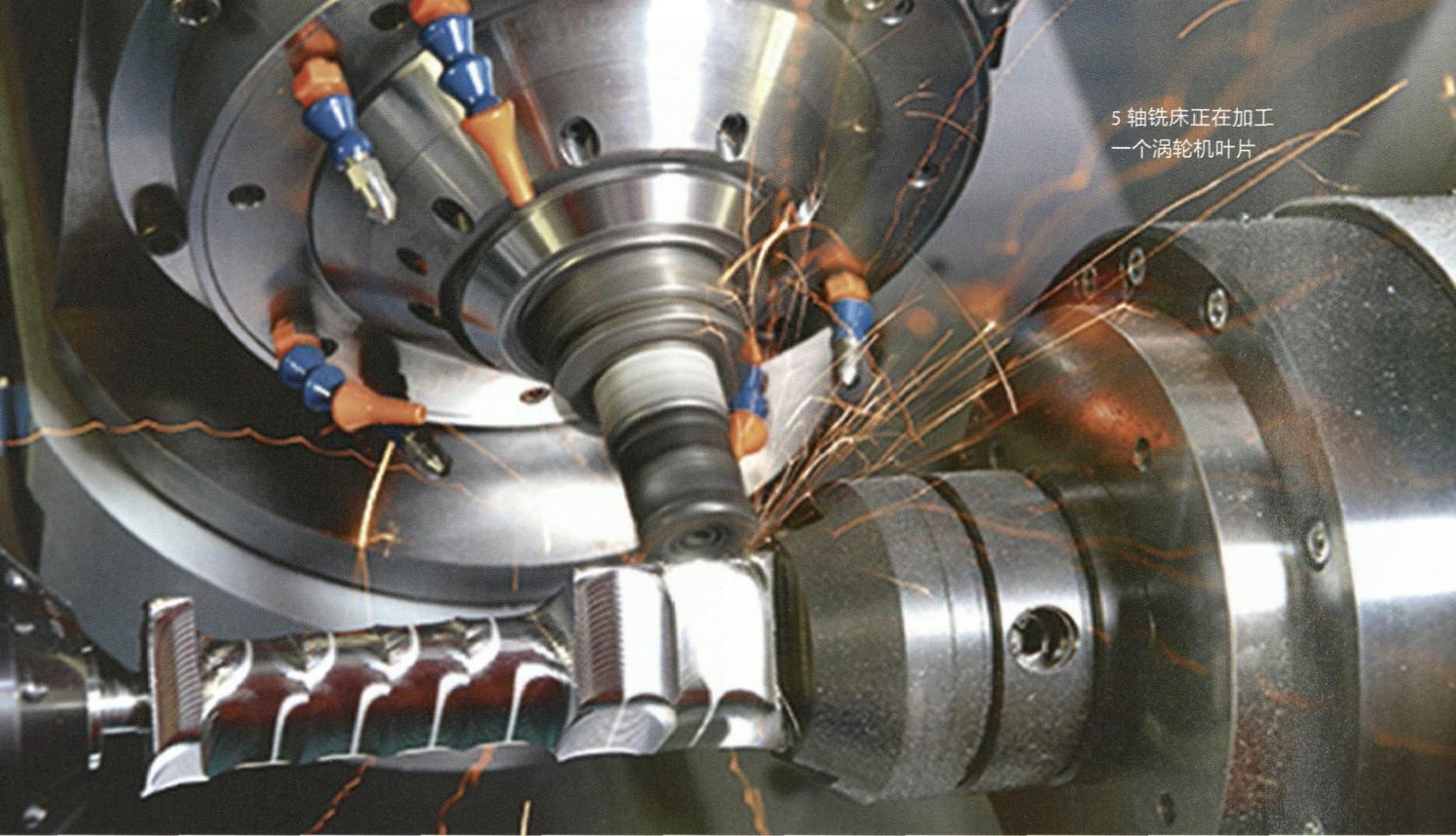




5 轴铣床正在加工  
一个涡轮机叶片

工艺

# 选择正确的加工工艺

不同切削工艺之间的界限变得越来越模糊了，如新开发的高速铣削工艺或者深磨削工艺扩大了应用范围。由此也可能导致一个或者更多的工艺被取代，从中，人们也认识到，铣磨复合加工是最佳的解决方案。

