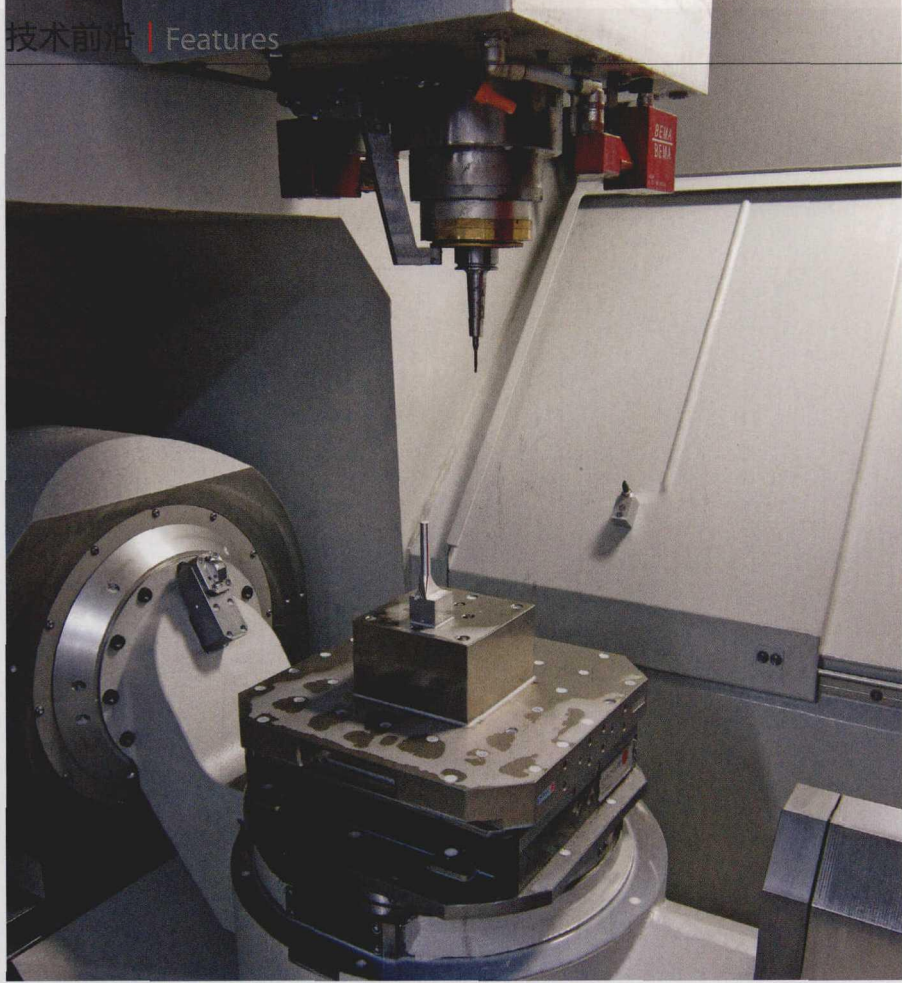




Phoenix Proto 使用耳轴式五轴机床有效铣削铝制注塑模具。尽管有些客户在等待钢模具时用它们作为原型或临时“过渡”工具，其他客户则将它们用于生产



更多精彩请扫描二维码

产模具完成的过程中先开始新产品零件的注塑成型工作)。”然而，Lammon 对于使用铝制模具代替传统钢模具进行生产的兴趣越来越大。

“根据注塑模制零件的不同几何形状和树脂，无涂层的铝制模具模数有可能达到 50 000 模。” Lammon 介绍，“有些情况下可能足以满足生产需求。然而，通过恰当的技术，如使用的 Nibore 硬镍涂敷工艺将铝制模具硬化，使硬度达到 54HRC 就可以将非研磨树脂的模数增加到 1 百万或更多，而经过研磨的玻璃填充树脂模数则可能达到 250 000。”

工厂生产的模具应用非常广泛，包括制造电器、汽车、医疗和枪械工业的零件。因此，模具尺寸、特征和几何形状种类繁多，而加工区域必须在短时间内满足这些需求。“简单的解决方案似乎是使用一种自动化的高速五轴加工工艺，实现最复杂模具部件的长时间无人值守生产。我近期去密歇根工厂参观时了解到这种想法已经实现了。” Lammon 说道。

增加自动化设备

Phoenix Proto 公司有三台高速机床和三台传统数控加工机床。工厂添加的第一个自动化加工中心是 2012 年购买的 Roeders RXP500 三轴机床。这台转速达到 42 000 r/min 的线性电机机床，采用了带六站共用托盘的 RCE 1 托盘更换系统，主要用于加工模胚和空心砌块等部件。

