磨削

优化耐高温材料加工的磨削工艺

磨削往往是最后一个加工步骤并在很大程度上决定了部件的质量。为了对飞机传动装置的耐高温材料进行可靠的加工，必须把工艺调节参数、磨削刀具和冷却润滑剂匹配好。

文 | Gerd Trommer 和 Holger Gröning

制造更加经济型的飞机，不仅是一个对不同部件作出正确选择材料的问题，它也涉及到在选择材料之后如何实现最佳的加工工艺问题。在涡轮制造方面则存在着很多以镍和钛合金为基础的耐高温材质的部件。除了传统的此类材料之外，还有一些被开发出来的新的或经过改良的材料，以提高转动装置的效益。

磨削是最后一道加工工序

目前最具应用潜力的当属钛铝交叉合金材料。很多此类高效材料在今天已经无法通过特定刀具接受切削加工。因此，在大多数情况下磨削成为了唯一可行的加工工艺，至少它是在包含着很多不同加工步骤的很长的加工链上的最后一道工序，并对所加工部件的质量、安全和寿命负责。但是，此类高效材料的工艺窗口越来越窄，这也使得磨削技术面临新的挑战。例如，采用了错误的磨削工艺就会导致磨削起燃，从而使部件在使用过程中过早失灵。

磨削即是采用外形不确定的刀具进行的切削，它如同任何切削加工一样，首先是一种成型作业。在切削成型过程中所需的能量有一部分在磨粒和工件之间的接触区上转化为热量。这部分热量由冷却润滑剂带走。冷却润滑剂越好地到达磨盘和材料之间的接触区的话，热量排放效果就越好。但是，仍然会有一部分热量进入到磨盘里。颗粒材料的类型不同，热量排放效果也不尽相同。例如，钻石是非常好的热导体，可以很好地排走热量。在很高的热负荷下，它也可以石墨化。此外，大部分热量还可以进入到工件里，同时小部分热量可进入到切屑里。

