

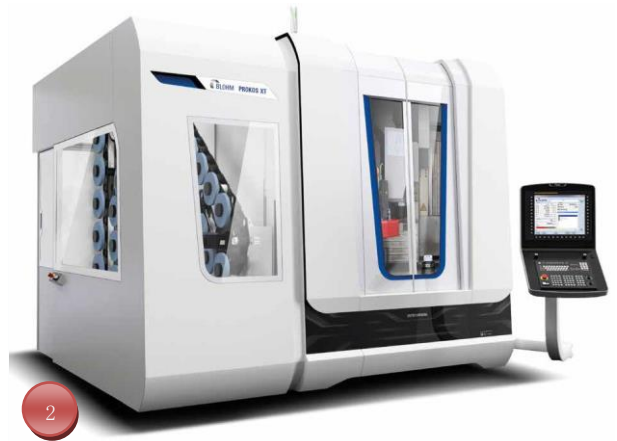
涡轮叶片制造中的自由度

凭借多轴 PROKOS XT 磨床，Blohm Jung 同时解决了现代制造中的复杂性、灵活性和质量问题。为了保持机器的空间精度为 ± 25 微米，Blohm Jung 延展了空间误差补偿程序，把传统 5 轴机器空间补偿程序扩展到 6 轴。IBS 精密工程公司帮助他们开发 Rotary Inspector 程序，这是一种特殊的无线探测系统，用于测量三个旋转轴。作为 Blohm Jung 的新客户，MTU Aero Engines 在涡轮机部件制造中，为多台 PROKOS XT 机器使用补偿 IBS 检测系统

鉴于对加工产品精度的要求越来越严格，复杂性和精度是现代制造业的两大挑战，不仅在产品方面，而且在机床设计方面。通常，精度规定在几十微米的范围内。此外，灵活性是现代制造业或智能制造业的一个主要特征。一个产品（系列）的类似产品和不同零件必须在不同的机器上加工，但必须满足相同的规格要求。综合起来，这些挑战要求有一个检验程序，以确保在多台机床加工程度一致。

在 MTU 航空发动机公司，制造涡轮机（图 1）是一个高度复杂且高精度的过程，需要真正的 6 轴磨床。

PROKOS XT 是 BLOHM 新成员，表面和轮廓组合磨床（图 2）。用于完成复杂工件的自动化加工，还可以执行钻孔和铣削操作，仅次于研磨。增加第六轴是为了能够在一次运行中加工复杂的产品，而无需更换夹具。



BLOHM PROKOS XT6-轴磨削中心

机床各轴不可避免地存在几何误差，这些误差源于机器制造和装配本身、使用期间磨损（齿隙或轴承问题）以及操作中的环境因素。这些误差包括旋转轴的径向误差、切向误差和倾斜误差和线性轴导轨误差。

Blohm Jung 开发了空间补偿程序，通过西门子 VCS 软件补偿到 Sinumerik 控制器中，在所有六轴之间相互作用时，实现最优空间精度。此程序多年来成功地与五轴机床配合使用。

机床安装后精确测量所有轴的所有自由度，几何误差补偿参数存贮在控制中。如果 VCS 软件功能在控制中激活，它将使用这些值来补偿误差并提高机器的精度。

在机器的使用寿命内可以重复这个补偿步骤。

Blohm Jung GmbH

Blohm Jung GmbH 的产品组合从平面磨床到通用机器，再到面向客户的生产机器。从全球 35000 多台交付的机器中获得的经验，再加上在机器的整个生命周期中为客户提供支持的服务和技术专家，确保了卓越的生产效率。BLOHM 和 JUNG 是总部位于瑞士伯尔尼的联合研磨集团的成员。

WWW.BLOHMJUNG.DE

MTU Aero Engines AG

MTU 总部位于慕尼黑，是德国领先的发动机制造商，从事所有推力和功率类别的商用和军用飞机发动机以及工业燃气轮机的开发、制造和支持。MTU 的重点是低压涡轮机、高压压缩机和涡轮机中心框架。核心竞争力包括高科技制造、维护技术、检测测试专业知识以及全面的系统知识。

WWW.MTU.DE

IBS Precision Engineering

IBS Precision Engineering 总部位于荷兰埃因霍温，是精密计量以及超精密机器和模块开发的专家。他们为半导体、航空航天、汽车和机床市场等提供测量系统和部件。针对专业需求，IBS 设计并提供产品测量机和科学仪器。提供可溯源高精度低至纳米级，应用最新标准和突破性技术。



Trinity 测头



标准球 EROWA 座

第一台六轴机床

将空间补偿程序应用于 6 轴 PROKOS XT 机器，这对 Blohm Jung 提出了两个挑战。误差数据的获取和将这些数据转换为机器的补偿参数的算法。对于线性轴采用现有的激光测量系统，能够测量沿着线性轴的六个自由度的误差。三个旋转轴的误差测量却没有先例。对于三个旋转轴的测量，MTU 引入了 IBS Precision Engineering 的 Rotary Inspector，该系统可提供动态条件下刀具相对于工件的真实定位精度。Rotary Inspector 可模拟机器正常操作，通过同时移动所有加工轴来检查其空间精度。

Rotary Inspector

IBS 设计了 Rotary Inspector 系统检测（修正）五轴机床关键几何和动态性能参数。符合 ISO 10791-6 标准的测量原理，Rotary Inspector 测量软件可以在几分钟内完成 5 轴机床精度检测，计算枢轴线偏移和垂直度误差。特征参数 Q 值为最大几何误差，对应尺寸精度上限。P 值为最大动态误差，对应表面粗糙度情况。

旋转式检测仪（图 3）包括一个 Trinity 无线测量头和一个标准球球，Trinity 测量头放置在主轴上，标准球使用可选的 EROWA 支架放置在转台上，达到准确定位。



坐标变换

开发 6 轴应用程序最大挑战不只是对所有六个轴的测量，而是对测量结果的解释并将结果转换为补偿值。需要对机床结构有全面了解。Rotary Inspector 解决方案共涵盖 21 种标准 5 轴机器类型/配置，这是 Rotary Inspector 首次应用于测量 6 轴机器

PROKOS XT 配置（图 4）具有三个线性轴（X、Y、Z）和三个旋转轴（A、B、C）；它可以被认为是一台 5 轴机床 B 轴上附加一个 45° 倾角 C 轴。当然，这个增加使所需坐标变换更复杂。

在测头坐标系中测量的误差必须转换为机器坐标中的误差（例如旋转轴的垂直度和位置误差），并随后转换为对机床运动链的优化。机器的性质带来了另一个挑战。PROKOS XT 使用短主轴上的大型研磨工具与细长刀具的传统铣床不同。这意味着这台 6 轴机器上各直线轴和旋转轴有范围有限，并非所有标准运动序列都可实现。由于测量头在某些条件下可能会与分度台和工件托架碰撞。因此，某些测量必须在非标准情况下进行。

