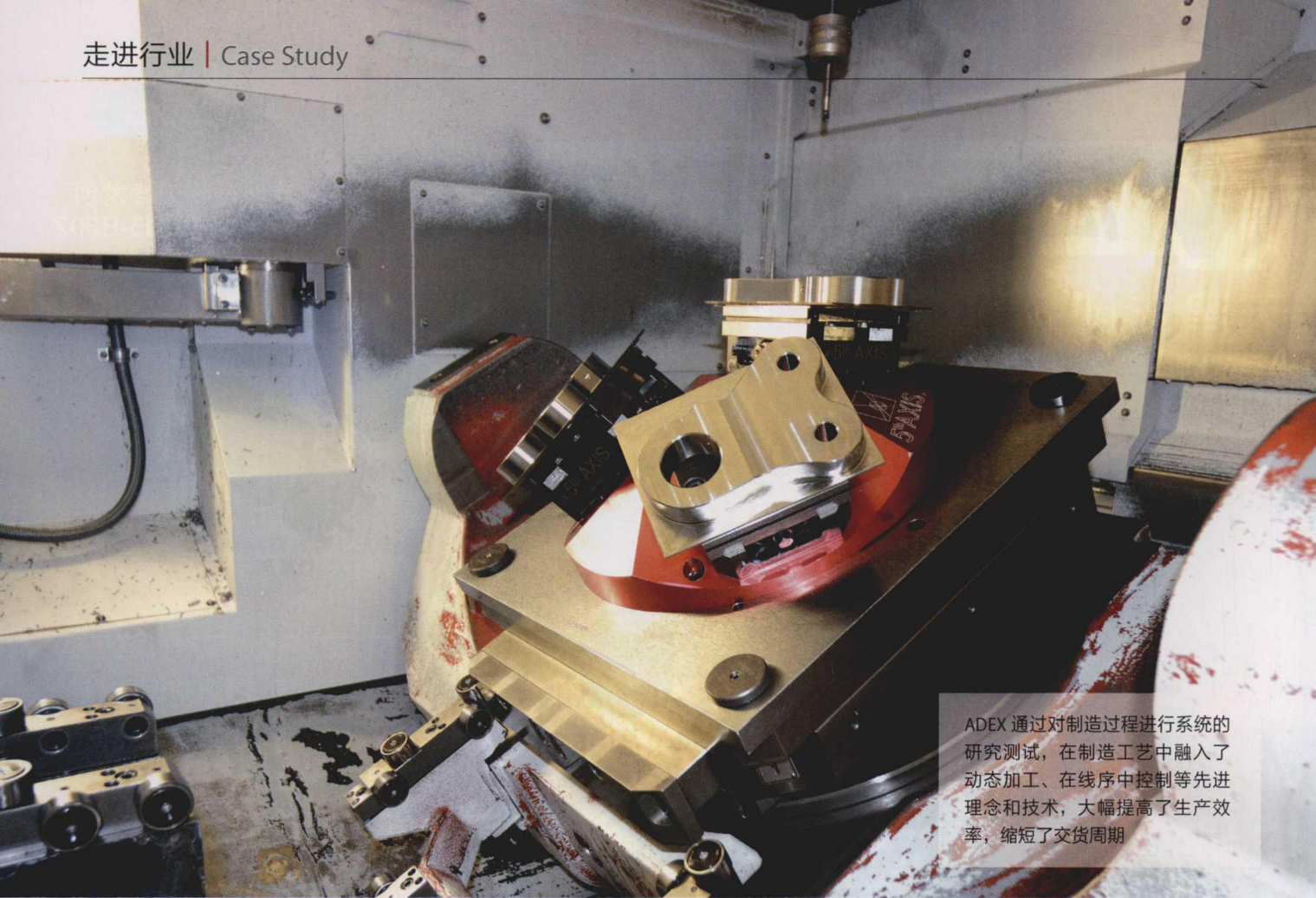




ADEX 通过对制造过程进行系统的研究测试，在制造工艺中融入了动态加工、在线序中控制等先进理念和技术，大幅提高了生产效率，缩短了交货周期

加工技术

“制造过程研发”的新认知

“很多工厂认为：制造过程研发需要投入大量费用和时间。除非是重要客户的特殊要求，工厂一般不会主动进行生产过程研发。但我相信，如果抱着这种理念经营工厂，在十年内很有可能被市场淘汰。” ADEX 制造技术公司技术与运营总监 Charles Anthony（图 1）表示。