现在，几乎所有模腔和模芯的加工都使用新的五轴 Roeders RXP601DSH 完成，它配备了更大的 RCE 2 托盘更换系统。

自动化

五轴加工工艺的 10 个自动化元素

Phoenix Proto 公司的新型五轴机床拥有一个带装载系统的共用托盘，但这种精密模具加工工艺还要用到很多容易被人忽视的自动化元素。

文 | Derek Korn

即便是未经过训练的眼睛，通过观察 Phoenix Proto 公司带六站共用托盘和托盘装载系统的新型五轴机床（配置相似的三轴机床也是一样的）时也能明显看出其中的自动化技术。也就是说，其他一些更精细的自动化元件组成了工厂的五轴工艺。事实上，正是这些元件保证工艺能够反复达到工厂铝制模具部件所需的公差和表面平整度，并且只需要很少的人

工干预即可调整固有变量，避免它们对加工精度和产量造成不利影响。

对产量的影响非常重要，因为这家位于 Centreville 的工厂目标就是在三周内为客户提供铝制模具，因此必须实现高品质微米加工部件的快速周转。

Phoenix Proto 公司 董 事 长 Bob Lammon 表示：“铝一直是制造原型和‘过渡’模具（临时模具，让公司在等待钢生

这台机床于 2016 年年初装机，是工厂的第一台也是唯一一台五轴机床（至少目前是）。它像高速三轴机床 Roeders 一样，也有转速为 42 000 r/min 的主轴和分辨率达 1 nm 的线性电机驱动装置。线性电机是快速运动，保证 2362 ipm 平移速率的关键。它们比滚珠丝杆摩擦力更小，因此耗电量更低。

五轴机床拥有 21.3 in × 25 in × 15.7 in (1 in=25.4 mm) 的加工空间，最大可承受重量为 440 lb 的工件，采用耳轴型设计，A 轴的旋转角度范围是 ±115°。另一个方向的旋转由耳轴上的 C 轴圆盘提供。美国 Roeders 公司的董事长 Matt Byers 表示：“在耳轴设计中，主轴不提供旋转轴，因此刚度比其他五轴机床平台更高，可以切削更深的切口。另外，工件重心较低，保证了较小的惯性力，缓解了高速运动过程中的任何倾翻或倾斜产生的影响。”

Byers 相信恰当的机床控制技术使 Phoenix Proto 采用的高速铣削类型更具优势。实现高速铣削的两个重要参数是前瞻速度和块加工速度。机床基于 PC 的 RMS6 数控加工技术可以实现每 0.1 ms 10 000 块的前瞻速度和块加工速度。

