



图 1 当硬铣削主管 JohnKemeny（中间）现场向编程主管 RyanJohn 咨询问题时，学员 MikeRetzer（左）旁观。在第一次等候坐标测量机检查时，员工并非让立式加工中心（VMC）闲置，而是定期对工作流调整以便更好适应坐标测量机日程安排而制定策略

CMM

在机验证保持工艺链完整

在加工中心上的测量不能代替该模具制造商的三坐标测量机（CMM）。相反，在机探测的目标就是最小化各工作站的停机时间，并最大化总吞吐量。

文 | MattDanford



机床用于加工工作，零件的检测工作则留给专用计量设备。毕竟，不工作的主轴不能为企业利益，测量花费每一分钟，切削所花费的时间则少于一分钟。除此以外，机床并非为检查而建立，即使它们是，从产生测量几何形状同一设备中收集的结果真的值得信赖

吗？
当拥有 68 名雇员的机床厂商的其他成员首先推动实施在机验证时，对动态刀具和设计公司抱有怀疑态度的人员做出了以上表达。很明显，没有任何人对 Wisconsin 的 Menomonee Falls 注塑模具制造操作产生怀疑。这是根据硬铣削主

管 John Kemeny 和新方法初始冠军之一的说法而得出的。“一旦每个人采取行动，他就会恢复知觉。”他说。
装配有零件探头的机床实际的停机时间更少，而不是更多，他解释说，每天总体约节省 4 h，那是因为这些探头不能替代三坐标测量机（CMM），它们只



图2 每一个这些“盖子插件”都是构成用于铰接洗发水瓶盖 2×24 堆叠注射模具单独堆叠的 20 个部件之一

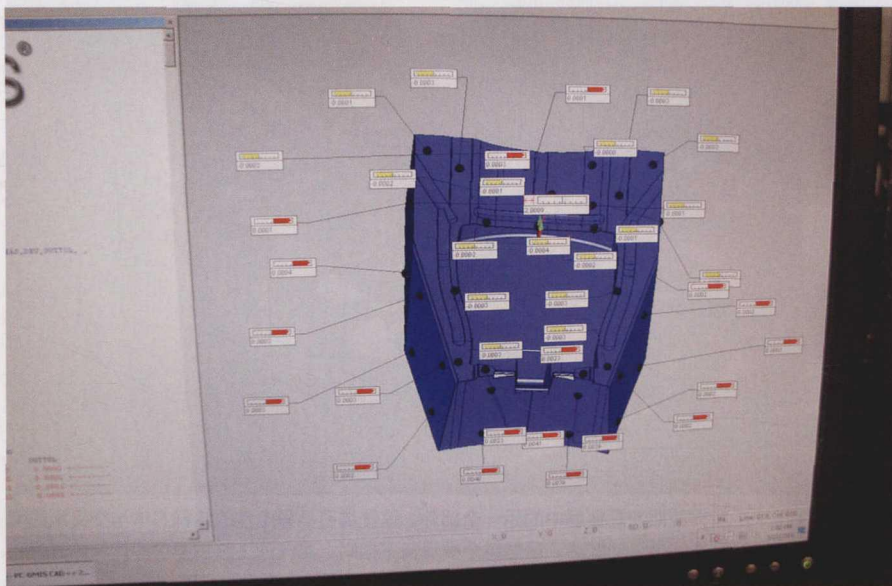


图3 测量关键特征并将其与模型进行比较，正如机床厂 PC-DMIS 检查软件屏幕截图所示，由相同软件驱动，坐标测量机仍然是检查的最终权威

是对其进行补充。这个想法并非验证最后的零件，而是确保制造过程保持正常，不占用有价值且专用的计量资源。虽然坐标测量机在检查方面仍然占据主导地位，但是生产场所测量精度足够高，可以使用 $\pm 0.0002 \text{ in}$ ($1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$) 的典型公差来评估零件。

此外，机床厂商甚至还有更大的计划，利用其新的探测功能。正如 Kemeny 解释的那样，在机验证使得动态刀具更接近于无缝自动化工艺，其中模具部件以不间断工艺链从一个工作站进入另一个工作站，并且让生产场所员工的干预达到最小化。