文 | Markus Stanik

**至**今为止，不同切削工艺之间的界限很清楚：铣削是以铣刀为主去加工工件表面，表面这种方法叫铣削或者车削，其材料去除率高，但精度要求不是很高。

相反，磨削不以刀具作为主要加工工具来加工工件表面的，磨削是利用磨具对工件表面进行加工，适用于精加工，可加工硬度较高的材料，如淬硬钢等，加工的表面质量好。由于最近几年技术的迅猛发展，使这种界限变得越来越模糊了。比如最近流行的高速铣技术，用高速铣加工的表面质量与磨削加工的表面质量已经非常接近，也可以经济地加



图 1 加工系统对于切削的影响

工淬硬材料。

磨削加工也具有同样的发展趋势。新型高效率深磨加工法的材料去除率与铣削或者车削几乎相媲美。这就导致了最佳的加工工艺的选择显得更加复杂和严苛了。

那么，究竟应该依据什么标准选择加工工艺呢？有很多不同的说法。但是有一点是肯定的，亦即所选择的工艺必须符合工件必要的技术要求。然后才能考虑选择的标准。另外，员工的技术知识水平也起着决定性的作用。只有经过培训的且熟悉这项工艺的员，才能使所选择的加工工艺实现最高生产率。

还有很多因素影响加工系统（图1）。加工参数和刀具的最佳调整非常重要。这些不仅适用于车削或者铣削，也适用于磨削加工。除此之外，冷却液的选择必须符合相应工艺，因为在加工过程中，有可能出现部分是铣加工和车削，也有可能是干式加工。还要考虑磨削工艺的参数，如冷却液喷嘴的准确调整和全部修整过程。

## 修整使刀具重新获得最佳状态

工艺的选择有机遇也有风险。借助于修整过程，刀具的几何图形可以重新被修整精确。在铣削和车削过程中，刀

具将会受到磨损，其加工结果显然是负面的。磨削过程中的磨具通过修整，磨具将重新成为有锐性的最佳磨具。由此会导致加工等级的形成，当受到磨损的钝刀具通过时导致等级降低。修整也会导致新的几何图形很容易地形成。如果必须用成型铣刀产生几何形状，那么几何形状会产生小的变化。这时必须要一把新的铣刀。在磨削过程中，通过NC修整器的帮助可以使磨具获得几乎任意的几何图形。短时间内生成出新的几何图形，没有费用的支出就获得了新磨具。

决定性选择的标准界限应该是指加工工艺的经济性。一种工艺可使生产成本戏剧性的减少，这当然最理想的。在衡量经济性时，所有的成本都必须要考虑进去。仅简单分析加工时间往往不够，因为工艺的不同，其刀具的成本也不一样（大多数磨具价格比铣刀和车刀便宜）或者冷却液（不同冷却润滑剂的回收成本要进行比较）。除此之外，还要考虑机床的安装面积，耗能量和维护成本等。

为了能够解释清楚，下面列举加工实例进行说明。一个非常复杂的零件就是飞机或者风力发电涡轮机的叶片。加工这类工件有很多不同的加工战略。在过去的几年，5轴高速铣的出现为此做出了贡献，通过铣削工艺使精确的工件

获得了理想的加工表面质量。在 Hamuel 的 HSTM 机床上加工的涡轮机叶片。由于技术的不断优化，实现了好的表面质量和高的材料去除率。新型夹具使涡轮机叶片实现了一次装卡完成全套加工。

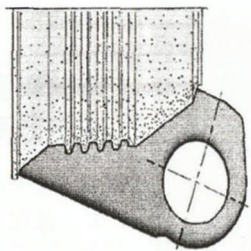
这个应用领域不可忽视的重点是工艺流程的经济性。特别值得注意的是涡轮机叶片材料，越是难切削的材料，越要注重检查刀具的磨损状况。新型钛铝合金材料较难切削，采用指定的刀片加工非常困难，相反，磨削加工更为经济。标准的涡轮机应用的工件则可采用经济的铣加工。

