

研磨

# 涡轮叶片经济性研磨加工方略

在加工制造涡轮叶片时要对弯曲面进行内加工和外加工，还有些涡轮叶片部位接近性差，而且涡轮叶片材料也难于切削，因此加工制造涡轮叶片首选研磨加工方法。有很多方略影响着涡轮叶片研磨加工的生产率。

文 | HANS-RUDOLF DRESSLER

飞机的动力装置、燃气动力装置和燃气泵站涡轮机的运行叶片和导向叶片的作用都是转换能量，并进一步影响效率。为了能够承受高热载荷，此类涡轮叶片须选用不易研磨加工的材料，而为了确保动力装置的效率，其对涡轮叶片的形状和外形尺寸的精度以及表面加工质量也有特别高的要求。因此，加工制造涡轮叶片首选研磨加工方法。

涡轮导向叶片的研磨加工过程：导向叶片由叶片和一个底部及一个端部组成。在加工涡轮导向叶片枞树形状叶片根部时，使用的切削刀具必须具备很高的切削效率，并能确保导向叶片底部外形的精度。此外，底部的两侧还必须进行研磨加工。端部加工只涉及到对Z形断面、密封和平行凸肩的研磨。

在能够加工的平面前，必须

将叶片夹紧固定。夹紧固定叶片有两个方法：硬点法和浇注法。采用硬点法需要一个设备，用该设备装配在叶片结构件的不同的设备和支撑点上并适当张紧。而采用浇注法则是在导向叶片周围浇注锌合金材料，用铸铁件固定要先加工的设备面。这种方法，可将浇注固定的工件运输到各个不同的加工作业点，并在各个加工作业点将工件重新进行相对精准的张紧固定。

此外，要根据加工叶片的批量大小来选择最佳的研磨方法和研磨机床。为了提高研磨加工的精度和生产率，尽可能使工件在一个张紧装置里固定后再进行研磨加工，这样可以缩短加工设备的配备时间。

## 旋转式工作台的研磨加工

进行小批量研磨加工作业时，更适合使用带有固定立式工作台的立式机床进行研磨加工作业，所有要求变换的动作由砂轮到完成。带有工作台的磨床结构紧凑，此外，除了完全固定式的工作台外，还推荐使用旋转式工作台。采用旋转式工作台，工件