更多精彩请扫描二维码

文 | CNC Software 公司

目前原材料供应商、机床制造厂、控制器厂商、刀具供应商、冷却液厂商、夹具制造商和 CAM 软件开发人员正从各个领域对制造解决方案进行快速升级和迭代。新的产品或技术很可能会显著降低生产成本或提高生产效率，例如使用新型工装夹具，通过对工艺流程的改善，可以减少装夹次数，大幅缩短停机时间。

更大的挑战是将制造业各个环节中的各种新技术灵活整合。测试研究制造过程中这些新技术的复合运用，深入优化制造工艺，使生产效率的提升达到现有技术的极致，这个过程被称为“制造过程研发”。

稳定负载切削

ADEX 制造技术公司 (ADEX

Machining Technologies) 于 2007 年在美国南卡罗来纳州格林维尔成立，该公司拥有多台五轴加工中心、立式车削中心、EDM 线切割机、CAD/CAM 软件和三坐标测量仪，其重要客户来自于航空航天、国防、能源等高端行业。加工的零件材质包括铬镍铁合金 (Inconel)、钛合金、高镍合金及钴基合金等高硬材料，ADEX 想通过针对制造过程的研究实现 7



图 1 ADEX 的技术与运营总监 Charles Anthony 和他的团队

天 /24 h 全天候生产。

ADEX 公司的制造过程研发重点是优化 5 轴制造工艺，减少不必要的预设置，减少循环时间，降低运营成本。其中一个重要因素是控制刀具的均匀磨损。ADEX 使用 CAM 软件（来自 CNC Software 的 Mastercam®CAD/CAM 软件）降低了刀具磨损率。ADEX 是 Mastercam 动态加工技术（Dynamic Motion™）的早期用户，动态加工技术会根据坯料的情况，智能调整刀具运行的轨迹，保证刀具在加工中处于稳定负载切削状态。

在粗加工中，动态加工技术在刀具均匀磨损的前提下，令材料去除率最大化。通过单个参数控制切削速度，根据刀具制造商的建议值维持合理的刀具负载。使用更小的硬质合金刀具，以小于传统切削方式 50% 的步进切削，这种加工技术颠覆了 CNC 程序员的认知，而这项技术在工厂的运用，帮助 ADEX 缩短了交货时间，降低了生产成本。

为了最大限度地利用好这一技术，必须考虑许多不同的因素，包括材料种类、切削条件、切削刀具和冷却液等。ADEX 进行了深入的内部研究，详细的测试了这些因素对切削的影响。ADEX 还与客户、刀具供应商、冷却液供应商和 Mastercam 的经销商（Barefoot CNC）合作，共同实现动态切削在车间中的应用，实践证明此项技术为公司带来显著的竞争优势。

制造过程时间分析

机床厂商、刀具供应商和软件供应商进行相互协作，利用各个领域中的最新的技术发展，帮助 ADEX 的工厂生产过程实现稳定负载切削。但 Charles 意识到：除了这些值得信赖的合作伙伴提供给 ADEX 的最新技术外，根据自身实际情况，研究和改进工厂自己的制造流程更为重要。

因此，ADEX 对生产流程进行了为期 18 个月的“时间研究分析”（Time Study Analysis），得出了令人吃惊的结论：机床处在 M01（程序条件暂停）的时间，使 ADEX 失去了 15 ~ 50% 的可用生产

时间。ADEX 的业务范围包括制造大型及中型精密零件，零件单价从 5000 ~ 15 万美元不等。ADEX 的 CNC 程序员将 M01 插入他们的程序指导，要求机床操作员检查零件和切削刀具以确保一切正常，杜绝废料的产生。