另外一个加工实例是履带汽车的链节加工。这里涉及到一个齿轮形式的几何图形，其上部分与下部分精密相连，原材料的加工余量为4mm。加工者采用的方案是，首先采用铣加工，然后再进行磨削工艺。这种方式不是特别的经济，所以人们继续探讨研发，是否这种部件只能采用一种加工工艺。

## 复合机床的优势

与推测相反，人们最好铣削加工部件，再转换成磨削。为此 Elb-Schliff 公司采用了一种专业加工工艺，其磨削过程获得了与众不同的高材料去除率。同时必要的精度也得到了保证。在技术框架条件内（图2），充分利用磨削的专业优势。采用这种方法无需铣削用昂贵的成型刀具或者低效率的系列刀具，而修整工艺使机床产生任意的工具几何图形。也就是说，所加工的齿轮几何形状直接通过砂轮而形成。这对于加工是很大的提升。通过在机床上安装的刀具更换装置，使粗加工和精加工的砂轮变换使用。

也不总是一种工艺被另一种工艺取代。一些工件采用复合加工更有优势。应运而生的 Millgrind 系列机床可以满足市场需求。Millgrind 系列机床集中了两种工艺的的优点，为经济加工做出了决定性的贡献。这里特别要强调的是整体加工时间和装调时间，如果部件在复合机床上进行铣削和磨削，



### 解决方案

工件夹紧：2-4 工件在 1 个夹紧装置上

加工方法：深磨削 CDCF

砂轮：刚玉砂轮，砂轮  $\phi 650 \text{ mm} \times 320 \text{ mm}$

主轴驱动功率：196 kW

加工余量：宽裕

### 结果

磨削时间：7 min 4 个工件

单件重量：1.25 kg

图2 深磨加工具有很高的材料去除率

复合机床只需要一次装卡，那么就减少了一次装卡的时间。另外，据新的研究报告指出，整体的加工时间也得到明显的缩短。因为减少了单台机床的静止时间。另外的正面效果是部件的质量好，其质量因素取决于一次装卡的优势和相互之间的最佳的匹配，避免了换装夹紧时产生的误差。

铣轴可转换成车削工具

图3 ~ 图5显示的是ELB GantrylineRT。该机床的成功使理想



图5 换刀装置增加了复合机床的灵活性



图3 复合机床 GantrylineRT 磨削加工

变成现实。工件一次被装卡到圆形工作台上。机床龙门的下部分分布的是不同的加工工位。在这种情况下，是2根磨削主轴和1根铣轴。模块化的方案使不同的工艺和主轴的数量复合到一起。

通过图3可以看到，一根主轴也可以作为回转轴使用。这种设计方案的优点是高精度和高经济性，当然需要在机床上安装一套刀具变换装置。

通过 HSK 接口，铣轴也可以变换

成车削刀具。这样机床也被转换成车削加工过程。在车削过程中，铣轴被机械锁紧，轴承卸载加工力。这种复合式加工机床适用于复杂和重型的有高精度要求的部件加工，为精密和经济加工迈出了一大步。

从这里就可以看出，切削工艺的领域的界限越来越模糊了。除了定义清晰的加工任务，这其中或者只采用一种工艺或者由其他工艺代替，由于技术的发展进步，过渡应用范围将更为广泛。所以对于应用者更难做出决定，选择什么加工工艺正确或者对于未来的部件加工哪些工艺正确。

铣削和磨削工艺复合应用范围广泛

对于一个企业的核心问题是，其加工战略怎样才能保证经济和优化的持续发展。Elb-Schliff 公司新开发的 Millgrind 系列机床集成了多种方案的优势，可以满足用户的要求。各种不同的加工工艺集成在一台机床里并可以灵活使用。在这里与选择什么加工方法正确与否无关。我们的回答是铣削或者磨削，磨削或者铣削。[MM]



图4 复合机床 GantrylineRT 铣削加工