指示是不够的

为实现这一目标，机床厂商已经配备了 13 台不同的机床，包括 5 台石墨切割立式加工中心、4 台硬切削立式加工中心、4 台沉降电火花机床 (EDM)，除了一台来自 3R 系统的 Workmaster 装置以外，其余都配备了转盘式机器人。这种自动化不仅仅是动态刀具需要的，而且还是必要的，Kemeny 说。来自 $34\,000 \text{ ft}^2$ 模具生产区的任何给定包装、个人护理或医疗行业工具，都可以

包括多达 90 对相同芯体和型腔插入件。确保磨损或损坏的插入件可以互换，无需返工或手工配合，需要精确加工至 CAD 模型。在交付之前，这样做得越快， $17\,000 \text{ ft}^2$ 开发中心相邻注塑机的模具组装和测试就会越快。一批零件的快速精确加工，则要求快速装载或卸载的精确设置，同时机器人工作时使用的预装载、标准化托盘提供了人工无法匹配的速度和精度等级。

他说：“机上探头长期以来帮助提高了速度和精度。”通过简单宏和参考特征来驱动以标准化至各 3R 托盘，安装在机床厂 VMC 换刀器中的探头可确保工件位置偏移没有误差，并且速度足够快，以便在加载后几乎立即可以开始循环。然而，指示工件从来不足以避免零件从机器人转盘到机床工作区流动出现中断。Kemeny 表示，即使实现准备好 CAM 程序以及传送带装载良好，确保按照要求定期计划来进行操作，对关键功能进行工序测量。

他解释说：“无论工艺规划如何坚固，无论设备和工装如何精确，在生产场所可能会难以控制一些变化，例如刀具磨损、机床发热。”事实上，即使使用热补

偿技术，上午首先启动主轴也可能在中午的时候产生膨胀，甚至会引起致密的公差分割线、关闭或其他关键特性超出规范要求。每次在第 5 个或第 10 个零件停止加工之时，以便在 CMM（其为在机床厂中最繁忙的设备）上找到补偿偏移，限制了熄灯运行的能力，并且存在着明显延迟的风险。另一方面，放弃工序检查以及对一批部件或电极进行充电，可能需要花费数小时的返工，甚至出现零件报废。

更强大的机床探测技术给程序员和操作员另外的选择。“我的生活肯定变得更容易一些。”Kemeny 谈到自己在硬铣削部门中的工作，引用了前文所提到的每天 4 h 停机时间。“我们可以在这里进行检查，做任何必要的调整。”

促进无缝工艺

Kemeny 强调，公司新探测能力的合理性超过了个别机床的停机时间减少量。在 VMC 上执行工序检查，使得 CMM 免除了其他更为关键的工作，其结果是提高了整个机床厂的效率。“都是关于吞吐量的。”Hexagon 制造智能公司的 Andy Mear 这样总结，该公司为动态



图 4 包含在每个洗发香波瓶刀具叠层中的另一个部件，这些具有高导电性的铂铜芯体与交叉水线层叠，以便在注射循环之间更快地散热。虽然每个模具各不相同，高气蚀工装需要这些体积的零件和电极，即自动化不仅仅是诸如 DynamicTool 这样的机床厂所需要的，而且是必不可少的

刀具新 M&HIRP40.01 设备安装探头供应商（通过经销商 Premier 机床公司）、以及 PC-DMICS 软件经销商，该软件驱动机床和 CMM 检查。

同样重要的是，当涉及到对零件做出最终判决时，CMM 的权威性并没有受到任何损失。Mears 说：“你仍然希望 CMM 成为你的优质标准。让它做擅长做的，让它进行健康检查、最终审计，以及最终权威。同时，在机床上测量可以帮助东西移动。”

根据这种思维方式，动态刀具的 Brown 和 Sharpe 公司的 CMM 仍然是唯一得到信任的资源，可对机床厂内各设备的工作进行最终性能及格与不及格的检查。这不仅适合于机器人进给 VMC，而且还加工诸如线材电火花和夹具磨床，它们不太适用于自动化。同样，CMM 是首件产品模具部件和电极的唯一可接受合格品，在每次作业开始时对其进行测量，以便在运行整个批次之前验证该加工过程。然而，Kemeny 说：“对于更多避免错误而非验证制造顺序或者为客户生成最终检查报告的工序而言，CMM 的全部能力并非必要的。这些是已经降级到 VMC 的测量，并且它们通常限于潜在问题区域以及紧密度容差特征，这对于模具操作来说至关重要。”