为了使磨削过程实现最大的生产效率（加工时间短），磨削作业人员力争达

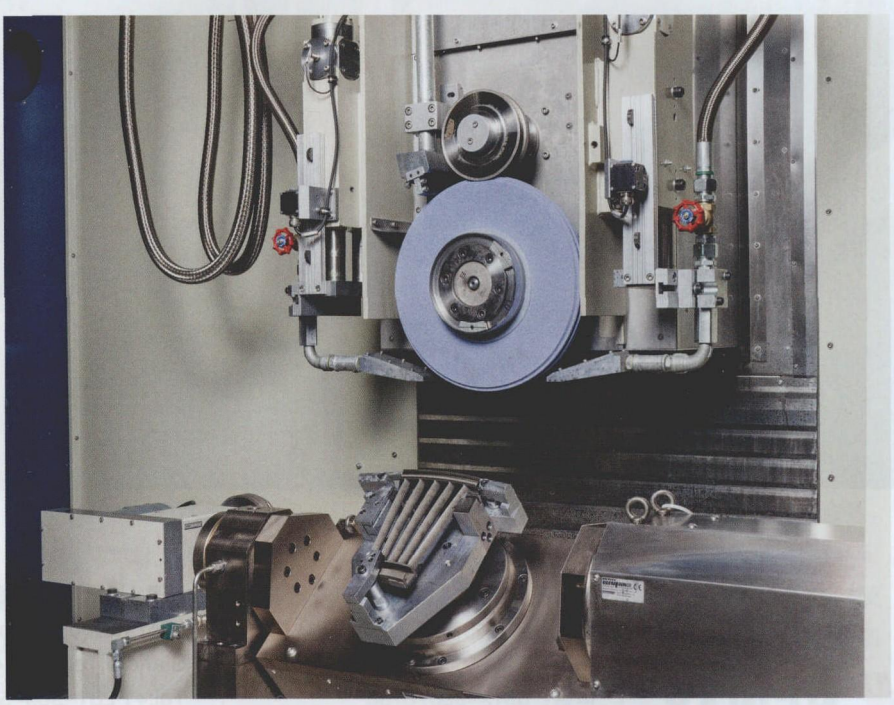

图 1 在加工涡轮导向叶片时，与生产同步进行的校准工作可以提高磨削加工中心的生产效率

图 2 由于需要采用五轴内插加工，涡轮导向叶片的加工向软件系统提出了很高的要求

到最大的单位时间切削量 Qw。随着 Qw 加大，切削力也在增大，因此磨盘的径向磨损也会加剧。这会对温度、粗糙度和公差产生不良影响，在极端情况下也会造成磨削起火，从而破坏材料的组织结构。

磨削过程优化

磨削过程如何优化？如何实现和哪些参数将会影响过程优化？Elb-Schliff 和 aba 公司的磨削技术专家通过对新型材料的研究对此类和其它问题进行系统探讨。这里表明，根据方程式 Qw=vw × ae（vw 工件速度，ae 切削深度）可以提高工件速度的数值。这虽然可以降低切削力，但这也将会略微加大径向磨损程度。在时间上没有任何变化，因为 Qw 为常量。

只带来轻微的拉伸内应力

在后续的试验过程中，两家企业的研发人员对进刀量进行变动，而在单位时间切削量保持恒定条件下，工件速度（工作台推进速度）降低。这里可以看出，当工作台推进速度较低时，会产生较高的拉伸内应力。而在压应力范围内，则会出现较高的工作台推进速度，磨削起火的危险则会降低。

磨削流程应该尽可能对部件的特性和功能产生积极的影响。重要的影响因素是粗糙度、波动度、表面裂纹和组织变化程度、硬度和磨削后的内应力等。例如，压气机的叶片在作业中会产生很大的振动。如果磨削流程出错，情况就会变得很差。由此，通过磨削在被加工工件的边缘区域会产生拉伸内应力，且这种内应力会因振动所产生的拉伸应力作用而叠加起来，从而极大降低叶片的使用寿命。因此，在磨削过程中要使进入工件的拉伸内应力尽可能地小。最好要使磨削过程产生压内应力。这种应力可以对传动机构运行时所产生的很高的拉伸应力进行补偿。由此可以显著提高传动装置元件的使用寿命。

接下来还会产生磨削刀具本身对磨削流程会产生何种影响的问题。简单地说，磨盘是由磨削颗粒、粘合剂和孔隙构成。颗粒物可以由不同颗粒形状和颗粒规格的多种不同材料构成，而粘合剂则在大多数情况下以合成树脂、陶瓷材料或金属为基础。孔隙则可以分为大孔隙和微小孔隙。所有这些参数均可对磨盘的导热性产生很大的影响。

如果想要使磨盘保持较低的温度，就要使磨盘具有尽可能多的孔隙并尽可能多地排走切屑，这是因为切屑可以带走很大一部分切削热量。较高的孔隙数量则意味着较低的颗粒物数量或较低的粘合剂数量。如果把后两者的数量降下来，则会导致磨盘磨损量增加。

其他研究也包含了对冷却润滑剂影响的研究。冷却润滑剂基本上可以分为乳化液 / 溶液和油品。乳化液 / 溶液可以对磨削流程进行很好的降温，而油品则具备极好的润滑效果。乳化液作为冷却润滑剂，虽然可以提供很好的降温效果，但是润滑效果非常有限——这又会导致磨盘较高的磨损。而与之相反，油品可以降低磨盘的磨损程度，但是降温效果并不明显。同时，对冷却剂喷嘴的选择也会对热量排放效果产生很大的影响。例如喷嘴的形状（针式喷嘴、自由喷射喷嘴或鞋形喷嘴）、流量、喷出速度和喷嘴间距都对温度调节发挥重要的作用。

