

软件

托盘系统软件 大力提升加工单元柔性

在这家工厂运行着由 Fastems 出品的最新柔性制造系统 (FMS)，该系统为工厂增加了一个自动化层，增强了熄灯式加工运行的内在柔性、生产率和有效性，其中的关键在于动态作业调度。

文 | Mark Albert



图 1 这张俯视托盘系统中心的照片展示了正在等候下一条指令的导轨式堆垛起重机械。托盘系统贮存货架位于左侧，加工中心和装车站位于右侧

“这就像每天在洗一副扑克牌。” Paul Hogoboom 正是这样描述管理不断转换作业优先等级时所遇到的挑战的，而这些挑战也是 P&J Machining 作为一家极具竞争力的航空加工厂所必须面对的。Hogoboom 是 P&J 公司总裁，这家公司位于华盛顿州 Puyallup，由他和弟弟 Mike 共同管理，兄弟俩继承了父亲于 36 年前创建这家公司时所开始树立的家族传统。

像父亲一样，Hogoboom 兄弟俩一直在雄心勃勃地寻找帮助公司保持竞争和利润优势的先进机加工技术。这项政策在这家加工厂采用机加工系统和配托盘加工单元实施的历史悠久熄灯机加工运行当中展露无遗。这类自动化加工的第一套系统于 1997 年开始运行，最近一套于 2014 年投入运行。事实上，对比这些系统装置可以看到单元式加工概念以及支持技术的演变。

最新引进的系统包括了两个 4 轴 Matsuura 卧式加工中心 (HMC)，并配备了一套 Fastems 托盘系统贮存和取件系统，这代表 Hogoboom 认为在熄灯航空机加工领域具有最重要的技术改进，即控制软件有能力根据来自客户不断转换的需求进行生产，而在加工过程当中自动重新调度作业优先级。简而言之，Fastems MMS5 加工单元控制系统能够确定工件托盘的最优次序，满足客户在飞机“制造预测”方面的要求。

也可以这样说，这种“洗牌”作业



图2 这套托盘系统为两台 Matsuura H Plus-500 卧式加工中心服务。这两台 4 轴、50 锥度机床配有 320 位刀库、高压冷却系统和将切屑排至大型切屑箱的大容量切屑输送机

优先级的能力就是按照对加工厂有利的方式将牌垛好。这个软件的一些主要优点还包括改善了系统的柔性，能够在加工单元上的任何时刻活跃地进行生产，管理当中 30 ~ 45 个不同的部件编号，更好地协调着生产时间顺序，满足成套供货计划要求，以加快客户工厂飞机机组装进程，达到了很高比率的加工作业时间（97% ~ 98%），并精简了从到货至出货的物流过程。在软件内保持对生产详情的追踪也提供了可靠的符合航空合同要求的可追溯性。

由于在熄灯生产方面拥有长期经验，P&J 公司非常适合充分发挥这个新自动化单元的先进加工能力。多年以来，这家加工厂学会了如何精心照料好规划、前期工程、员工配备、培训和日常运行考虑事项，才能在任何自动化加工单元或系统上成功地实现无人值守运行。这些经验全部应用到了这套新系统上，并且还学会了利用控制软件在调度安排、联网和机床监测方面的能力。例如，可远程访问系统的手段为监督人员和顶层管理层提供了种种工具，让他们可以监测作业进度，即刻对客户要求做出响应，并与加工单元运行团队良好互动。

“我们是一家航空部件加工厂，而不是一家生产厂。柔性必须与自动化结合起来才能有效地应用于委托加工厂环境。” Hogoboom 坚持这样说。他表示，

Fastems 控制系统的动态调度能力在全新效率水平上提供了恰当的组合，并证明了其在当今航空委托加工厂环境下的价值。

前景光明的卧式加工中心

Hogoboom 用以下这句话总结了配托盘卧式加工中心单元式机加工方式所带来的影响：两台配托盘卧式加工中心的能力相当于 10 台未配托盘的立式加工中心，他从自家公司的经验得出了这样的结论。这家公司从依赖立式机床转向了引入配托盘的卧式机床，并转换到以自动化系统实施无人值守机加工的方向。

