

测量

3D 扫描大幅提高叶盘铣削过程的精度和效率

叶盘具有高度复杂性和严苛的制造精度要求，各式叶盘的精铣过程是一个劳动密集型且成本日益增加的工艺。机外检测和铣削过程约占叶盘生产总人力成本的 30%~60%。Technopark 公司配备雷尼绍触发式测头之后实现了完美的测量精度，叶盘制造过程的加工精度、速度和人力成本发生了显著改变。



更多精彩内容请扫描二维码

文 | 雷尼绍（上海）贸易有限公司

Technopark Aviation Technology 公司位于俄罗斯乌法，是一家教育、科研和工程服务提供商。它与俄罗斯规模最大的燃气涡轮发动机提供商合作密切，后者设计和制造高性能燃气涡轮发动机，服务于固定翼和旋转翼飞机行业以及天然气和石油生产领域。

Technopark 的一位客户希望提高叶盘铣削过程的精度和效率。燃气涡轮发动机的叶盘具有复杂的高曲率表面，因此制造过程非常具有挑战性。

为了攻克这项难题，Technopark 采用了搭载 SPRINT™ 技术的雷尼绍 OSP60 机内 3D 扫描测头和 Productivity+™ 扫描软件包。

背景

在由压缩机、燃烧器和涡轮组成的精密机械组件中，叶盘在减少阻力、优化发动机内的气流及其产生的推力方面发挥着重要作用。

叶盘在 20 世纪 80 年代中期推出，是一个由转子轮盘和多个弯曲叶片组成的单一组件。由于叶盘不需要将每个叶



图 1 SPRINT 3D 扫描测量技术

片连接到裸露的轮盘上，因此有效改进了涡轮设计，大大减少了零件数量，并提高了可靠性和发动机效率。

铣削是叶盘制造过程中最重要的加工工艺之一，而且由于叶盘具有高曲率表面，因此需要使用多轴数控机床和先进的软件进行加工。叶盘铣削通常先通过粗铣和半精铣加工制成近终成形工件，然后再通过精铣制成最终的高精度叶片和转子表面。

挑战

叶盘具有高度复杂性和严苛的制造精度要求，这意味着其各式叶盘的精铣

过程是一个劳动密集型且成本日益增加的工艺。尽管使用触发式测头可进行机内叶盘测量，但在铣削后需要将每个工件从数控机床上取下进行离线测量和检测，然后再重新装回机床上进行后续加工。这个过程需要重复多次，而且容易受到人为误差的影响。

据 Technopark 公司推断，机外检测和铣削过程约占叶盘生产总人力成本的 30%~60%。此外，叶片尺寸偏差（在前缘和后缘加工之后）的统计分析结果证明存在误差。

结果显示，叶片横截面的偏差为：残留余量波动 ± 0.064 mm，实际轮廓

偏差 0.082 mm。纵截面的偏差与横截面相似：残留余量波动 ± 0.082 mm，实际轮廓偏差 0.111 mm。导致边缘加工过程中产生偏差的主要原因可归结为：加工过程中机床的五轴运动误差，叶片在切削过程中由于其刚性低而发生弹性变形，以及刀具在金属切削过程中发生弹性变形。

“这个过程需要大量的人工干预，但是由于人为误差不可避免，会导致废品率增加。我们迫切需要开发一种全新的解决方案，以提高叶盘铣削速度和精度。” Technopark 的副博士、创新部负责人 Semen Starovoytov 表示。

解决方案

开发用于叶盘铣削的 CNC 加工过程包括以下要求：使用参数化控制程序进行半精铣加工；机内工件检测；检测结果修正参数化控制程序；使用修正后的参数化控制程序对工件进行精铣。

Technopark 公司被指定负责开发和部署所需的制程控制技术。Starovoytov 说：“我们已经与雷尼绍合作多年，在各式机床上配备了雷尼绍触发式测头来达到完美的测量精度。对于此项目来说，很显然需要基于扫描测头开发软件，因此我们决定向雷尼绍寻求合作。雷尼绍用于机床的 SPRINT 3D 扫描测量技术满

足了我们的所有技术要求。”

结果

引入 Productivity+ 软件和 OSP60 测头之后，叶盘制造过程的加工精度、速度和人力成本发生了显著改变。通过在机床上对叶盘进行高速 3D 扫描和测量，大幅节省了生产时间，从而显著提高了数控机床的生产效率。

1.SPRINT™ 技术

OSP60 机内 3D 扫描测头搭载雷尼绍独特的 SPRINT 技术。测尖（测球）可沿叶盘表面进行精确测量移动，测头能够精确记录高分辨率测针偏折数据，获取超灵敏测尖在 X、Y 和 Z 轴上的亚微米级运动数据。

OSP60 测头采用高速、抗噪的光学传输连接，每秒可将 1000 个 XYZ 测尖中心数据点传输到 OMM-S 接收器。然后，使用高级算法处理测头偏折数据与机床位置编码器数据，以生成精确的叶盘表面数据，最后再利用这些数据精确计算特征位置、大小和形状。

2.Productivity+™ 技术

使用 Productivity+ CNC plug-in 软件



图 3 叶片横截面

可实现高达 15 000 mm/min 的扫描速度，机内测量速度有时甚至可以比传统触发式系统快 5 倍。在机床上扫描叶盘，则无需在加工过程中取下工件。

该软件可在屏幕上实时显示高精度测量结果，并利用这些数据自动调整机床设置，以便进行后续的精铣过程。还可将测量报告导出到文件中进行分析或用于执行质保。

使用现有的机外图形编程工具可基于实体模型几何特征快速、轻松地生成叶盘检测程序，同时可通过 Productivity+ 交互式前端平台简单易懂的图形屏幕来编辑和模拟测头检测程序，用户无需直接应对复杂的 NC 代码。

在叶盘铣削精度方面，加工后的叶盘横截面和纵截面偏差均有显著改进：从原来的 0.082 mm 和 0.111 mm 提高到现在的 1 μ m 和 28 μ m。

在机床人员配备方面，Starovoytov 表示，制程控制模式的执行能够基于 OSP60 测头提供的 3D 叶片扫描数据，自动调整 CNC 控制程序。这意味着工程师不再需要始终监控机床运转。

他还总结说：“将 SPRINT 3D 扫描技术与 Productivity+ CNC 软件结合在一起，即使叶盘形状发生极细微的偏差也能够实时识别出来，而使用触发式系统却无法检测到这些偏差。这项投资带来的回报远远超出了我们的预期。叶盘的精铣精度提高了三倍以上，而且相关的人力成本降低了一半。” MM



图 2 触发测头对机内叶盘测量