确保最佳冷却效果的微细针式喷嘴

研究人员对冷却润滑剂的流量对热

图 3 采用灵活的五轴或六轴加工中心，可以实现对涡轮导向和运行叶片的经济加工

渗透效果的影响作了更为深入的研究。研究结果表明，冷却润滑剂的流量并非构成是改进工艺流程的重要调节因素。比冷却润滑剂流量更为重要的是冷却润滑剂的喷出速度。在相同流量的条件下，细小型针式喷嘴可以达到比较大型喷嘴更高的喷液速度。而仿形喷嘴的喷液速度则是最低。概括地说，即细小型针式喷嘴可以达到最大的喷液速度和最好的冷却效果。

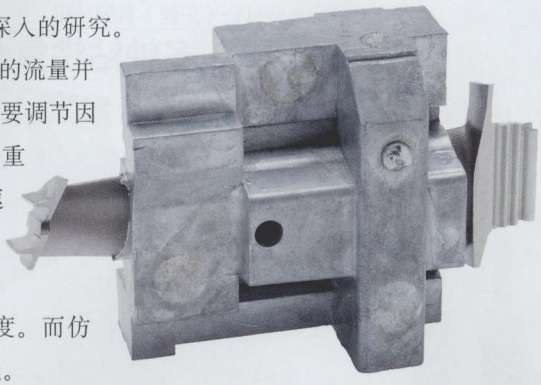

图 4 涡轮导向叶片可以被浇注在锌块里，或者也可以被装夹在特殊的硬点（Hard Point）装置上

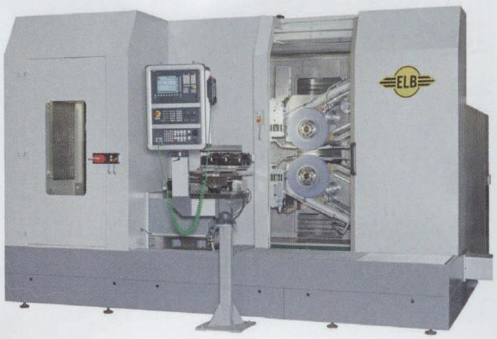

图 5 传动叶片可同时接受双面加工，由此可以缩短加工时间并达到加工力的均衡

冷却液无需以最大的速度喷向磨盘。相反地，如果冷却液的喷出速度与磨盘的圆周速度保持大体相等，即可获得更佳的效果。当冷却剂喷到磨盘上的速度与磨盘运行速度恰好重合时，则会达到良好的散热效果。因此，最大喷液速度并非是最佳方案，而喷液速度与磨盘运行速度的匹配则是最为关键的。

影响因素

研究结果表明，对于磨削作业并没有一种理想的技术方案，而是工艺调节参数、磨削刀具和冷却润滑剂构成了一个综合的系统。该系统会对温度渗透和磨盘的径向磨损产生影响。但长久以来，所有问题尚未得到澄清。为了找到飞机涡轮制造所需的材料，磨盘和机器制造厂商、用户和常规研究机构必须实现相互间的紧密合作。MM

德国技术 · 中国制造

Waldmann W
ENGINEER OF LIGHT.

全新LED技术　　沃达迈工业照明解决方案

全新FLAT LED机床灯具
— 为您创造无限可能

- 全新设计的表面安装式机床灯具，尤其适合机械加工区域的大范围照明
- 高度一体化设计使碎屑及灰尘无处藏身，同时为加工区域提供更大空间
- 光线均匀，照明范围广泛，无眩光，可灵活设定照明方向
- 外形小巧紧凑，安装简便，安装位置灵活
- 高能效优质照明，绿色环保，使用寿命超过50000小时
- 对极端恶劣工作环境有超强抵抗力，防潮防尘等级符合IP67标准
- 维护成本极低，减少机床运营成本

沃达迈灯具制造（上海）有限公司
上海市宝山区长建路199号5号标准厂房A11a单元 200949
电话：+86 021 5169 1799　传真：+86 021 3385 0032
邮箱：info@waldmann.com.cn

北京办公室
北京市朝阳区左家庄中街6号院9号楼豪成大厦512室 100028
电话：+86 010 6591 7699
传真：+86 010 6591 7699

www.waldmann.com.cn

▲反馈服务编码M4663