铣削加工

可维修CFK部件的移动式铣削单元

图1 移动式五轴铣削单元在数秒内即可完成结构性的维修任务，同时保持100%的质量和稳定的可重复精度

Ultrasonic技术产品特别适合于对纤维复合材料部件的制造和维修。除了固定式设备之外，一种移动式五轴铣削单元可以实现对航空、汽车工业上的结构部件进行经济性的维修和制造。

文 | Ralph Schiffler

碳素纤维复合材料或碳素纤维强化塑料（CFRP），正如航空技术术语中所指的那样，其强度很高、重量很轻，因此适用于制造轻型部件。CFK和GFK等材料在民用航空领域上的应用越来越普及，各主要汽车制造厂商也都在加工纤维强化的塑料结构件。而在风能技术领域，所有空气动力元件也都是由复合材料制成的。除了生产自身领域之外，在维修和保养过程中对受损纤维复合材料部件进行全自动和经济性加工的需求也日益增加。

对于这两种不同的应用场合，通过采用DMG MORI集团旗下的Sauer公司的Ultrasonic超声波技术装备和整体流程，可以实现对此类材料部件的高品质加工，达到良好的经济效益。该公司既可以对生产领域，也可以对维修领域提供移动式或固定式加工技术方案。

通过超声波振动方式对切割方向定向叠加

纤维复合材料的常规加工方法往往会由于刀具磨损严重而达不到所需的部件质量，或进给量太低而遭遇技术瓶颈。DMG MORI公司可以发挥出其Ultrasonic的技术优势。通过向刀具纵向轴传输定向超声波振动，可以显著降低刀具扭矩、延长刀具使用寿命并优化切屑破断和切屑排放。

通过超声波振动方式对切割方向的定向叠加，可以提高切割速度，并由此对材料的纤维进行很好的分离，从而达到提高生产率和部件质量的要求。由于切割力最多可以降低 40%，因此可以提升切割边缘的整洁程度并避免部件上产生纤维裂纹和分层。这对于典型的加工任务来说可以实现，例如 CFK、GFK 或 AFK 等元件批量生产中的修边、开槽或镗孔，对于单层多级刀柄的切入来说亦是如此。

DMG MORI 公司在开发新的加工技术方案过程中，对机械设备部件进行了优化，并对其专用技术（例如表面激光反射和测量及通过大气等离子对表面的清洁和活化）进行了集成。从中产生了移动式铣削单元和固定式加工中心，以便对批量生产的复合元件和 MRO 领域内的受损部件表面进行高效和灵活的加工或维修。

Ultrasonic 超声波技术已经由 Sauer 公司集成到 DMG MORI 公司的产品里。该公司也在标准化 HSK 刀柄的基础上，开发出了一种带有压电技术特征的特殊执行器。这种执行器可以灵活地集成其他与复合纤维材料相关的加工步骤，例如把表面激光反射测量系统或用于表面清洁与活化的大气压等离子技术装备，作为独立刀具自动集成到生产设备里。

图 2 移动式 Ultrasonic 装置的每个可调节真空支腿均可生成 256 N 的吸附力

图 3 采用一套带有回转圆台的 Ultrasonic 85 型 Monoblock 铣削单元对一件 CFK 材质的中等底座进行修边和镗孔加工

苛刻生产任务下的移动式铣削单元

DMF 260 linear 型 和 DMF 360 linear 型设备均配备了超声波技术装备。Ultrasonc 260 型和 Ultrasonc 360 型单元均得益于其刚性强、稳定时间长和热对称性能好的设计方案，这种设计可以实现设备长时间的精确运行。在固定式的 Ultrasonic 切削作业中，DMG MORI 公司在 A 轴台式结构，并结合 *B* 轴回转头的基础上通过这种技术框架，可以达到对复杂工件（如转子叶片）的动态五轴加工。此外，设备配备有封闭式加工区域、除尘与细粉尘监视以及热量回收等功能。防爆型过滤设备可以确保稳定的过滤效果。

最新型的飞机在其主结构上已经越来越多地采用纤维复合材料。整个承载面和机身构件均由超轻型碳素纤维制成。这给维护单位带来全新的挑战，因为常规的维修方法已经不再具有经济效益。迄今为止，对受损的纤维复合材料的维修均采取手动的办法，费时费力。例如，在很多情况下飞机必须被拖回机库里接受人工维修。这种方式的维护和保养需要持续几天至数周。航空领域正在寻找相应的技术方案，以便对 CFRP 飞机进行快速而高品质的维护。这是因为即使是在碳素材料年代，飞机在持续的运行当中，其外壳也会不可避免地受到损伤。

可调节的真空支腿

新型 Ultrasonic 移动装置恰好符合此类苛刻的应用场合。这种移动式五轴铣削单元确保在相同质量和相同可重复精度的前提下，在数分钟之内即可结构性地完成维修任务。由于设备的五轴动力性强，并设有旋转和回转轴，因此可以在 ±95° 的范围内对曲面进行加工。轻型铣削单元可通过其真空支腿实现简单和灵活的布置。此外，在维修工作中，移动式铣削单元可以根据不同的生产任务，高效地集成其他功能，例如在 CFK 元件上的镗孔，留空或开槽。

移动五轴铣削单元的每个可调节真空支腿均可生成 256 N 的吸力。标准型设备拥有 12~16 个真空支腿可供选择。活动球关节和 45° 可回转的支撑臂可以快捷地与平面（例如承载面），尤其是弯曲部件和复杂外形轮廓（例如机身框架

图 4 DMG MORI 公司在 Ultrasonic 技术方案中加入了一些专用型技术功能，例如表面激光反馈和表面激光测量技术

部件）相匹配。

由于轻型五轴铣削单元结构紧凑，重量只有不到 90 kg，因此可以直接架在受损部位上使用。框架、*X* 轴龙门、伺服电机罩、适配臂和 *Z* 轴滑枕等部件均采用 CFK 材料制成，因此对热伸缩并不敏感。

Ultrasonic 移动装置通常采用天车方式进行快速匹配，因此移动铣削单元可在数分钟之内固定在各种不同的表面上。一项新的方案研究工作正在探讨，采用轮式输送车辆或轨道方式的自动定位，由此可以实现 MRO 和生产任务的通用式自动匹配。

通过采用 Beckhoff 公司的 Twin-Cat 3 五轴控制系统，用户可以在 21" 多功能触摸屏上实现基于 PC 的简单操作。所设计的整体用户操作指南界面很友好，可以引领工人进行部件标识、损伤部位和加工任务的定义、工件表面的激光测量、一直到对最终 NC 文档的编制。把系统集成到现有的公司网络中去并对网络进行不间断访问，这些功能均属于标准配置。

点位激光扫描仪对工件表面进行探测

在加工自身准备工作方面，可使用已经与 CFK 应用场合进行最佳匹配的两种不同类型的激光器。点位激光扫描仪用于在 *Z* 向上对工件表面进行探测，而最多包含 640 点位的内置线性扫描仪则用于对表面进行 3D 反馈。这两种元件的安装和拆卸均可在加工任务结束之后的数秒之内完成。通过 *X*、*Y*、*C*、*Z* 和 *A* 轴的智能化动力构造，可以实现无限制的五轴同步加工。而通过对其重心的最优化设计，则可以达到很高的动力性。转速为 35 000 r/min 的大功率主轴拥有一个 *A* 轴回转头（±95°）并可被安装在一个 CFK 材质的 *Z* 轴滑枕上。MM

▲反馈服务编码M2955