

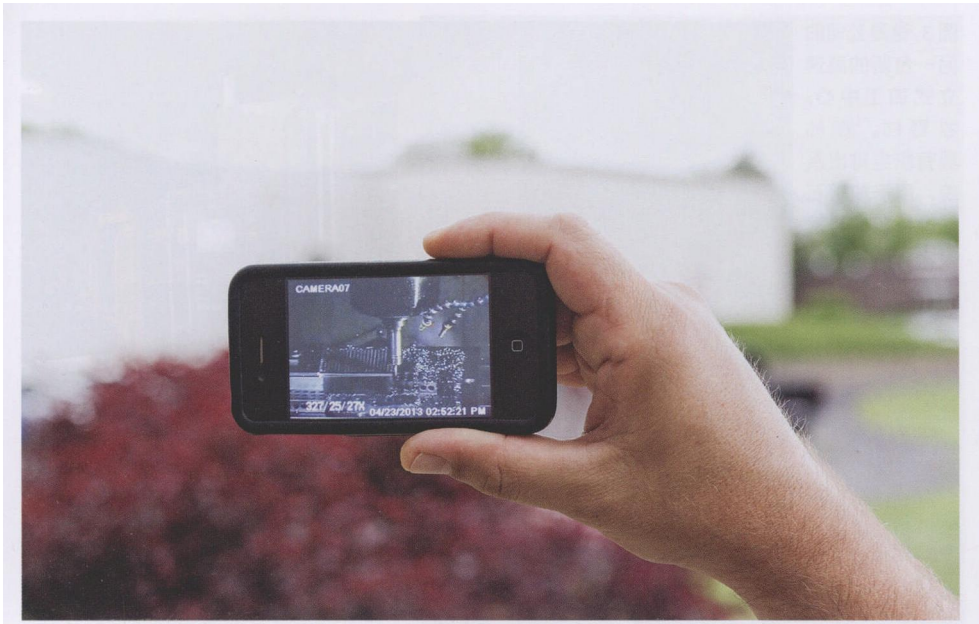


图 1 Mike Alvey 使用智能手机来访问厂里的摄像机，此摄像机可以专注于机器控制屏幕或作业区域。这是该公司实现无人值守高速加工系统方法的最后招数之一

工艺流程

高速加工 实现无人值守生产

模具生产商通过引进高速加工工艺，信心十足地实施无人值守生产，因此它们变得越来越有竞争力。

文 | Derek Korn

通过开发一个可靠的且无人值守的模具型芯和型腔的高速加工工艺流程，Quality Tooling 公司已经大幅提升了其竞争能力，开始赢得了先前外包到国外的工作任务。虽然这家在肯塔基州科里登的刀具制造商只花了一小会儿工夫去获得运行无人值守生产的信心，但

其系统化的方法却带来了高速加工工艺，无论操作员是否在场，机器都能有效地工作。当考虑到复杂的工件可能需要多达 30~60 h 去加工时，这一点尤其重要。

该家族企业是 Mike Alvey 和 Brian Alvey 两兄弟领导的，其首席 CAM 程序员是 Mike 的儿子

Stephen 和长期员工 Jeramy Lamb。Brian 承认，公司涉足工具钢模具块的高速加工相对较晚。部分是因为买设备先支付全额预付款，以保持无债务。他于 1968 年在他的车库里创建了 Quality Tooling。随着时间的推移，该公司最终装配好所有做有效高速加工所需的补充元素，包括适当的机械、刀具及软件。现在，它所做的模具表面几乎或完全不需手工抛光或打点，极大降低了制造成本和交货时间。模块的高速加工也减少了电火花成型加工（以及相关的电极加工）。此外，因为已大大减少了意外的加工错误可能造成的模块焊接、返修甚至报废的情况，因此任务报价更准确。Quality Tooling 的可预测高速加工工艺为增加容量和无人值守生产铺平了道路，无人值守的机器每天都能生产出产品来。

创建一个高速的工艺流程

Quality Tooling 是一个 27 人的公司，最初只设计和制造注塑模具，后来发展多元化生产，做橡胶、压铸、吹塑模具。同时它还做大量的模具维修工作，约占其业务量的 20 %。

确立无人值守模具加工工艺并不是 Quality Tooling 公司第一次考虑高速加工的目标。相反，它认为高速加工作为一个必要的步骤，是为了提高效率，把模具表面轮廓加工到近净成形后基本不需要再做钳工活的一种手工加工手段。这是通过采取一系列的轻削及小步距，尽量减小留在会切点的材料来完成的。进给率和主轴速度必须比传统的加工运作更高，这样刀具才可以实现有效而稳定的切屑负荷。较高的进料速率能够完成更多数量的跨