由于机床操作员需要同时负责多台机床，当某台机床出现条件停止时，在机床操作员赶到之前，机床会出现停机时间相对较长的情况。当机床操作员到达待机机床之后，可能会花费更多的时间来进行测量和调整偏移，决定继续加工或重新开始加工，确保一切都处于正常状态。有时精密的序中检测需要将零件从机床上取下，移动到三坐标测量仪进行测量，然后将夹具及零件重新在机床上定位。当在处理 0.0001 in (1 in ≈ 25.4 mm) 公差的零件时，这可能成为一个大问题。这些人工干预措施非常耗费时间，同时还可能出现人为错误。这些制造时间的分析结论为 ADEX 持续改进计划中的下一步指明了方向。

以 CAM 驱动的在线序中测量

这个问题的理想解决方案是使用五轴设备的主轴测头在制造过程中的特定点测量零件，验证尺寸是否超出公差，



图 2 历经一年的研究测试，ADEX 在加工工艺中融入了 Mastercam 的 Productivity Plus 测头编程方案。Mastercam 的本地代理商 Barefoot CNC 为 ADEX 提供了测头编程方面的培训及测试。Barefoot 的 Jimmy Wakeford（中）正在与 CNC 程序员 Dean Shaffer-Johnson（左）和 CNC 操作员 Ryan Fields（右）一起进行程序测试

并启动刀具补偿校正，而不会暂停制造过程。这个方法理论运行已经多年，但实践中依然遇到了很多问题：需要在CAM软件之外使用专门的测量程序来创建探测过程，并根据测量结果启动序中控制。这种方法要求CNC程序员精通在线测量或CNC程序员以及测量系统编程人员一起工作来编写制造过程中的测量程序。这个办法虽然可行，但过程非常繁琐且效率低下，同时成本有所增加。而工厂的目标是在昂贵的精密零件制造中普遍应用序中测量控制来减少（而非增加）交货时间，运营成本和NRE费用（一次性工程费用）。

2014年，Mastercam推出了“Productivity+”模块，允许CAM程序员在Mastercam编程环境中创建并调用雷尼绍测头。大大降低了对测头进行序中控制编程的难度。ADEX立即尝试测头及“Productivity+”在其制造过程中的使用效果。

经过为期一年的项目研发，ADEX开始将新技术应用于来自航空航天、国防和能源行业的业务中。ADEX发现了序中测量的潜在巨大优势，并将其作为业务重点。ADEX将Mastercam经销商Barefoot CNC纳入到该项目的合作伙伴

