

切削

清除汽车加工过程存在的障碍

正确的刀具、工件夹持装置和软件以及多任务多轴设备配合使用让这支车队成为了一家成熟的零件供应商。

文 | Matt Danford



更多精彩内容扫描二维码

钻孔只需要 3.5s 或稍微再长一点，在这段时间内，高速赛车在高速赛道上可以奔驰 1000 ft，喷出火焰并冲进欢呼的观众群，以超过 330 mph 的速度飞驰而过。在这些时刻，到底有多少观众会真正欣赏这些轻盈的赛车中蕴含的技术呢，我们不得而知。而且，在 3.5 s 的时间内，关键的发动机部件也许会发生故障。因此全国高速汽车协会（NHRA）各队伍的起跑线并不在跑道上，而是在工厂中。

在 20 多辆车中，拖运 Don Schumacher Racing（DSR）的跑车在全国参赛的拖车是整个 NHRA 中最大的。位于 Indiana 州 Brownsburg（刚好在 Indianapolis 的外面）的制造工厂规模也比多数工厂要大。仅在 2016 年，DSR 就投入 700 万美元购买新设备，并将工厂扩大了 25 000 ft²，总工厂面积达到 145 000 ft²。本文写作之时，发动机还只是厂房内大量未生产的部件，工厂已经准备开始进行零件加工了。“我们希望控制自己的技术和成本。”Tom Warga 表示。他是 14 位机械师之一，也是整个工厂改进工作的主要战略制定人之一（图 1）。

目标与很多北美制造企业类似，尽管赢得各种称号是所有车队的主要目标，但这个拥有 120 名员工的组织与其他企业一样，面临着相似的压力和挑战。车



图 1 DSR 拥有 21 台数控加工机床，各代机床都可以在这里看到（包括照片中最老的车床）。公司的机械工厂内有 14 名员工，单独的制造区、碳纤维修复区和其他区域还有 6 名员工，他们为自己的 8 支队伍和 NHRA 剩余成员生产了超过 400 台高速赛车和“腊肠型赛车”发送机

队高层和前赛车手 Schumacher 确实是这样想的，至少在 2013 年车队决定建议其他车队使用自己的零件就印证了这一点。与 Schumacher 的预测一样（与有些车队领队的担忧相反），以零件供应商和车队的身份推荐自己的零件并没有降低 DSR 的竞争力，Warga 说。实际上，2016 年车队第四次在一个赛季内获得两次 NHRA 世界锦标赛冠军。然而，供应零件可以增加利润，而且还可能避免意料之外的不可控事件。

随着工件数量和种类的增加，应对竞争压力的策略也紧跟着行业发展前景而层出不穷。如今，不仅是三轴 VMC 和车床，连五轴金属碳化物车铣托盘进料卧式加工中心都在金属上加工碳化物。从夹持到刀具再到软件，流程设计可以最大程度确保主轴接触工件，并减少加工周期内所需的手动干预。

从立式变为卧式

高速赛车快速离开赛道起始端的“圣

诞树”照明设备时，在所有产生应力的发动机部件中，连杆是最关键的。活塞和曲轴之间的连杆零件是控制生产和确立 DSR 作为其他车队供应商地位的首要目标之一。同样地，它们是最先影响工厂的数控加工技术扩展的部件。

最初，这种扩展主要是增加更多主轴，更新更好的主轴。第一部分新的机器包括三个 VMC，至今它们只用于生产连杆，尽管工艺看起来非常不同。“我们共 23 次打开机床的门。”Warga 先生回忆最开始尝试提高连杆生产能力时表示。操作人员在每一步后续操作（端面铣削、压型、钻孔、钻锥坑和做标记，更不用说分隔锯和钻头的压力）之前都要翻转工件，工厂每天只能生产约 16 个连杆（图 2）。

