刀具

齿轮制造
兼顾高度灵活性和高生产率

铣削齿轮的方法既要先进，又要简单，它需要提供高度的灵活性，并同时实现高生产率。在齿轮制造中，Invomilling 是改变局面的最新技术，在齿轮铣削中通过编程控制进给来代替成型刀具加工齿轮。

文 | Christer Richt，Aaron Habeck

一家齿轮制造公司定位自己："我们加工的很多齿轮都是根据客户的具体要求而生产的，客户可要求只加工一个有特定要求的齿轮，或一批齿轮，也可要求提供一套传动解决方案。我们最经常处理的是小批量生产，即加工 1~100 个零件，但也有全年生产几千个齿轮的订单。按照行业规范，这些产品到目前为止，我们的主要目标是为各种行业的应用场合提供订制的独特的齿轮制造刀具。利用反向工程能力，精确地确定磨损了的未知齿轮是怎样设计的，然后快速地制造出来。灵活性是我们的商业理念的一部分。"

事实上，生产中的通用性一直很难与高生产率结合起来。必要的灵活性则意味着每次根据需要加工不同齿轮都需要使用新刀具，并且每次都需要根据新齿轮对齿轮加工机床进行编程。

获得齿轮加工灵活性的一个新的途径是基于多轴车铣机床的创新铣削方法：即 InvoMilling 加工方法（图 1）。这是一种由山特维克可乐满开发的工序系列，在与 DMG MORI 等众多公司的合作中正在投入应用。DMG MORI 公司需要一种替换当前市场上主要应用的，专

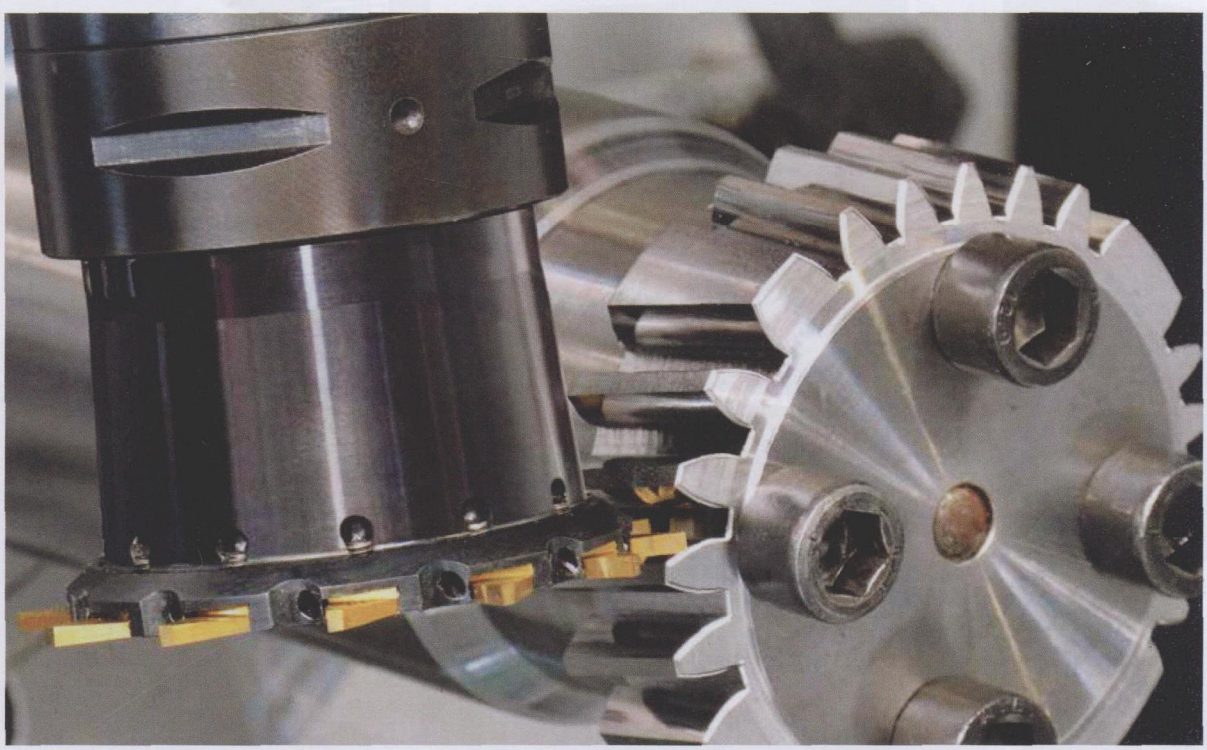

图 1 Invomilling 是齿轮加工领域的一项创新，其通常在标准的多功能机床上采用现成的切削刀具进行加工

门化的、相对慢的柔性齿轮制造工艺的方法。这种创新的多轴解决方案是基于先进、但操作简单的切削策略。该策略是在标准的多功能机床上利用现成的加工直齿轮和斜齿轮的切削刀具直接加工，而不是采用滚齿的方法。