多次拜访附近拥有围绕卧式加工中心组建的自动化加工单元的加工厂之后，Hogoboom 确信这正是航空部件加工的未来方向。随着这家加工厂越来越熟悉卧式加工生产，并运用托盘真正地消除了机床闲置时间，确凿无遗的投资回报从此体现出来。公司采买了更多托盘，随后又添置了第二台机床，然后引入了一套托盘贮存和取用系统，并服务于这两台已安装的机床。在这个历程当中，这家加工厂学会了逐步提升组织性和纪律性，旨在启动熄灯机加工工作方式。

自那时起，加工厂又添加了 3 套包含配托盘卧式加工中心的自动化加工系统。最近安装的 Matsuura 卧式加工中心和 Fastems 托盘系统就是这一趋势发展到今天的最高顶点。这套系统的安装于

2013 年下半年开始，并安装在 Puyallup 厂区一座两年前建成的厂房内，新厂房紧邻原有生产车间。这座预计用于加工铝制航空部件的加工单元于第二年上半年投运。

托盘自动化的高峰

这套 Matsuura/Fastems 加工单元对 P&J 公司来说代表了一系列的第一次。这套单元是这家加工厂第一套配备了 Fastems 托盘系统的加工装置，也是美国第一套配备了 Fastems 高 20 ft（1 ft = 304.8 mm）、宽 500 mm 托盘贮架的同类系统，由这套托盘系统配套的 Matsuura H Plus-500 机床也是这家机床制造商在美国售出这一型号的第一台机床。

这套托盘系统总共能容纳 60 件托盘，并配有两个紧邻排列的装载站，两台卧式加工中心并排布置于托盘系统的另一端。从加工中心的侧方和后方都留有充足的接近空间。托盘的贮存、取用和输送均由一台沿系统纵向运动的导轨堆垛起重机执行。托盘贮架分成 5 层，每层有 12 个贮位。最高层顶部露天，用于容纳那些装着过高夹具或工件的托盘，



图3 这张托盘系统照片揭示了托盘货架具有异乎寻常的高度。这个加工单元是美国第一套在 20 ft 高货架内设置了 5 个贮存层的 Fastems 系统

这些夹具或工件的高度已经超出了托盘上安装的垂直挡板。

Hogoboom 解释说：“我们喜欢 Fastems 托盘贮架的构件，因为这些构件坚固性和刚性都很好。”贮架可以容纳装载了重量高达 1540 lb（1 lb = 0.453 592 37 kg）的夹具和工件的托盘。每个托盘贮架下方均配有粉末涂层钢制接液盘，用于收集从托盘上流下的冷却液，并通过漏斗将冷却液导入管道，再通过管道引回至中央冷却系统。在极少可能发生的故障造成的失控状态下，导轨堆垛机由导轨两端吸振缓冲器提供防护保护。这套系统可通过扩充托盘贮架和堆垛机导轨扩容。由于堆垛机通过光学红外线发射器接受指令，因此不存在限制堆垛机可扩容距离的电缆。

每套 Matsuura 卧式加工中心均配备了一系列有助于熄灯工作的自带自动化系统。自动化刀具换刀装置拥有 320 把刀具贮位，为所有刀具和一定数量的备用刀具提供了充足的贮存空间，可用于满足本加工单元所有部件所需要的几乎每一项加工作业。而一个激光刀具传感

器负责检查输送主轴处的刀具没有断裂或缺失部件。一个安装在主轴上的接触式探头将在每一个粗加工循环结束时检查关键部件尺寸，并能将检查数据送至 CNC 以调整精加工参数，确保工件质量优良。

柔性存在于软件之中

Hogoboom 承认，P&J 公司拥有的自动化加工单元均能够在一天 24 h 当中实现 14 h 的无人执守运行，其余时间为白天期间由操作者将加工完毕的部件卸载和重新装载部件，这实质上保持了机床全天无休地运行。该最新加工单元与众不同之处在于其软件系统的能力。

其他加工单元的控制系統也很良好，因为这些系统能够精确执行单元操作者提前给予的指令，即这些系统能够按照输入计划在工作完成时更换托盘。系统中的较新者可以在计划外停运发生时通过文本短信或电子邮件发送警示信息。但是，托盘的优先等级安排、时间编排和路径规划等功能完全由操作者的输入