将每天的产量提高到 40 个不需要进行太大的技术升级。然而，却需要换一种思路考虑如何充分利用机床的能力。与加工自己零件的机床不同，这 3 个 VMC 现在的运行模式更像一条流水线，固定在不同加工站——定制固定装置上的零件同时进行着各个不同阶段的加工操作。多数站点一次可固定 8 个零件，例外情况包括一个四站式固定装置和一个 16 站式固定装置，装置使用带 0.008in 直径尖端的刻刀锯开两端杆的连接端。

连杆加工工艺最新的发展思路也是一样的：加工尽可能多的原材料，避免加工中断。工厂在此和其他地方的差别在于，新设备不仅能够提供更好的原材料加工能力，它的配置还能为实现同一目标提供更多选择。

这种情况下，Okuma MB-5000H HMC 能够保证刚度和精度，高效切割两块坯料，而非近网状锻件加工。矩形坯料简化了工件夹持工作，Warga 先生说，使用两块坯料进行加工就不必单独进行锯切操作，同时可调节式墓碑夹具可以在不同生产阶段针对每个面自定义固定装置，加工时更容易接触到每个零件（图 3）。不需要操作人员将零件组从机床转移到机床，HMC 可以通过调整墓碑夹具直接对另一组零件进行后续的加工操作。人员使用每台机床的两个墓碑式夹具可以实现对一组零件的所有必要的重新夹持，而不必中断其他零件的加工操作。有了这个系统，一个操作人员每天就能生产多达 50 根连杆。

采用双轴车铣

有些新机床比其他机床适应的更快。“它改变了你对加工零件的总体看法。”机械师 Mike Anderson 提到了工厂

新增的 Okuma Multus U3000 车铣时表示。与之前的车削标准——90 年代流行的工具，Y 轴车床——相比，这种机床的主轴和副轴都能夹持零件，具备一个转速为 12 000 的 30 马力双功能铣刀轴，一个 120 位置的 ATC 和一个底部的 12 站刀具转台。

要确保这种设备提高加工效率，而非发生错误，就需要仔细进行设计，Anderson 先生说。他把这个过程比作一盘跳棋。“你走的每一步都会影响到后面的布局。”这盘棋不仅存在于程序员的头脑中，还要在 Mastercam CAM 中进行虚拟仿真。“我们希望切口是什么样子？机床如何移动？转台是否会影响下一步操作？”他提出了这些问题，并作出了补充，所有变化必须在脱机程序中表现出来，并且调整空间很小。“你必须具备 3D 思维。”Warga 先生表示。

他说，第一个让团队认识到这些可能性的零件是增压器轴承外壳。这种部件长度为 11.07 in，直径为 8 in，采用 7075 合金铝材料制造，使用老式车床时设置和加工需要花费近 8h，在进行设置和检验的操作人员身上的花费甚至比冗长的加工过程中的花费还高。然而，使用 Mu 加工这种零件只需要 40 min。从主轴到副轴自动转移技能缩短用时，又能降低发生层压结构错误的风险，零件的加工步骤由六步缩减为一步。

“3D 思维”比适应副轴转接更为深入。例如，为什么在工件内同时使用头部和转台固定工具？倾斜铣刀头进行成角加工时如何精简加工操作或提高零件质量？DSR 对其他增压器部件已经做到了这两点。例如，加工轴承箱时，挤压式车削将粗加工时间缩短了一半。对于车铣主轴内的鼓风机轮，将球头刀具倾斜 45° 可以加工 3/16 in 直径球头工具的大部分切割边缘。这样就可以在两条 0.0725 in 的通道内切割零件扇形内衬的外径，并在每个扇形内切出 0.005 in 的刀轨，而不是切出 10 条深度仅有 0.015 in 的刀轨。Warga 先生表示，事实上普通零件所有扇形的初步粗加工和

