齿轮加工

多轴机床上的精益滚齿制造

灵活的机床让齿轮制造商有能力提供超出客户期望值的部件质量、精度和交付周期，同时还有额外的设计效益。

文 | Matthew Jaster

滚铣是一种金属切削方式，操作时工具（滚刀）和工件同时旋转，进而生成轮齿。通常在专用的齿轮切削设备上进行，但是通过使用多轴机床，这一过程已经变得越来越普遍。把流程整合在一台机床上完成，设置时间减少的同时，可以定制机器使之适应各种不同的制造作业，例如车削和铣削等。这让齿轮生产商能提出新的创造性方法，实现流程标准化，同时降低每个部件的成本。

W.M. Berg 是美国 Rexnord 集团的一个部门，其总部位于威斯康星州的密尔沃基，为了找到更新、更有效的生产齿轮和螺旋齿轮的方法，这家公司 5 年前就重新评估了滚铣操作。据制造工程师 Ted Schmidt 说，公司在 IMTS 2010 期间就开始研究多轴工具：“我们对能使滚铣刀装在机床内部车削、铣削以及换刀装置感兴趣，我们也想让设备适应当时 Rexnord 正在进行的精益流程和设备改进需求。”

图 1 机床程序员 Jim Reif 改变了 DMG MORI NT1000 上的滚刀，实现了 70 多个工具对不同种类部件进行加工

在全公司范围内推行精益生产，W.M. Berg 集中于把设备带到车间，在无人值守时运行，提供一个稳定可重复的流程，减少普通机床滚铣齿轮加工时所需的大量设置。单个部件的成本和机械性能是决定什么最适合客户不断变化需求的关键因素。

W.M. Berg 的生产经理 Frank Gentile 说：“我们不断把业务向提供专业工程解决方案转变，我们的客户有独特的齿轮设计和应用需要，而我们需要灵活的设备以满足这些需求，不管是正在生产 1 个还是 1000 个齿轮。当成功地满足了客户的高质量要求时，我们总有一种想要超过他们预期的冲动。”

公司研究了专用的滚铣设备与多轴机床的优缺点之后，马上决定从 DMG MORI 购买了 NT1000 车铣复合机床。W.M. Berg 迫不及待地使用这项技术来生产齿轮，但是 Schmidt 说：“安装在车

图 2 在 W.M. Berg 决定与多轴机床一起使用专用齿轮铣刀时，灵活性是关键因素之一

间后才发现这台机床还有别的优势。”

精密部件传统

作为一家位于纽约长岛的家族企业，W.M. Berg 于 1967 年就开始把重点放到了工程和应用支持业务上。这些年来，公司已经成为一家小型精密机械部件的供应商，包括齿轮、变速箱、链齿轮、链条、轴承、离合器等等，不断地占领了市场。公司生产的精密部件被用于医疗、航空和通信业等各行各业。这些部件的直径从 0.25 ~ 16 in(1 in = 25.4 mm)，批量有大有小，从一件到几千件。

搬到威斯康星州编入 Rexnord 特殊部件部时，公司重新评估了其滚刀操作。W.M. Berg 开始在位于伊利诺斯州 Hoffman Estates 的 DMG MORI 设施上试运行 NT1000，Schmidt 说：“这台机床设置时间的减少从一开始就是一个重要因素，试运行生产的部件被认可后，我们就马上就决定购买设备，并在很短的时间内生产出 AGMA 10 级质量的齿轮。”

多轴的优势

“当 W.M. Berg 向我们推荐他们的应用时，我们考虑使用一个机床平台和一个多轴平台来加工部件。”DMG MORI 齿轮业务产品经理 Nitin Chaphalkar 建议使用 NT1000，因为它具有配有送料机和第二旋转轴的集成自动化功能，Chaphalkar 接着说：“该机床适合这种应用，因为它能让 70 多种工具和滚铣刀来加工客户所有的部件，*B* 轴最小可以调节 0.0001°，这让 W.M. Berg 可以实现从滚刀 1 向带有不同螺纹升角的滚刀 2 的无缝变换。”

Schmidt 说：“最终决定选择多轴机床归根结底是因为它的灵活性，在专用设备上也可以用来生产高质量的齿轮。”Schmidt 认为 NT1000 的独特性能最能满足他们的需求，“例如，客户要求把齿轮的孔变小 0.0001 in 时，需要在专用的齿轮刀具上安装新的夹具，而有了这样的机床，我们只需简单地调整程序就能实现”。

部件质量也是一个因素。NT1000 先滚铣，然后再钻孔，也就是说，所有关键操作都是在相同的夹具下完成的，这保证了良好的几何公差。一切都是在单一工序下完成的，没必要更换夹具。“使用这台机床，你能在更大范围内控制机床流程。”Schmidt 补充道，“比你在专用齿轮切割设备上见到的变量更少。”此外，工具成本也降低了。工具是定制的，但是公司可以把滚铣刀换成现成的硬质合金滚刀。NT1000 随时都装有 8 个滚铣刀，可用的刀位共有 76 个。滚铣刀比老式齿轮铣刀上的工具使用寿命更长，打磨后寿命也更长。

购买此设备的另一个重要因素是设备的自动化功能。Schmidt 说：“W.M. Berg 无法承受把生产期间有凹陷或者刻痕的部件直接扔进桶里，机床上倾斜的第二根轴可以让部件加工完成后出来，无需任何再加工。”

