超声波技术

超声波技术助力通用加工

超声波技术从前仅应用于陶瓷、宝石等特殊材料的加工，而今其应用范围进一步扩大到了通用加工领域。在钛和碳纤维加强型塑料两种工件材料的加工方面，超声波技术展现出的优势超出预期。

更多精彩请扫描二维码

文 | Peter Zelinski

如果说北美的大部分机械设备只需改作振动模式，性能就可以得到改善，这样的说法是否可信？美国国家工程集团总经理 Jeff Wallace 在与 DMG MORI 合作的过程中，发现这一设想可能并非无的放矢。DMG MORI 采用“超声波加工”技术，即以 Z 方向的高频振动驱动加工中心刀具进行切削，Jeff Wallace 所在的团队负责探索并改进这一技术。过去，他们使用特殊磨具进行超声波加工，但公司最近发现这种做法其实并无必要。他们将传统、通用的铣刀和钻头与超声波振动技术搭配使用以实现工艺改进，其中 6Al4V 型钛合金的磨削率提升了 3 倍。

图 1 主轴（蓝）上的固定感应线圈频率激发超声波加工头产生振动。图为使用超声波加工典型磨具进行加工，已有实践结果表明，使用传统工具同样有效

Wallace 认同“高速振动对生产有利”这样的说法与人们通常的想法相反。确实，无论从哪个角度看，这都与传统印象不符。首先，机床操作者普遍认为，振动会给切削作业带来不利影响。但 Wallace 指出，他们所使用的振动并不像共振那样无法控制，这是被动生成的，并且处于可控状态。其次，上述那些机床使用者还认为振动（即使是受控的振动）会损伤主轴轴承。但 Wallace 指出，事实并非如此，因为 DMG MORI 采用刀柄状工具驱动刀具运动，使得刀具的运动不会接触到主轴。

最后，切削作业中的振动似乎会损伤刀具，特别是铣刀。切削时刀具快速升降对刀刃的影响应该和气锤类似，这是否会影响刀具的使用寿命？ Wallace 给出的答案是“不会”，因为这和“锤击”并不相同。在超声波加工过程中，刀具的振动幅度很小（$\leqslant 10\mu m$），因此刃口始终在切削材料内部，且其力度和深度保持相对稳定。因此这种方式不但不会损伤刀具，反而能够延长刀具寿命。为

图 2 超声波加工中心也是全能型传统加工中心。Wallace 表示，此类设备多将超声波头嵌入零件主轴进行传统的金属切割作业，这项功能在各类作业中应用最为广泛

什么会产生这样的效果，当前还无法确定，但从工作原理上看，可能是振动可以防止材料与刃口发生微焊接，因而起到了保护刀具的作用。所以，振动与锤击截然不同，它对加工大有助益。

Wallace 介绍说，客户可以按照自身需要自行选择超声波加工的主要功效。“客户可以在切削条件不变的情况下，使用超声波技术提升刀具寿命，也可以保持刀具寿命不变，在使用期限内加大高难度切削作业密度。”在收效最为明显的钛合金领域，使用超声波技术后，刀具寿命提升幅度为 200% ～ 400%，若保持刀具寿命不变，则金属磨削率提升幅度为 200% ～ 300%。

此技术由德国 Sauer 公司（被 DMG MIRO 公司收购）首创。Sauer 公司最初开发这项技术时，是为了加工陶瓷、玻璃及宝石等传统手段无法加工的硬质、脆质材料。使用带有金刚石磨料的刀具以超声波振动方式加工这些材料，可以实现精确、高频磨削加工。从前无法加工的材料现在可以实现精密数控加工，这大概是超声波加工技术最大的价值。

但最近对该工艺进行研究时，DMG MORI 公司美国的工作人员在超声波加工中心上使用标准刀具，研究其效果。他们发现，在适当的条件下，加工流程得以显著改善。

实验是在约 2 年前开始的，从实验开始，该公司就将各种加工应用的流程改进情况记录在案，并针对传统加工和早期磨削加工力度较大的情况设计了超声波专用头。因此，现在在用于加工稀有及特殊材料的同时，可以在独立设计系统中使用该技术进行一般加工。Wallace 指出，尽管将这一技术用于一般加工的创意尚未普及，甚至让人觉得很奇怪，但考虑到其潜力，他认为该技术必定会大规模应用于某些领域。

他说，这项技术也有其局限性，它更适用于硬质金属。“如果用它来加工 1045 钢，恐怕很难有什么作用。”即使用它来加工硬质金属，效果也因情况而异。使用超声波技术加工 718 镍合金时，刀具寿命的延长比率仅为 5%，效果远远不如钛合金。但是这种技术能够大幅提升镍合金的机加工表面光洁度。在不同条件下，采用超声波技术加工不同材料究竟能取得怎样的效果，还需要进一步研究才能明晰。

此外，振动头的物理特性也限制了这项技术的应用。切削工具的重量不同，需要的振动驱动力自然也不同。Wallace 说到，目前，6 in 长、直径为 3/4 in 的碳化物刀具几乎已经达到超声波加工技术能驱动的极限。事实上，使用这种型号的刀具时，需要装配该公司新近研制的高功率振动头。未来，可能需要开发更高功率的超声波头，才能满足该技术的进一步发展要求。

与此相对应的是，超声波加工技术的可用领域越来越广。Wallace 指出，碳纤维加强型塑料（CFRP）就是其中之一。当使用超声波技术加工用于飞机和赛车上的碳纤维加强型塑料时，可以避免材料分层，而此前分层现象是这一材料应用过程中十分常见的问题。Wallace 认为，超声波技术之所以能够消除分层现象，是因为其切削模式与其他技术不同。这一技术采用上下往复振动的方式改变了切削机理，刀具旋转时刃口动作更像是以微型锯切割材料纤维，而不是撕裂式的切割。

他介绍说，这项技术还有一个有趣的应用领域，就是增材制造。DMG MORI 有一项独特的技术，其“组合”机床能够实现在同一台机器上进行数控加工或增材制造（即 3D 打印）。制造厂商可以使用该机器，以增材制造的方式加工应用传统方式难以有效切割的金属合金。为此，他们使用了超声波技术，使得机器可以加工增材金属。Wallace 说，这样做的结果是，机器的性能超出了“组合”机床的最初设想。他补充说：“它更像是一台‘超级组合机床”，因为这台机器将三种加工技术组合到了一起，而不是仅仅使用了两种。”MM