工件的走刀，以缩短周期时间。

虽然 Quality Tooling 公司现有的数控机床非常适合模具加工，但它们并不能做高速加工。因此，该公司首先是要找到一台机器，可以提供较高的主轴转速和进给率，又可以加工出所需高精度的复杂的 3D 模具表面。经研究并考虑其他业内人士的意见后，公司于 2000 年选择了 30 hp、20,000 rpm 的牧野 V55。这台带有 HSK- 63A 主轴接口的立式加工中心具有运行牧野的超级几何智能 (SGI) 伺服控制软件的 FANUC 16I-m 数控系统。SGI 使用其零件程序段预读和快速处理的能力，能发挥机器的快速加速和减速和精细定位分辨率反馈的优势。它能预测到随后刀具路径运动会将发生的伺服滞后或误差，在接收到来自伺服驱动器的实际反馈之前，把机器先移动到那些点。这样便补偿了伺服误差，帮助实现准确而平滑的刀具路径。

另一个高速切削加工难题，是

图 3 这是公司的另一台新的高速立式加工中心，牧野 F5。在 F5 具有粉尘排出系统，用于加工石墨电极和磨光钢模块



采用 OSG 的平衡热装刀架。热装刀架跳动量最小，所以刀具不会出现偏心旋转，否则会使排屑槽上碎屑负载较大，缩短刀具寿命。热装刀具 / 刀架接口也非常坚固，刀具能深入到难以进入的地方，不需要电火花成型加工。Quality Tooling 有两台 MST 公司的 Heat Robo 热装感应炉。这些设备的加热时间少于 2 min，冷却时间约 1 min。

采用热装刀架，以最大限度地提高刀具寿命，是很重要的。公司主要使用来自 OSG 和 Garr 的立铣刀，它们高速加工坚硬如 60 HRC 那样的模块都十分有效。例如用于精加工的球头立铣刀，具有极其精确的半径，能确保均匀的金属切除率和光滑的模具表面。同样，该公司使用 Crystallume 金刚石涂层刀具加工磨料石墨电极，高硬度和低摩擦系数的结合，保证优秀的电极表面光洁度又保证长的刀具寿命。

有了这台设备，Quality Tooling 便开始使用其现有的 CAM 软件做高速加工作业编程。虽然这款 CAM 软件包对公司的标准数控机床十分有效，但它根本不能在高速机器上充分发挥潜力。尽管机器完全可以胜任，但“速度”还是上不去。刀具接近拐角会减慢过多，产

生的刀具路径也并不顺畅。此外，Stephen 说，有时刀“陷入”沟里，而不是顺利地保持刀具路径跨过它们，可能会导致材料出现啃切和刀具破损的情况。

2004 年，Quality Tooling 开始寻找更适合于其 V55 高速加工中心的 CAM 软件。它选择了 CimatronE 软件，该软件比其他 CAM 软件贵，但其提供了实现高速加工的优势所需要的功能。他还毫不避讳地赞赏 Cimatron 公司在 Quality Tooling 中的实际切削作业中进行编程测试，而其他软件公司只是做自己的程序演示。

Stephen 说，CimatronE 的前瞻算法相当不错，大大降低了出现啃切现象的机会。具体来说，他赞赏 CimatronE 的坯料剩余技术，其软件能精确计算出每个刀具路径走完剩余的坯料，并使用此信息来优化后续刀具的运动。他说，更好地管理剩余坯料是非常重要的，可防止刀具崩溃并尽量减少空切。

高而稳定的进给率现在实现了，因为软件会让所有的刀具路径走圆，以消除方向的突变，并尽量减少抽搐动作。这就是说，该软件会自动调整刀具路径，以保证即使在切割尖角时走圆，也不会出现未加工区域或大粗糙块。必要时，它



图 2 公司最新的高速立式加工中心——牧野 S55

也会自动实施摆线加工，零重叠摆线加工和切向逼近/回退选项有助于防止模具表面出现划痕。该软件也能根据垂直或水平倾斜度改变加工方式，或保持走刀之间具有一个固定的三维距离，最大限度地减小复杂三维曲面的粗糙度。