新的 InvoMilling 多轴加工方法是通过使用标准的盘形铣刀和标准的专用面铣刀，制造直齿轮和斜齿轮的柔性生产的方法。通过 *X* 轴与 *B* 轴或者 *Y* 轴与 *B* 轴联动，切削刀具沿着渐开线路径进行加工。

InvoMilling 方法可以使用专用的铣刀 CoroMill 161 和 CoroMill 162 铣削直齿轮和斜齿轮。通过 *X* 轴与 *B* 轴或者 *Y* 轴与 *B* 轴联动，切削刀具就能沿着渐开线路径进行加工。因此，齿型变化应与刀具路径相一致。

就这个用途而言，车铣型机床是理想的机床。即在 DMG MORI NT 型机床上就可以采用新方法。这种多轴铣车中心能够同时进行铣削和车削。柔性的 *B* 轴的旋转范围为 ±120°，由于采用直接驱动电机，所以获得了高速度和高精度，分度能力为 0.000 1°，它已经证明能显著地缩短加工时间，特别是在同时使用 5 轴加工来加工复杂零件时。滚齿是在机床上执行的一种工序，以及与传动箱有关的一些其他类型的零件有关的工序。但是，当生产许多不同类型和小批量齿轮时，滚齿并不是最佳的解决方案。

当今，如果一个加工车间打算投资购买数控机床，那么 InvoMilling 软件是一种很方便的选择方案，因为车铣机床可以用于直接加工齿轮。我们为各种模数范围提供了齿轮加工套件，每个套件内都有用于几个模数的三把刀具，有了这些套件，就可以很容易生产很大范围的齿轮，因而获得了极大的灵活性，能满足特别严格的质量标准要求。

InvoMilling 方法将槽铣和车铣工序组合到一起（图 2）。采用相同的刀具能够加工任意螺旋角的齿轮，包括渐开线和非渐开线轮廓。具体的切削次数取决于齿轮尺寸和所使用刀具的尺寸。InvoMilling 法可以发挥现代机床控制和数控机床的高精度的作用，从而可以加工精磨削所需的精密齿轮以及半成品齿轮。最新开发的刀片材质还可应用更高的切削参数，从而获得最佳效率。

采用这种方法，还可对轮齿外径倒角，以及在齿根加工不同的凸角、齿廓和半径。每次切削作用的切屑横截面小，没有所说的侧压力，因而，可将振动倾向降低到最低程度。

例如，在加工外直齿轮的齿槽时，首先应沿工件的轴方向铣削槽。为了进行随后的切削，齿轮需稍微旋转，与刀具的同步径向插铣相互协调。其结果是通过车铣获得渐开线曲线形状。对于较大的模数，可能需要更多次的切削。

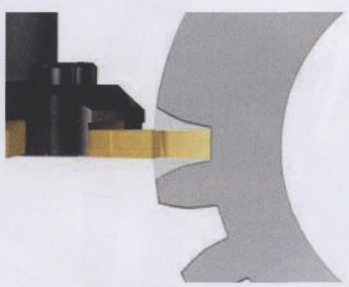

图 2 Invomilling 方法将槽铣和车铣工序组合到一起。采用相同的刀具能够加工任意螺旋角的齿

由于每个 InvoMilling 刀具覆盖了几个模数尺寸，所以，在小到中批量生产中，InvoMilling 法降低了加工成本，例如模数 2~4 可以使用相同的刀具进行加工，模数 2~12 则可使用三种刀具。迄今，采用 InvoMilling 法铣出的最大齿轮模数是 18，直径为 800 mm，这对齿轮加工缩短交货期、降低成本具有明显优势。

现代可转位刀片技术使新方法获得了成功。采用 InvoMilling 法，齿轮齿的质量可到达 DIN 3962 6 级或以上。此外，在有足够刚性的机床上，正确应用刀具，可以达到比 *Rz* 3 μm 更好的表面粗糙度。采用精确的刀具路径和精密刀具的 InvoMilling 法可以生产出很有竞争力的高质量齿轮。依靠这种方法，可以生成各种齿轮磨削余量。这种方法的低切削力可以使切削时运用更高的切削参数，并同时保证小公差所需的精确齿廓。这些优点与这种齿轮加工方法的灵活性相结合，这就是所涉及的制造方法获得成功的因素。

铣削刀具使用的标准的硬质合金刀片在机床外很容易转动一个位置，也很容易保存在刀盒内。加工模数为 4~10 的，齿数小于 30 的齿轮的 InvoMilling 周期时间可以与使用高速钢的单滚齿相比。由于许多工序可以纳入到多任务中，齿轮可以在一次机床装卡内完成加工，其结果是缩短了交货时间和更换产品时间，从而具有可在生产过程中临时插入产品优势，有利于单件、小和中等批量齿轮的柔性生产。

因此，即使制造齿轮本身的周期时间长于使用滚齿的时间，但却缩短了总体制造时间。最后，由于无需等待制造专用刀具的时间，仅作一次新的装卡就可以开始生产了。MM