来决定。如果由于时间编排上的意外事件导致作业优先等级发生变化，则这些加工单元的工作计划必须手动更新以反映变化不定的需求。

而 Fastems 加工单元控制系统的软件与之相反，能够自行管理这种时间编排功能。该软件能够追踪加工单元上正在加工作业，并能对从加工车主时间编制和制造资源规划（MRP）系统收到的部件数量和交货日期作出响应。根据这些输入信息，加工单元软件能够协调各项作业，让正确的部件以正确的数量在正确的时间完成加工。

系统所协调的作业包括了将送至装载站的原材料输送品按适当的次序在托盘队列上装载工件，并根据优先等级安排可用的机床时间。软件的智能化程度可以做到，为了满足修订后交货日期的要求，其中的一个托盘必须先进行加工，而另一个托盘送至其贮架。在这个托盘工件加工完毕后，这个先贮存起来的托盘就可重新自动激活，送至其在时间表上的位置。

Hogoboom 表示：“这个软件的最大优点在于能够对部件组合、部件数量和部件交货日期的变化作出响应，无需加工单元团队额外给出计划。”承载“较着急”作业的托盘将比优先级较低的托盘更早送至单元，而优先级较低的托盘可以返回贮存仓库，等候其中一台机床随后的空闲时段。

这套系统还能管理加工单元内的机加工资源。例如，系统能够检查编排作业所需要使用的切削刀具是否都已装入自动换刀装置（ATC）当中，并且检查这些刀具的剩余刀具寿命是否足以完成此项作业。刀具短缺或者需要更换的刀具将标记清晰以便引起操作者的注意。

让这项柔性价值更加凸显的一种常见状况是客户工程设计方案的延迟发布。这些部件必须提前到等候队列的最前方，以便提前交货，帮助客户赶上生产时间表，防止飞机组装线上发生延误。Hogoboom 报告说，曾经有一次，甚至



图 4 加工单元团队领导者 Rick Nelson（左）正在与 Paul Hogoboom（右）回顾加工单元的运行情况。在加工单元主指令站，Fastems MMS5 控制系统提供了用于与加工单元团队互动的软件工具和显示屏幕。这个屏幕以色彩编码格式指示了全部 60 个托盘的状态

要求单个部件在加工单元内提前完成，最好在白班完成，最迟也不能超过第二天早上，这样才能满足客户的要求。在完成这些紧急作业之后，加工单元软件将重新激活暂时停用的时间编排表，相应地做出调整并进行补偿。

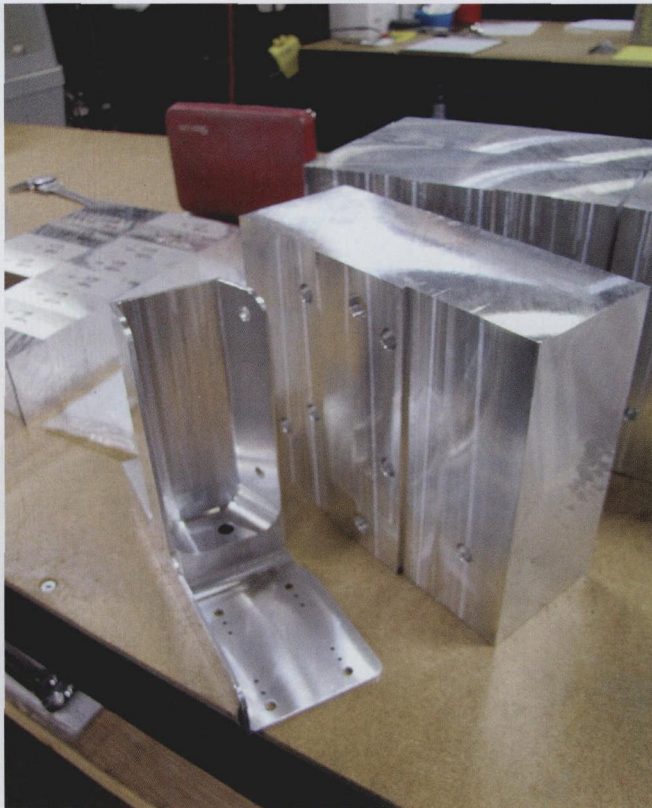
与此相似，此加工单元软件在适应那些呈现出不断变动部件类型、批次数量和交付日期的工作时间表方面表现出的相对简便性，为 P&J 公司成套供货计划提供了帮助。一个套件就是一个运输集装箱，设计用于容纳所有某一特定飞机组装步骤所需要的全部部件。这个集装箱直接运送至客户组装线上的使用点处，这个使用点上的组装工人将在需要组装时即时打包这个套件包装。由于部件到货时都放置在预先贴好标签的货盘或间隔内，并且在手边准备好了相关的组装操作说明和核查清单，就能够帮助客户收货部门减少失误、避免部件短缺和规避延误。