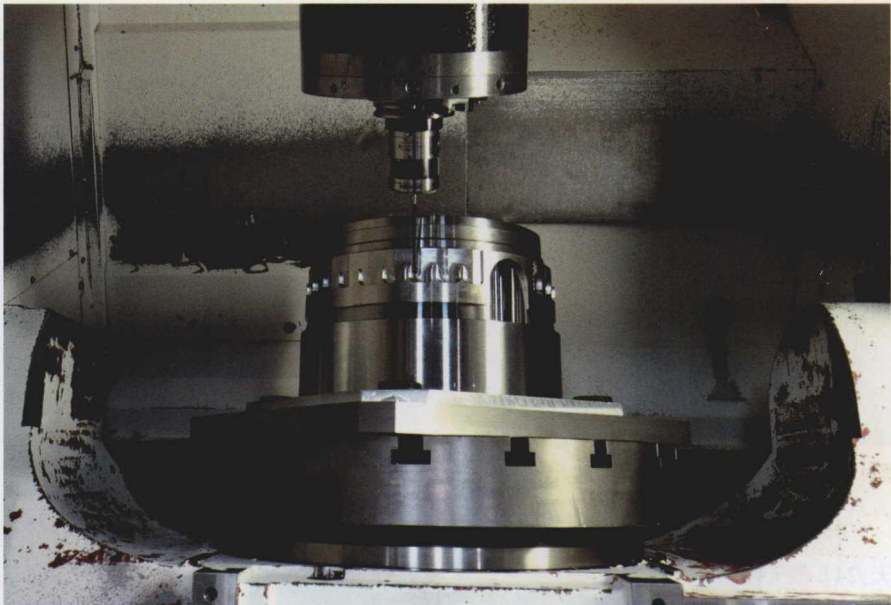


图4 ADEX在五轴加工中心、三轴铣床和大型立式车床的加工中使用测头进行在线序中测量，在保持良品率100%的前提下，使生产效率提高了25%~40%

中。他们为“Productivity+”提供了后置处理程序，并获得了CNC Software总部Mastercam制造实验室的测试支持，Barefoot还指导了ADEX的CNC程序员和操作人员如何使用测头编程模块及后处理（图2）。

CNC编程员Dean Shaffer-Johnson表示，此类架构件需要去除大部分的材料，使用Mastercam的动态加工技术可以通过

智能调整刀路运动，在切削时保持工件受力稳定，可大幅缩短加工时间并延长刀具寿命（图3）。

在2015年10月，包含在线测量功能的五轴加工程序以及3台五轴Mazak机床向ADEX的客户交出了满意的答卷。一个案例中，通过自动化序中测量，减少了加工过程中75%的停机时间。ADEX准备在工厂所有的五轴加工中心，三轴铣床及立式车削中心上都采用序中测量技术，预计在保证产品合格率的同时，可将生产效率提高25%~40%（图4）。

总而言之，许多航空航天制造工厂并没有为工程师和CNC程序员提供足够的时间进行制造过程的研究和开发，很多工厂认为“我们没有时间进行研发”，他们希望立即进行生产并尽快出货。上面的几个实例说明了制造过程研发的重要性，ADEX为工程师和CNC程序员创造了实验、分析、思考和创新的条件，帮助他们将不可能变为可能。其中的某些成果已经为ADEX带来了巨大的收益及未来发展的可能性。ADEX因此构建起低成本高效益的供应链解决方案，使其在当今充满挑战的全球市场中保持领先地位。MM

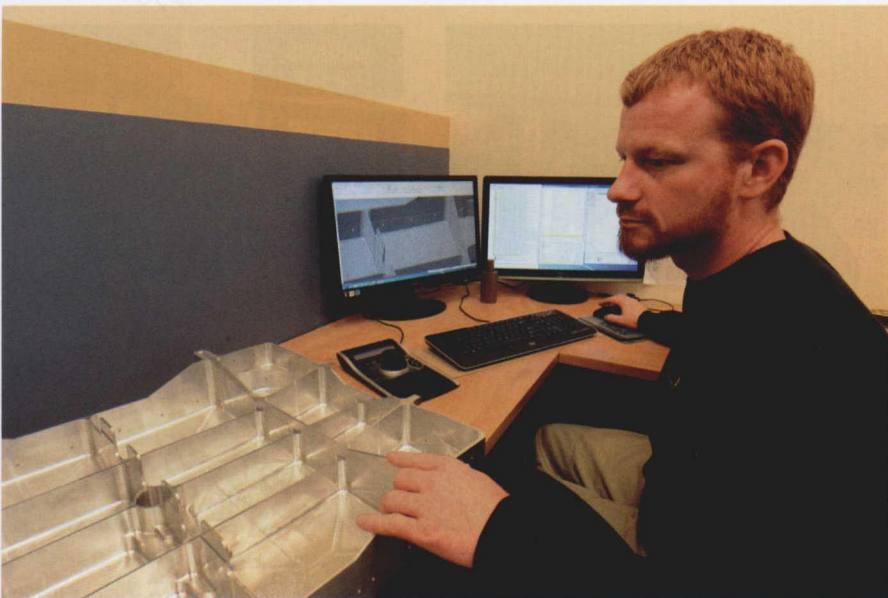


图3 Dean Shaffer-Johnson表示，此类架构件需要去除大部分的材料，使用Mastercam的动态加工技术可以通过智能调整刀路运动，在切削时保持工件受力稳定，可大幅缩短加工时间并延长刀具寿命