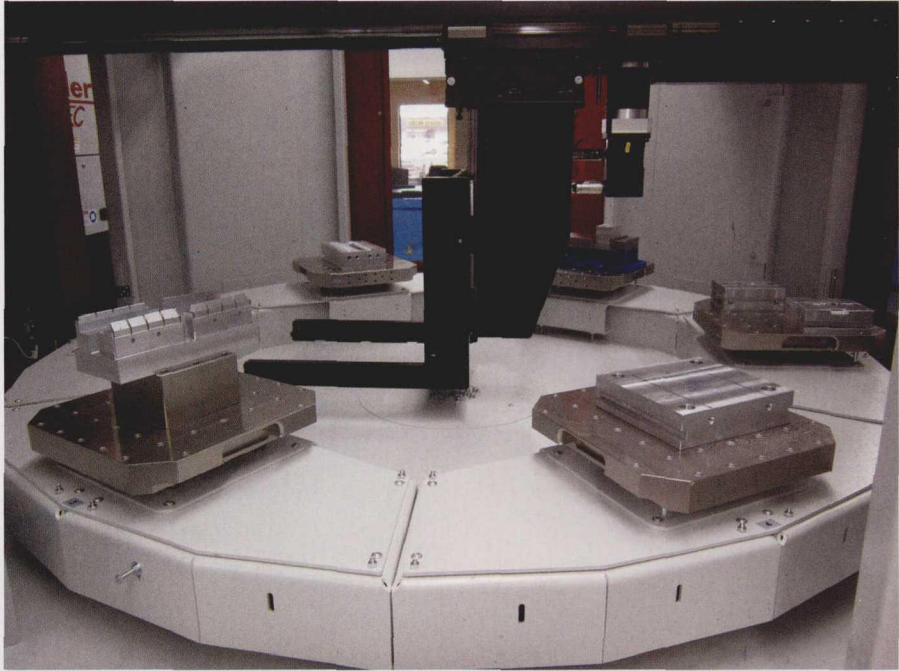


图 2 尤其是五轴机床，有很多其他的自动化元件，可以在无人值守的情况下进行加工，几乎不需要人为干预

除了使用高速加工技术缩短机床加工周期，高产量的实现还离不开工艺中采用的所有自动化元素。下面是在参观过程中发现的 10 个自动化元素：

- 1、装载系统和共用托盘
- 五轴机床的 RCE 2 自动化托盘更换

系统配备了一个六站共用托盘，而工厂有时会在一个托盘上固定超过一个零件。每个托盘的尺寸是 23.6 in × 15.7 in。

装载系统的夹具按照 Phoenix Proto 的要求进行了改造。本来托盘边缘上方不会悬挂零件。经过改造后，夹具位于托盘底部，系统可以装载更大的工件。现在，零件尺寸只会收到机床容量的限制，与装载装置无关。

工厂使用 Roeders 的作业管理软件对加工任务进行计划和管理。工厂尝试安排夜间和周末长时间进行加工作业，目前是每周运行五天，每班 12 h。另外，工厂还在努力确保拿到足够多的短期加工项目，让机床保持工作状态。

2、机床

五轴加工本身就是一种自动化形式。五轴工艺分两种类型：轮廓加工和定位（后者也称为“3+2”）。Phoenix Proto 花费 75% 的时间进行机床的“3+2”定位。为此，机床只能使用两根附加旋转轴按一定角度倾斜工件，然后将它锁定在该位置。之后，机床在工件方向上完成三轴加工。这样做的一个优势在于通过一次固定就可以让刀具接触到零件的五个面，从而减



图 1 工厂的两台 Roeders 机床（左边的为三轴，右边的为五轴）包括一个共用托盘和装载系统，可以进行长时间的无人值守加工

少了步骤数量和零件可能需要经过的机床数以及生产（即“自动化”）过程中“接触”零件的次数。

通过“3+2”定位倾斜零件还能让工具到达零件内部更深的位置，加工难度较大的模具特征，如深肋。有些时候“3+2”定位还能省去二次电火花成型加工和相关的电极加工。另外，所用的热装刀夹直径比筒夹型设计更小，提供的间隙更大。

有了“3+2”定位，工厂还能使用长度更短、刚度更高的刀具。使用更短的工具可以加工更深的切口，而且发生振动或颤动的风险比使用长刀具小。振动和颤动可能影响表面平整度，对于 Phoenix Proto，其模具部件需要更多手动钳工工作或二次 EDM 加工才能保证高质量的表面加工效果，但这些会延长生产时间。工厂可以提高球端铣刀的寿命，因为零件按照不同角度倾斜时，更多使用刀具的半径，而非尖端进行加工。使用半径而非尖端（旋转速度为零）加工其他区域可以提高表面平整度。

3、触发式探测

将新的零件放进机床时，触发式测头会自动探测，确定零件或工件夹紧装置上几个点的位置，确定零件在机床上的准确位置。然后，机床的数控加工装置自动调整自带的工件坐标系统，使

之与零件匹配。这样就省去了手动填隙、轻触零件和其他耗时的工作，否则就需要通过这些步骤将零件放平和对齐，以完美匹配机床的坐标系统。

4、自动校准循环

五轴机床基座、轨道、托架等部位有多个冷却通道，因此这些部件不会因内部发热而膨胀。然而，为了适应工厂内的环境温度波动，可以使用触发式测头执行自动校准循环。

Roeders 的校准循环与其他机床制造商工艺不同，循环通常会要求去除当前机床内装载的托盘，并换成另一个装有工具球的托盘。之后，探测工具球，确定工厂环境温度的变化导致其位置移动了多少。与其他工艺相反的是 Roeders 循环不需要移除装载工件的托盘。机床在被探测的耳轴臂铸件和 C 轴电机铸件上使用精密研磨的棱镜确定任何位置变化，必要时可以自动补偿这些位置变化。除非发现问题，否则 Phoenix Proto 每个月进行一次校准。有时在进行关键精加工工序之前也会进行校准。

5、主轴补偿

有些机床制造商将每台机床运送给客户之前给它们制定了算法，用于估算主轴在不同速度和运行时间下的膨胀程度。然而，Byers 认为，要考虑到客户平时使



图4 使用触发式探测技术加快安装速度并进行自动校准。对于后者，测头找到磨制耳轴臂铸件和 C 轴电机的外壳铸件的棱柱位置并进行调整，补偿工厂内环境温度波动导致的任何轻微移动