为了参加成套供应计划，供应商必须下大力气加强计划所涉及的纪律性和组织性。例如，套件供货必须与客户展开密切协调，因为所需生产的飞机预测数量和配置每个月都在变化。P&J 公司利用客户的生产预测来安排套件发货时间，而这个时间必须反映在其加工单元所排定的作业当中。在内部，类似的优点也体现在原材料物流上。根据工作时间表所指出的类型和数量，工件坯件将每天两次输出至加工单元。由于这个工作时间表是定期更新的，所以这些原材料输送就因此而准确与及时，从而最大程度上减少了加工单元半成品的滞留。加工完毕的部件即刻送出加工单元，进入下一步加工。

加工厂应自己做好的工作

为了给这个加工单元的安装配套，作为一项认真制订的生产战略，P&J 公司要求加工单元软件具备这项动态维护生产时间表的能力。这项战略反映了这家加工厂以前对单元机加工和熄灯运行积累的经验。Hogoboom 强调说，自动化

图 5 在加工单元规划和安装的“预工程设计”阶段，必须确定最适合加工单元能力的工件类型、形状和尺寸。这个铝制部件是这个加工单元所加工的最大工件之一。请注意坯件工件夹持侧的鸠尾榫。加工单元软件知道哪一个托盘配备的夹具适合夹持此部件，以及工作调度计划何时需要这个工件输送到位以供装载



加工单元的成功在很大程度上有赖于配置和安装单元前所做出的关键决策。

这家加工厂在准备设立 Matsuura/Fastems 加工单元前执行了以下一些主要步骤：组建高效能的加工单元操作团队；对加工单元运行的所有环节都展开预工程设计；以数字化格式提供完整而准确的文档。Hogoboom 警告说，在对自动化加工单元的综合管理当中，很容易轻视这些预备性步骤的重要性。但是，Fastems 加工单元控制系统的软件为这些工作带来了回报，确保加工单元的运行既流畅又高效。他说：“证据就是这个加工单元当中机床的生产效率，机床唯一不在加工生产的时段就是托盘更换期间或切削刀具更新期间。”

工厂管理的新模式

这套加工单元控制系统不应忽视的另一个方面是它还起着监测系统的功能。这套系统能够采集有关机床使用率、过程详情、发生的警报和警示以及其他方面的数据。这些数据可由加工团队领导

者和生产经理所定制的各种报告当中进行分析和总结。同时，这些数据还与每个部件编号关联起来，用于追踪和可追溯性用途。

事实上，Hogoboom 将此自动化单元视为整个加工厂按其想要的运行模式。例如，这个加工单元的自动化程度使得单元的生产率非常之高，机加工资产得到了非常高水平的利用。这个单元既减少了劳动力成本，同时最大限度地提升了劳动力输入的价值。

这套加工单元控制系统还提供了可视化监测能力。加工厂经理可以通过它看到每一个作业正处于什么状态以及这些作业进程遵守时间表的密切度是多少。这个加工单元的柔性使得其能够很理想地适用于航空委托加工厂的环境。这套系统支持对客户需求的响应，而这种能力使得这家部件供应商从其余供应商当中脱颖而出。动态时间调度对于这项能力的获得起着主要贡献作用，而且这也是 Hogoboom 想要在整个 P&J 加工企业中看到的能力。MM