这些检查的性质使得它们能够简单地为 Kemeny 和生产场所的其他人提供编程，这些人使用与专用（并且通常很忙）编程人员相同的 CAD 模型。在 CMM 上检查首件产品部件后，其返回到生产它的机床上。在那里，发布到数控机床右侧 CAM 程序的 PC-DMIS 检查工作，则重复了最关键的测量，以便将 CMM 和机床之间的差异调整归零，所得到的偏移确保该批次其余部分的严格工序测量。

虽然首件产品检查远比中期过程检查破坏性小得多，但是它们仍然有可

能延迟切屑进程，特别是在 CMM 繁忙的时候更是如此。然而，对于事先预备的程序和工件托盘而言，在机验证通过适应 CMM 进度表而提供最大化主轴正常运行时间的灵活性。例如，操作员可能会中断一批零件的加工，以便为下一个计划作业运行首件产品。当首件产品在 CMM 上进行测量时，首批零件的加工可以继续。在第一批零件完成后，以这种方式留下一个附加缓冲垫，会增加第二批零件立即进行加工的可能性。理想情况下，非切削时间相当于只有机器人加载或卸载，其通常需要花费几分钟的时间来探测下一个首件产品，用来与 CMM 结果进行比较。

“同时，质量控制人员实际上可以在下班后回家。”Kemeny 说，“零件不会像往常那样堆积起来，对于最重要或者首先需要检查的零件则没有太多的压力。”对总体吞吐量的影响特别引人注目，因为到目前为止，5 台石墨切削 VMC 中的两台及 4 台硬铣削 VMC 中的两台设备均已经做了配备，不仅仅是找零。

所采取的措施

结果往往超过预期，在机床厂中实施在机验证。这是按照 Mears 的说法，他说在他担任 Hexagon 机床测量解决方

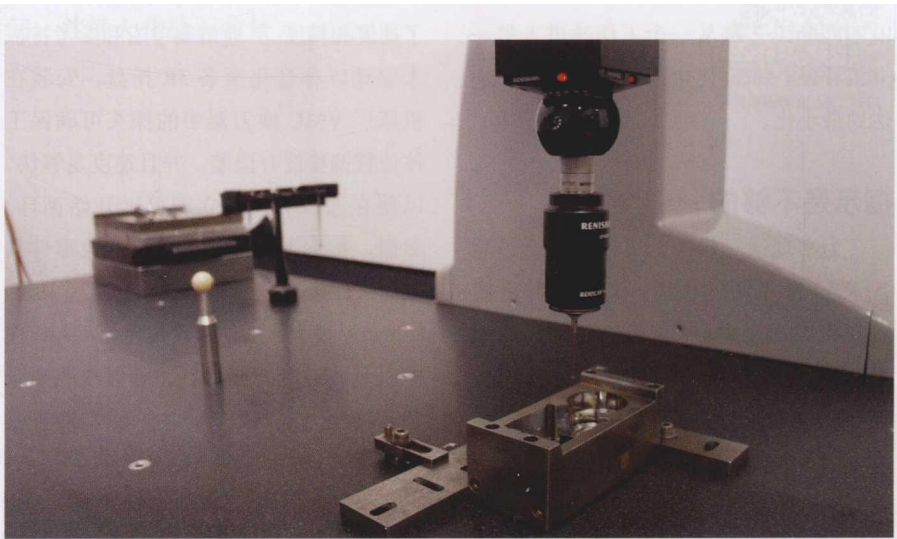


图 5 专为测量而设计，并且安装在气候受控的环境中，机床厂 Browne&Sharpe 为全球坐标测量机提供的功能超过了保持生产场所移动工艺所需要的任何功能。从工序检查中将其摆脱出来，则提高了整个机床厂的效率