用机床的所有方法是不可能的。Phoenix Proto 的五轴机床是一个可选的自动化主轴补偿系统，能够实时针对主轴的膨胀（或收缩）进行调整。系统将一个非接触式传感器连接到位于主轴面附近的 L 形臂上。纳米级分辨率的传感器会检测运行过程中的主轴膨胀和收缩，并将信息反馈给数控加工装置，从而向上或向下调整 Z 轴进行补偿。这一点对于五轴加工尤其重要，因为零件倾斜时，主轴的变化可能影响刀具尖端在全部三根线性轴，而不仅是 Z 轴的位置。自动补偿功能确保了表面平整度和融合效果良好、一致。

6、机床上的激光器刀具测头

每次更换刀具后，会使用机床上的新 Blum 激光器刀具设置测头自动测量刀具长度和直径。激光器测头和接触式测头的校准工具球在换刀装置加工区域之外，因此它们不会受到碎屑和冷却剂的影响。工厂指定了每种刀具直径的公差范围，如果测头检测到刀具直径超出公差范围，则不允许使用该刀具加工零件。例如，如果 0.250 in 球端铣刀测量值超出 ± 0.0002 范围，则不能使用。这一点也适用于刀具的长度。

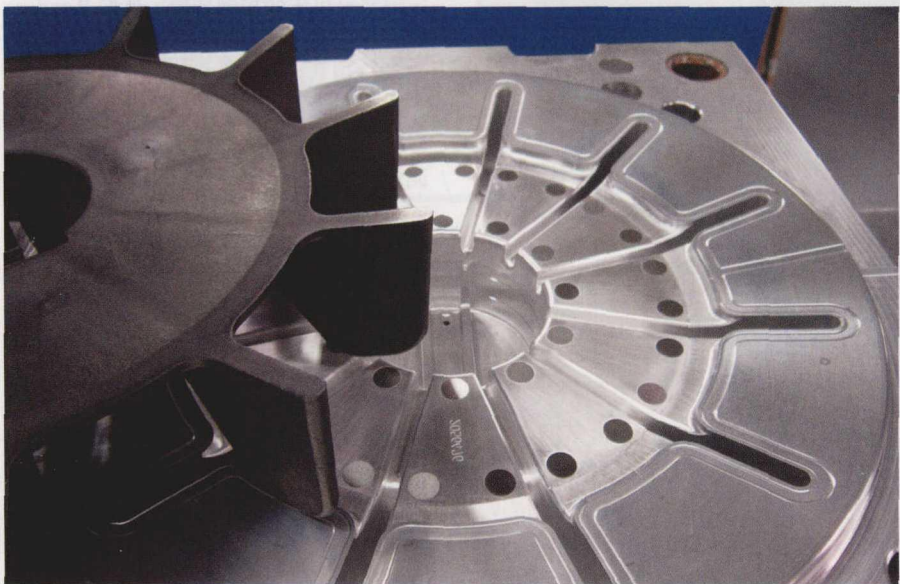


图3 倾斜零件的功能使得它能够使用长度更短、刚度更大的刀具加工深肋

在此之前，激光器会确定被更换的刀具是否破损。如果刀具破损，但按照计划还要用于加工共用托盘内已排队等待的工件，则这些工件的生产工作要继续进行。“例如，如果 ATC 的 5 号位置的刀具发生破损，机床会移走刀具已经损坏的零件，按照计划装载下一个工件并进行加工，直到使用 5 号站的刀具。” Lammon 的儿子 Scott 说道。Scott 是公司的运营总监，也是五轴机床的两个编程和安装人员之一。“之后，机床会移除这个零件，然后继续加工队列中的下一个工件，直到每个已装载的工件加工完毕。”

7、冷却剂喷嘴调整

五轴机床除了使用必须手动放置的传统灵活冷却剂喷嘴之外，还拥有一个冷却剂输送系统，可以自动调整冷却剂流的方向，使其对准切削点，无论刀具有多长。喷嘴的方向是通过 M 代码进行调整的，而 M 代码根据主轴安装的下一个刀具的已知长度确定。