在无人值守或者最低值守 24/7 的情况下运行机床，稳定可重复的过程已经帮助公司解决了苛刻的客户需求。“如果在本周末得到订单，并且客户下周就要交货，我们在周末运行机床就可满足客户要求。”Schmidt 说，“这得益于机床的远程监控能力，最后 1 min 的要求更易于管理。”

远程监控的好处

按照数控机床程序员 Jim Reif 所说，DMG MORI NT1000 是 W.M. Berg 车间第一台应用远程监控技术的机床，但绝不是最后一台，他说：“这台机床运行 24/7，并且可以在周末进行监控。这保证了一切运行正常，而且能看到机床运行到哪一特定程序，对于生产复杂部件大有裨益。”

DMG MORI 机床装有 WAPPS 控制

图 3 W.M. Berg 搬到了位于威斯康星州密尔沃基的 Rexnord 特殊部件部门，开始从生产力的角度重新评估它的滚刀操作

装置以及 MTConnect 适配器。这给客户提供了一个即插即用的解决方案，对于密切关注车间运行状况至关重要。如果轴超负荷运转或者机床有需要立即关注的紧急情况，手机上的机床更新信息就会通知 Reif 先生。

在办公室监控 NT1000 时，他可以在台式电脑上下载机床的全部历史记录、周转时间和停机时间报告。“过去我无法知道发生了什么情况，除非我站在机床前看着它，通过 24/7 全天候密切关注作业情况，我们真正减少了停机时间。”

下一步是在 NLX2500 上安装同样的远程监控设备。Reif 认为，采用多班工作制（晚上和周末）的工厂都能从远程监控上受益。他回忆了他得到这套系统的那天，“我坐在电脑旁工作，一位操作人员拍打我的肩膀问机床为什么不运转了，而我却不知道机床已经停了，这真的让我措手不及，我再也不想遇到那种情况了。现在我们加工车间有了这项技术，我确信不会再发生这样的事情了。”

部件的精度和可重复性是另一重大优势。“尽管你使用部件的时间还不到 1 个月或者 6 个月，但是它通常很规范。只需调整孔的大小。”Schmidt 说，“自从 5 年前我们开始使用这台机床以来，从来没有任何部件的精度下降过。”

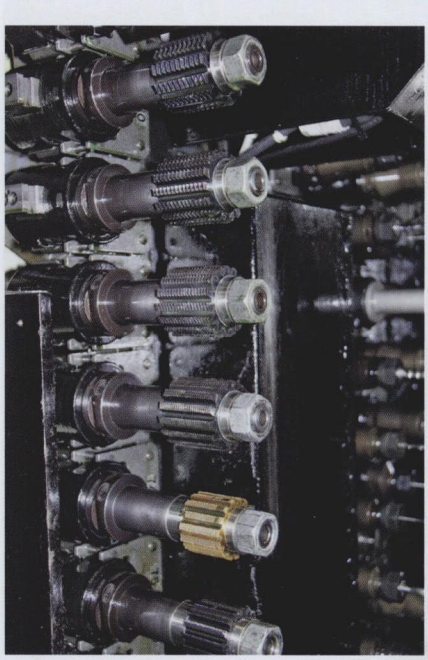

图 4 多轴加工让公司能够对其流程进行标准化，并在生产螺旋齿轮和正齿轮时减少了设置

图 5 NT1000 适合客户的各类部件需求，形成一个提高准时交货率的精益滚铣工艺流程

除了帮助公司更快、更高效地生产高品质的齿轮，NT1000 在推动其改善内部质量方面也发挥了重要作用。Rexnord 业务系统（RBS）部门拥有 28 个核心业务流程，其核心是精益生产、六标准差和持续改进。RBS 的主管 Brad Pockat 认为，产品能以前所未有的速度送到客户手上，这归功于 NT1000。“使用专用的齿轮切割设备时，我们的按时交货率是 90% 左右，如今，使用多轴机床，我们可以按时满足 98% 客户的需求。无论何时你们购买提供车削与铣削性能更灵活更高效的加工方案，它都能让你在未来的业务占据极为有利的地位。”

创意设计的好处

在 NT1000 上创造出一个精益滚齿加工工艺时，公司工程师在实际应用后立即给公司带来了其他好处，生产各类部件的优势已经帮助公司扩大了产品种类。仅仅是 NT1000 每天就能生产种类多样的齿轮和离合器。

尤其是光束耦合，完全是由机床生产制造。Schmidt 说，普通机床生产不了这样的部件，他认为得 4 台专用机床或者专门生产特殊部件的 4 轴机床才能生产这种部件，同时相信设计工程师真的局限在自己的想象力之下了。

由于齿轮和离合器数量在未来可能会发生变化，工程师认为多轴机床比专用设备更适合这种加工。“我们可以从生产 1 个齿轮开始，到生产 1 个离合器，再到生产要求在同 1 天进行多次打磨的部件，这些复杂部件很难制造，实际上，用一台机床上生产不同尺寸和配置的部件真是一大优势。”下一步，公司计划讨论螺旋伞齿轮的理念。“NT1000 和 NLX25000 目前都有完整的生产计划，但我们乐于进军齿轮行业的其他领域。”Schmidt 说。MM