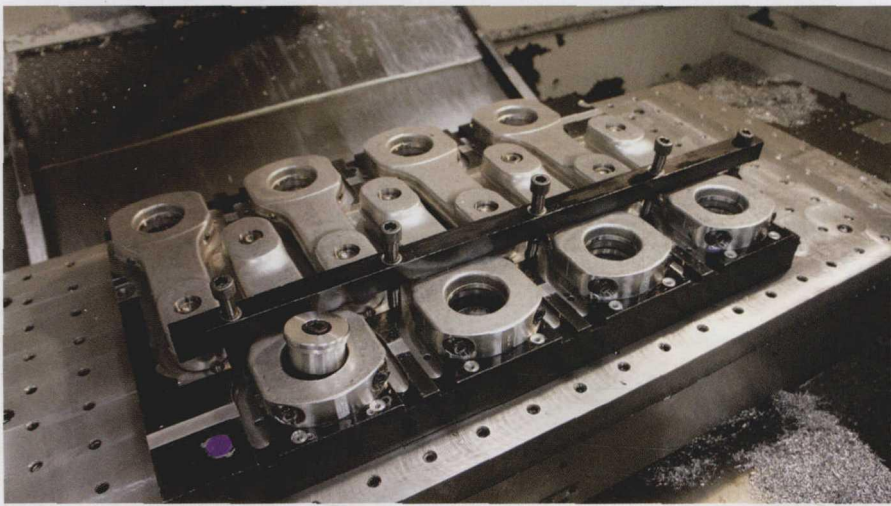


图 2 连杆生产的第一次重大改革是实现了多零件固定装置从 VMC 到 VMC 的转移，为后续操作做准备，而不是一台机床上完整加工每个零件。这些零件安装后，在更大的钻孔内进行精加工。由于加工部分是之前操作中的夹持位置，操作人员必须拔出塞子（图中左起第二个零件顶部松动）并沿零件长度进行夹持。尽管这种工艺仍在使用，但 HMC 可以更高效地生产这些零件

单点刀具精加工仅需花费 30 min，而以前则需要 3.5 h。

新机床还减少了中断流程，手动更换刀具的次数。对于前面幻灯片所示的燃油泵扩展部件，好处不仅限于新机床比旧机床的 12 站转台能够容纳更多刀具。Multus 的 ATC 可以避免不使用的刀具散落在更大的工作区域内，而之前的机床需要反复清理和重新安装镗杆，以扩钻较深的中心孔。否则，在同一个转台上使用较小的刀具进行后续加工操作时，刀具会出现破裂的情况。

五轴及多轴机床

工厂最先进的研磨机是五轴 Okuma MU-6300 V，它多数时间都用于切割汽缸盖。与商用车常用的铸件不同，这些部件使用 130 ~ 135 磅的铝坯料制造。由于各面的外观复杂、特殊，加工方法也很复杂。在各种加工操作中倾斜和转动零件技能巩固加工步骤，又能方便使用较短的刀具确保切割质量，Warga 先生说。

然而，DSR 购买五轴加工中心之前使用五根轴铣削这些零件。第一次工艺改进是使用第四根旋转轴移走五个专用 VMC 上的零件（这 5 台机床现在都用于修复加工）。主要原因是操作人员使用第四根轴加工每个零件时必须 9 次打断

加工过程，重新放置或夹持工件。将零件移到卧式机床（在这里是 Okuma MA-600）后只需调整墓碑式夹具就可以充分接触每个零件。尽管如此，复杂的加工操作，如内部加工（加工进气和排气室内部轮廓）还需要增加一个步骤：增加第五根运动的轴，采用转盘墓碑式夹具。

使用带托盘的 HMC 系统生产汽缸盖需要操作人员进行 3 次重要的手动干预：初始安装（在三个墓碑式夹具上分别夹持三个工件）、翻转零件使主轴接触到之前被墓碑式夹具阻挡的部分和最后将零件移到转盘墓碑式夹具上进行精加工。相比之下，五轴加工中心能够完全无中断地切割零件，除非加工过程中进行脱离机床的操作，如安装阀座。即便如此，他们打算停止使用 HMC 生产汽缸盖。

尽管五轴加工中心在提升设置方面具有优势，但主轴闲置时，它却需要安装一个又一个零件。总体上看，HMC 可能需要更多的手动干预，但它能够循环完成冗长的无人值守粗加工程序，一次能加工 18 个零件。这表示每年至少可以多加工 130 个零件。另外五轴机床可以自由切割其他零件，如环状零件和飞轮。精加工汽缸盖时，将部件移到五轴机床与将其从粗加工墓碑式夹具移到转盘墓碑式夹具相比，不会增加任何时间。