案全球产品经理时常常会遇到疑惑。典型的拖延不仅涉及到为零件检查而停止设备，这实际上可能是一件好事，而且还涉及到所需要进行测量的内容首先取决于加工中心。

对于一台机床而言，动态刀具从未遇到过安装式探头的问题，直到其试图超过基本工件指示为止，这个就是敏感性问题。新的 M&HIRP40.01 探头和机床厂之前的型号则以类似方式进行操作：当触针偏离工件的作用力足以断开探头内三点接触机构上的电路时，记录一点。然而，触发先前的探头则要求 2.31 N 的作用力。这足以找到零点，但并不是用来检查关键特征的形状或大小是否在十分之几以内。相比之下，机床厂的新型 M&H 探头仅在 1 N 处触发，即使具有更长的触针长度。这更接近于 Brown 和 SharpeCMM 上所用的探针性能，并且允许来自两个装置测量之间的更好相关性。Mears 解释了探头灵敏性的重要性：“使用这种类型的传感器技术，当沿着特定向量接近零件时，在探头触发前，机床在一个方向上行进要比另外一个方向上远一些。这被称作无线波束控制错误，并且对于加工中心上常发现的更强大探头，其可能真的很高。”

无论探头灵敏度如何，其只是与系统驱动一样的精度。机床厂中的较新机床配备了线性编码器、线性电机、热补偿装置以及几十年根本不存在的其他精确增强功能。“一般来说，如果有信心将零件在特定设备上加工至一定公差，也应该能够测量这些零件，并且用至少相同置信度来控制工艺。” Mears 补充说。

Kemeny 说：“对于动态刀具而言，过去已经使用的操作员，保持这种信心需要给予机床更多的关注。”例如，操作员每周一已经采用陶瓷计量块来校准所有应铣削的 VMC，以补偿机床结构固有的位置、直线度和矩形误差。每周还要校准探针，以补偿任何径向跳动。虽然针对之前模型的环形伪影进行校准，仍需要按照球形标准对 M&H 探头进行检



图 6 对动态刀具的未来访问者可能会发现标准化的托盘，其配备一个射频识别（RFID）标签，可以自动传输所有偏移

查，将其永久性安装在机床工作台上。Mears 说：“实际上，可以更好地应用于简单的 2D 测量，例如确定孔的大小，从一些不同矢量上触摸球体，确保更复杂 3D 任务的足够准确性。”

推进机上探测的其他要求更多涉及到软件而非硬件。例如，沿着多个矢量补偿球尺寸和尖部偏移量，对于轮廓和倾斜表面的 3D 测量来说是必不可少的。PC-DMIS 和驱动机床厂先前探头软件之间的区别是显而易见的，即使在简单的 2D 程序中更是如此。考虑上述提到的孔测量，而 PC-DMIS 可以采取多个点，因为编程人员认为有必要确定直径到一定的准度，机床厂先前的软件更为有限。因此，对孔进行尺寸和形状测量要求则限于大约 ± 0.0004 in。即使较少点足够，先前软件可能只确定孔的位置。相比之下，PC-DMIS 可以绘制孔位置，因为其与其他工件特征有关。如果几何尺寸和公差（GD&T）规范要求孔和特定表面之间有一定的孔定向或一定水平的垂直度，这种能力将是关键的。

做好准备

尽管以前的软件不足以满足动态刀具的目的，但是机床厂也并不真正需要 PC-DMIS 的全部功能。“在某种程度上是过度的。” Kemeny 说，他解释经常不

得不提醒自己采取更少的点，以保持工序检查尽可能地简单。除此以外，简单地来说，许多软件功能在此时的生产场所中并没有用。例如，三轴 VMC 不能测量复合角度，这就要求 CMM 的旋转倾斜头。

尽管如此，动态刀具具有充足的理由，以此要求更多的能力来进行投资。Kemeny 说：“这是一个关注未来的机床厂，并且 PC-DMIS 开辟了许多新的可能性。”例如，PC-DMIS 并不限于特定工作站，正如先前探测软件那样。相反，它能够监控和分享来自内部网络上任何设备的测量结果。这可能潜在地打开了具有射频识别（RFID）标签托盘的大门，即从机床到机床传输信息。该信息不仅包括位置偏移，还包括来自前一站工序检查的关键数据。

Kemeny 指出，无论将来动态刀具测量能力如何，在生产场所拥有 PC-DMIS 和新探头，则显著提高管理该工艺能力的信心。这并不让 Mears 感到惊讶：“机床测量和 CMM 之间的许多典型差异，比如对基准结构、探针路径、测量技术等等采用不同对准方案，在两个装置上使用相同软件时，它们将会消失。在这一点上，通过 CMM 和机床之间更强大的相关性练习，可以更容易地对工艺中所进行的情况进行分类说明。” [MM]