另外，该软件消除了以前的软件所常见的刀具路径“绊脚石”，昂贵的刀具，便能更持久工作，并提供更好的精加工。另外，Quality Tooling 也能够粗加工更多模块面积并减少对电火花成型加工的依赖。如今，一个典型的模块可能只需要一次或两次电火花成型加工作业，比以前 15~20 次少很多。该公司通过减少加工所需的电极数量，进一步节省了时间和成本，报价也更准确了，因为意外的啃切已经基本消除。另外，NC 代码的计算时间要快得多。Stephen 说，软件可以设置成能使用其计算机的所有 8 个核心。另一个能节省大量时间的是他在为一项任务编程的同时，机



图 5 Quality Tooling 安装了红外 LED 摄像头，可以平移和缩放来查看机器的控制画面或作业区域

器处理另一个任务的能力。另外，只要作了更改，程序便会自动更新。

增加产能 运行无人值守

Brian 说，Quality Tooling 的高速加工工艺可预测且效率高，使公司比许多竞争对手成本低，交货快，赢得更多的任务。这促使该公司进一步提高产能，添置了另一台 CimatronE 与 S56 和 F5 两台牧野高速机，其中在 F5 高速机上配备了唐纳森托里特除尘系统，用于石墨电极加工以及模块的精加工。

Quality Tooling 也很快意识到，无人值守制造将成为更具生产力的下一个合乎逻辑的步骤。这也使公司能对客户分不同的情况进行收费，因为要考虑与工作相关的员工成本。电火花加工和周期短的铣削作业通常在两个白天班中的一天进行，有操作员上班。需较长时间运行的作业都安排在夜间、周末或节假日。如果队列中没有长周期时

间的工作，就安排多个较小的作业。在这种情况下，目标是尽可能发挥每台机器的作用，同时也充分利用固定工件的各种替代方法。例如，公司在其加工中心和电火花成型加工机上使用 Tecnomagnete 的电子永久磁性吸盘，可以更快装夹且夹持灵活（目前有 6 台）。此前，它加工模块底部凸缘，所以传统的夹具可以固定工件。使用这种固定方法，装夹并显示一个模块需要长达 30 min。而有了磁铁后这只需要 5 min。对于铣削和电火花成型加工，公司可以在磁铁的一侧装夹一个吸盘用于长期运行作业，而另一个用于有人值守短期作业时间。这样一来，操作员可以在早上暂停未完成的长期运行的作业，在白天进行装夹并完成短期作业。

同样，Quality Tooling 采用赫斯曼快速换托盘夹持系统，以加速加工电极的电火花成型加工机和加工中心上的装夹和切换。托盘安装在已知台子位置的接收器里，可以实现快速安装和可重复定位。在加工电极之前，该公司只是用锯切割石墨坯料，采用特殊设计的工业胶粘剂把坯料粘合到与赫斯曼托盘配对的铝板上。

Quality Tooling 的无人值守生产方式具备了高度的可靠性和可预测性，然而任何事物都不是十全十美的。刀具可以意外地破损，电火花加工用的金属丝也会损坏，会延长闲置时间。Quality Tooling 安装了红外 LED 摄像头，可以平移和缩放来查看机器的控制画面或作业区域。Stephen 开发了一种方法，给此视频输入指定 IP 地址，通过家用电脑或智能手机便能访问该摄像机。这便于远程检查的长时间无人值守作业的状态。如果发现问题，便可人工干预，恢复正常运行。□□□

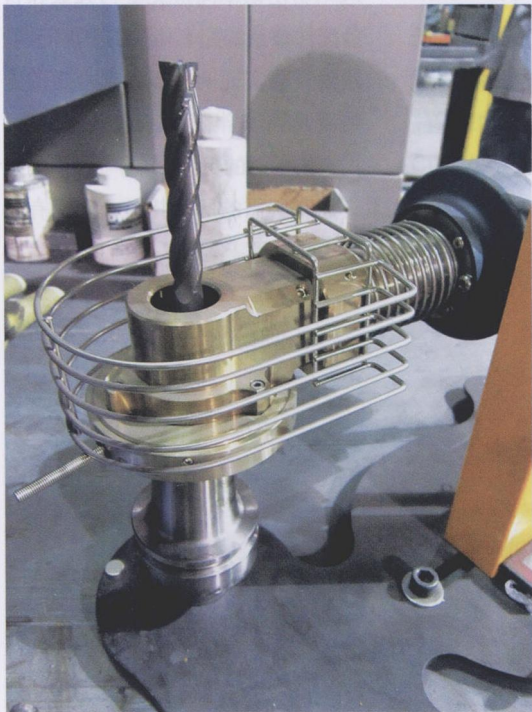


图 4 公司发现热装刀具能提供有效高速加工硬如 60 HRC 的模块所需的偏摆和刚性