总体上看，汽缸盖的总生产周期约

为 13h（其中 8h 为无人值守的粗加工），而使用 VMC 加工则需要 18h。这些改进源于使用了新的机床配置和“3D”思维，Warga 先生强调了认真考虑每项工艺投入的重要性。例如，CAM 软件模拟对于五轴机床和车铣同等重要。使用正确的刀具很有帮助，这与加工增压器轴承箱的中心孔一样。加工过程中，将镗杆替换为来自 Sandvik Coromant 静音刀具生产线的内阻尼型部件，不需要平衡软管夹产生的力。

对于工件夹持装置，Big Kaiser 的 Unilock Ergo 138 零点夹头对于汽缸盖精加工操作产生了重要影响。使用老式 VMC 时，操作人员必须将零件搬到指定位置，然后固定各种螺栓和夹具，Anderson 先生说。如今，工厂在原坯料上加工高精度的孔，以配合 Ergo 牵引螺栓。因此夹持更快速、便捷和统一。MU-6300V 五轴和 MA-600 HMC 转盘墓碑式夹具都是用了这种工件夹持装置。“你拍打夹具，夹具撞击空气并夹持零件或任何其他东西。”

现场支持十分重要

一个机构内有多個优化实例大大缩短了加工用时。这种改变的根本原因是不仅将机构看作一支车队，还把它当作一个先进和精密的制造厂商。

长期技术合作伙伴和刀具供应商 Sandvik Coromant 在 2 月份迁入工厂后，这种观点有了扩展。供应商的新技术和培训中心与 DSR 的工厂使用玻璃门窗隔开，是它在美国的三个主要经营场所之一。它是公司为汽车行业客户提供培训、演示和工艺过程服务的场所，常常使用 DSR 自己的项目和赛车机构技术团队的经验向客户解释一些重要概念。

Warga 表示，DSR 的员工为本次合作开展感到高兴，他们知道刀具供应商的专业知识对于公司在赛场内外取得成功非常关键。“我们渴望向他们和他们的客户展示我们面临的新问题，而且他们已经帮助我们解决了很多问题。”他说。[MM]

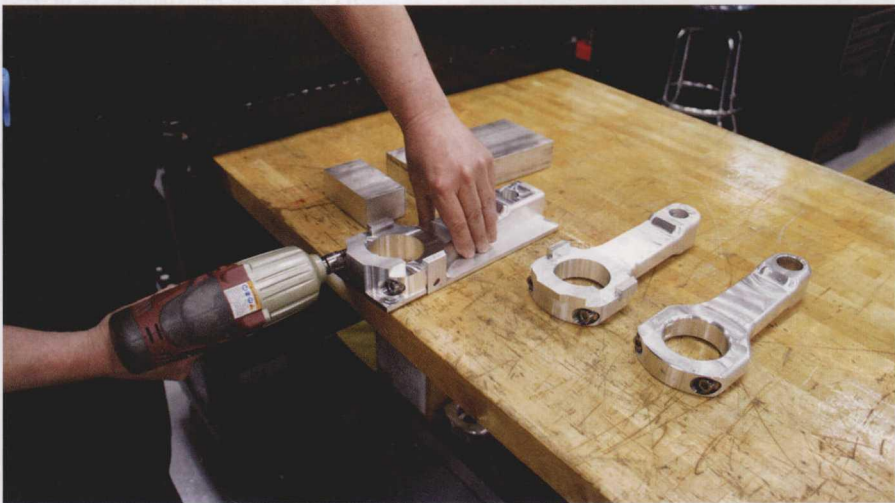


图 3 这些工件代表着使用矩形坯料在 HMC 上加工连杆的各个阶段。除了效率高之外，这种方法还简化了工件的固定。省去了锯切操作，以前要采用这种方法将一整块锻件分成连杆头和连杆体