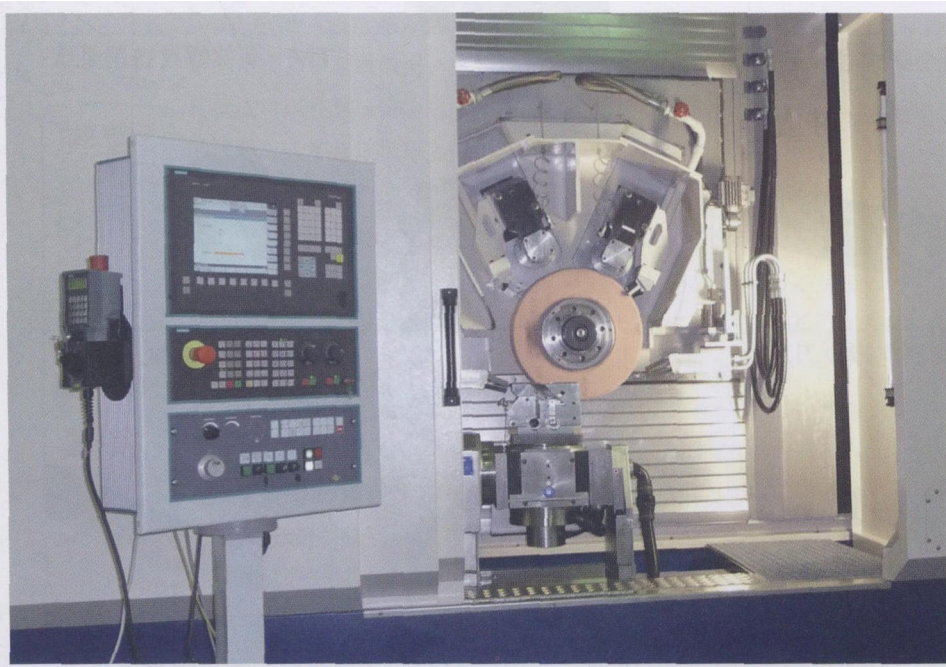


图1 适用于小批量涡轮叶片研磨加工作业的 Micro-Cut 4 520 S 型单螺杆磨床。画面右侧是砂轮件，砂轮后面是自动化砂轮更换装置

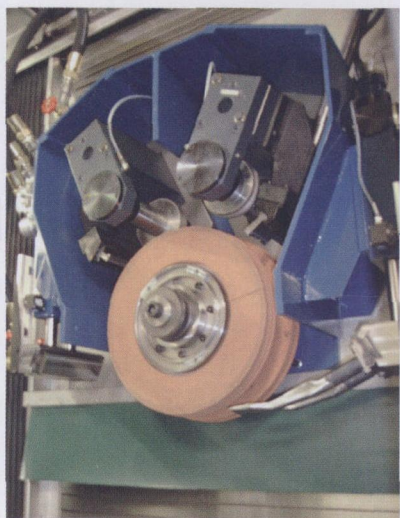


图2 使用仰式双研磨器可节省加工设备配备时间最多达75%，且在校正砂轮备件时不须考虑砂轮磨损

可固定在一个张紧装置里，在四周进行工件研磨加工。

采用 Micro-Cut 4 结构系列的 520 S 型单螺杆磨床加工涡轮叶片（图1），砂轮研磨宽度为 600 mm，研磨长度为 700 mm。在进行第一轮研磨加工后，（例如进行叶片枫树形状叶片根部的一个面的研磨后）工件的张紧装置将工件旋转 180°，以便进行第二个面的研磨加工。接着，由磨床的一个机械手将工件夹紧装置以及工件从磨床里取出，放置在检测装置上，在那里检测叶片底部两个面之间的加工偏差。随后，研磨装置根据检测装置所确定的偏差值来调节磨床，接着完成叶片枫树形状叶片根部形状两个面的研磨加工作业。

### 采用底托砂轮转换装置 提高生产率

采用底托砂轮转换装置进行加工作业的主要优点是：加工作业时只需设置第一个工件便可达到非常精准的研磨效果。为了对涡轮叶片进行整体式研磨加工，根据其结构的不同，2~4 个能够快速转换的设备就够了。采用底托转换装置可以显著提高研磨加工作业的生产率，而刀具方面同样有可以提高研磨加工作业生产率的措施，即砂轮转换装置的应用。这种砂轮转换装置通常是半自动化或全自动化的，也可使用仰式双研磨器来进行简单转换刀具。当使用成套砂轮进行研磨加工时，左边研磨器要能够校正后面的研磨器。

这样的研磨作业有两个显著的优点：一是，多个金刚石辊定位在双研磨器定位的两个暗销上，这样省去了换装。二是，在研磨加工作业时，工件的一个侧面只与一个砂轮校正，而使用简单的研磨装置则完全不同。由于磨损较大，两个砂轮均需进行校正。采用托盘转换装置的研磨设备可

4  
万  
平  
米  
展  
馆

2  
万  
观  
众

4  
百  
家  
展  
商

超过20家的各省市代表买家团

亚洲权威的工业清洁、安全用品展

## 2014中国（上海）国际工业 清洗设备、高压清洗泵、工 业安全用品与技术展览会

我们的观众：

航空/制铝/汽车/酿酒/水泥/化工/制药/建筑业/食品加工铸造  
高速公路/船舶/机械制造/采矿/市政工程/油田/石油化工/橡胶  
电站/轻工冶金等

主办单位：

上海博华国际展览有限公司

合作单位：

中国发酵工业协会

上海石油协会

中国工业防腐蚀技术协会

上海市食品协会

全国清洗行业信息中心

上海市奶业行业协会

上海市石油学会

上海市仓储行业协会

上海市化工行业协会

上海市食品学会

上海船舶工业行业协会

**报名预登记，赢取免费住宿！**

<http://industry.chinacleanexpo.com>



联系方式

上海博华国际展览有限公司

021-3339 2078 (张小姐)

lucy.zhang@ubmsinoexpo.com

了解一手清洁行业信息

节省最多达 75% 的设备配备时间（图 2）。

此外，在研磨设备的冷却系统方面也存在着更加合理化的潜在可能性，这需从冷却系统的各种喷嘴着手。不能根据不同的研磨加工作业任务来更换冷却系统的喷嘴，而是要在一个喷嘴上带有不同的针阀截面，这样就可以大大节省时间。