8、自动倾斜编程功能

Chris Claar 是 Phoenix Proto 的工程经理，他也负责五轴机床的编程和安装。Claar 表示，在 2010 年，工厂对之前的

CAD/CAM 软件和思美创软件进行了一次比较研究。“在那之后我们改用了思美创软件，因为研究表明它比其他软件可以节省 30% 的编程时间。”Claar 说道，“我们看重的节省时间的特征是五轴自动倾斜功能。由于我们拥有机床部件和软件中进行 3D 模拟的工件、固定装置和模具，自动倾斜的功能，这可以确定刀具或刀夹切削零件的深度，然后自动倾斜零件，防止零件被破坏并保证加工继续进行。”软件还使用这些 3D 模型帮助程序员对加工操作进行在线模拟，以检测存在的隐患。

9、语法检查

除了帮助程序员在思美创软件中进行每个程序的在线模拟，它们还使用 Roeders 控制装置的语法检查功能自动校对程序和后处理器，在依照计划加工工件之前发现任何错误。

10、程序重新启动

如果需要在程序执行过程中停止机床，程序员不必手动修改后面的程序，只要找到要停止机床的代码行号然后擦除之前的所有代码就可以从停止的位置重新启动。操作人员使用 Roeders 控制装置



图 6 Phoenix Proto 已经安装了一个摄像头，通过摄像头可以查看三轴和五轴 Roeders 机床。这样工厂人员就能使用智能手机远程查看机床工作区域或数控加工屏幕，确保机床在无人值守运行时不出问题

时，只需要在命令文件中输入行号，装置就会自动通读程序并从相应位置重新启动。

自动化的平和心态

尽管各种思想都融入了 Phoenix Proto 的无人值守加工策略，但仍然会发生意外。所以，设置三轴和五轴 Roeder 机床发送带有错误消息的文本和 email 警告，还可以通过在线的“Team Viewer”软件远程登录机床的控制装置，就像 Roeders 的维修技术人员可以通过远程机床诊断来了解部件是否需要更换、驱动装置是否需要调整等。事实上，可以使用软件远程调整驱动装置。

也就是说，工厂还有另一种方案。它已经在两台 Roeders 机床之间的天花板上悬挂了一个摄像头，程序员可以通过他们的手机导出摄像头中的内容，在机床或数控加工屏幕上放大，以查看和聆听工件当前的加工情况。“我们晚上和现在一样忙，我要在手机上进行多次检查，因为机床停运会破坏我们的加工计划。一切就好像我们正站在机床旁边。” MM

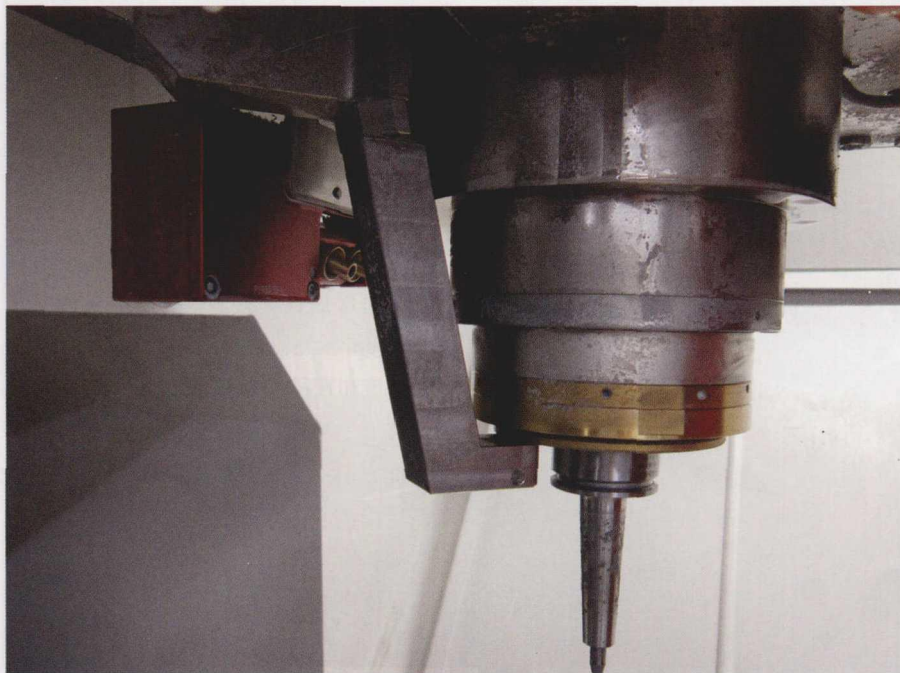


图 5 这张图展示了两种自动化形式。L 形臂将非接触式传感器放在主轴面附近，实时补偿主轴的膨胀或收缩。左上方的冷却剂喷嘴自动调整，根据已知的刀具长度将冷却剂喷嘴朝向刀具尖端