在上述研磨加工作业情况下，由 3 个阀控制的管子来输送冷却液，由阀的截面来决定向管子里加冷却液的量，从而喷射出冷却液。采用合理化喷嘴的方法除了最多可节省 30% 的配备冷却系统的时间外，还有其他多个优点：在冷却系统要求较小冷却液输送量时，可使用较小型的泵和较小型的冷却系统，并能够减少电流消耗。

我们是在探索如何减少研磨机床配备时间的过程中得出了这些方法。采用上述方法，配备研磨机床的时间由原来的 2 h 缩短了一半多，也就是少于 1 h。此外，使用这种方法，研磨机床的附属机组小，砂轮磨损低，整个研磨机床能效高。

## 控制机器人

决定研磨加工车间生产率的重要因素有研磨机床的加料和出料，这也包括工件和刀具的输送。一个智能化的技术解决方案是让输送带和悬挂设置的控制机器人实现联合控制，机器人固定在机床的上方，（例如固定在研磨加工间的天花板上），这样的设置有多个优点。这样对操作人员来说不存在潜在的风险。如果操作人员和机器人在同一高度作业，风险就会很大。这样，与通常操

作人员和机器人在同一高度作业的机床相比，这样的研磨加工车间可在很大程度上省去安全设备和风险预防设备。此外，这样的研磨加工车间里的机床操作范围的可接近性也大大改善。由于距离较短，输送带的工件进料和出料由机器人控制，这样便缩短了工件进料和出料的时间。由于机器人悬挂式设置在研磨机床的上方，因此不需要另外占位，这样重要的是研磨加工车间占位面积较小，从而节省了生产成本。这样在研磨机床旁可设置研磨器和金刚石辊机组，机器人同样可以控制研磨器和金刚石辊机组。这样也会进一步节省研磨加工作业的时间和成本。

工件输送带的设置实现了研磨加工车间的人们所希望的灵活性。对于全自动化加工作业的研磨机床，工件输送带要设置得明显高于操作人员的头部高度，这样可以最大程度地确保研磨机床的可接近性。应灵活设置研磨加工车间的工作，比如在进行小批量工件加工或是不断更换研磨加工涡轮叶片时，可手工进行工件控制，为此，研磨机床设有一个符合人体工程学高度的操作手柄。

DS 型双轴同步研磨机床的加工灵活性佳，Micro-Cut 4 型研磨机床便是双轴同步研磨机床。而在投资少、对机床较小灵活性要求低时也可选择单轴研磨机床。当然，可以想象，这些单轴研磨机床也可在研磨加工车间内以其他形式进行摆放。

## 对每个面进行测量

在研磨加工飞机涡轮叶片时，第一台机床同步研磨涡轮叶片两侧的枞树形状叶片外形，第

二台机床同步研磨涡轮叶片的两个侧面，第三台机床研磨涡轮叶片内外两面带有弧度的过渡区，内侧一面由一小砂轮进行研磨加工，而外侧一面由一大直径的盆形砂轮进行研磨加工，所有的涡轮叶片组合在一起构成一个环形直径。第四台机床和第五台机床研磨加工涡轮叶片的端部。在加工较大的涡轮叶片时，第四台机床同步研磨加工，在涡轮叶片的端部两侧研磨出 Z 形剖面，在加工较小的涡轮叶片时，由于叶片出现依次干扰轮廓，所以要依次在涡轮叶片的端部两侧研磨出 Z 形剖面。第五台机床用于研磨加工涡轮叶片底部复杂的剖面上的端面槽。

人们需根据所研磨加工的涡轮叶片的类型和用途来确定工件研磨加工的精度并确定测量点的数量。飞机涡轮叶片的研磨加工要求是，每个研磨加工面都必须进行测量并形成文件。为了确保涡轮叶片研磨加工生产流程的合理化并获得高生产率，每台研磨加工机床均必须配备测量设备，根据测量设备的测量结果来校正研磨加工机床。

在第一台机床上加工涡轮叶片枞树形状叶片根部时，使用的是可持续进行校准的刚玉砂轮。其他所有的研磨加工生产流程中，有些生产厂家使用 CBN 研磨砂轮。因为刚玉砂轮局部磨耗高，因此在研磨加工涡轮叶片的端部两侧研磨出 Z 形剖面或是密封面时，推荐人们使用 CBN 研磨砂轮。如果要使用刚玉砂轮研磨加工垂直的横档时，必须经常校正砂轮。而与之相反，使用 CBN 研磨砂轮进行研磨加工时，砂轮的磨损就极低。[MM]