



超大型 2,000 x 1,800 毫米，拼接精度为 5 微米

高精度三轴铣削和夹具磨削

具有 2,000 x 1,800 x 800 毫米工作区域的 RXU 2000 适用于快速且高精度的铣削和磨削，即使是极其硬的材料也能应对（照片：罗德斯）

在众多工业领域，两个明显的趋势正逐渐显现：客户不仅寻求更大尺寸的部件，还要求这些部件具有更高的精度和表面质量。这种需求不仅限于工具和模具制造行业，也同样适用于机械工程、电子和计量领域，以及医疗技术等高科技应用领域。面对这些挑战，一家中型机床制造商是如何在开发适用于这些任务的机器时兼顾这些要求的呢？

“我们的新型 RXU2000 铣削加工中心能够以极高的精度加工超大尺寸的部件，”来自索尔陶的罗德斯有限公司董事总经理 Dipl.-Ing. Jürgen Röders 表示。RXU2000 是专为此类需求而新开发的 3 轴铣削和磨削加工中心，其工作区域尺寸为 2,000 x 1,800 x 800 毫米。在这个范围内，根据孔径的大小，该机床能够实现小于 5 微米的螺距精度和 1-2 微米的圆度值。工作台的承载能力高达 5 吨。

罗德斯公司的理念是为用户提供尽可能高的加工精度，同时不牺牲系统的高切削性能。鉴于机器的尺寸和高加工性能，实现这一目标无疑是一项真正的挑战。

在硬化状态下进行加工是“王牌”

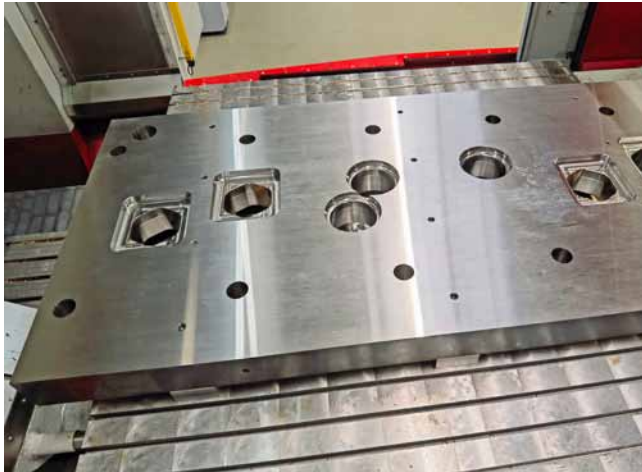
“凭借我们在工具和模具制造领域的丰富经验，我们设计的机器能够在高性能水平上加工极其坚硬的工件，” J. Röders 阐述道。例如，RXU2000 的标准主轴在转速达到 22,000 转/分钟时，能够提供 101 牛·米的扭矩。而根据不同的应用需求，可以选择转速高达 80,000 转/分钟的主轴，尽管这可能会牺牲一些粗加工的性能。

这种方法与传统的加工理念相比具有显著优势，后者通常需要先进行材料软化处理，最后再进行精加工。新方法节省了时间和成本，因为工件只需一次装夹。这样不仅减少了运输成本，还消除了因中间热处理导致的延迟。对于需要高精度的加工任务，另一个好处是避免了因淬火而导致的工件变形。在传统的加工策略中，这种变形往往会导致在软态加工时为了安全预留过大的余量，从而增加了额外成本，随后在硬态下加工又进一步增加了成本。

RXU2000 的另一个显著优势在于，该系统不仅适用于铣削，还适用于夹具磨削，甚至可以实现轮廓磨削等更多变体。由于所有操作都能在同一设置中完成，因此无需担心因松开和重新夹紧而产生的偏差，确保了零件从机器中出来后即可直接使用。



“由于我们在工具和模具制造方面的经验，我们建造的工厂能够以高性能水平加工非常坚硬的工件” Dipl.-Ing. Jürgen Röders（照片：Klaus Vollrath）



由 X33CrS16 (1.2085) 制成、硬度为 48 HRC 的级进模底板作为演示工件 (照片: Klaus Vollrath)

附带一份测量报告。此外，由于测量是在相同的设置中进行的，所以在精加工过程中仍可以补偿在粗加工后检测到的微小尺寸偏差。



标准主轴 (101 牛米, 22,000 转/分钟) 正在使用直径为 52 毫米的刀具头铣削测试工件 (照片: Klaus Vollrath)。



四角各配有四条导轨的 Quadroguide 原理赋予了 Z 轴特别高的刚性 (照片: Klaus Vollrath)。

由于 QUADROGUIDE 和直线直接驱动而增强的刚性

"为了长期承受粗加工过程中的高负载，Z轴和Y轴都采用了 QUADROGUIDE 方法设计，"J. Röders 解释说。在这种设计概念下，Z轴不是通常的两条导轨，而是在四个角上各配备了四条导轨。这样的设计显著提高了这些轴的刚性和稳定性。另一个关键特性是所有三个轴上都采用了精确且高动态的直线直接驱动。由于独特的 Röders 控制系统配备了 32 kHz 的控制器，能够快速且准确地补偿由于加工、质量或摩擦力引起的最小偏差，这些驱动系统能够充分发挥其潜力。



双重功能：除了铣刀和钻头，克雷布斯和里德尔的磨削销和磨轮也在此应用中使用 (照片: Klaus Vollrath)。

由于热量是精度的敌人...

"对于我们在 AMB 贸易展上的展示，我们选择了一种由铬钢 X33CrS16 (1.2085) 制成、淬火和回火至 48 HRC 的工件，"J. Röders 补充说。这种材料实现的几何形状是基于实际级进模具的底板。粗加工使用标准的可转位刀片工具进行，而高精度精加工则使用 Krebs & Riedel 的磨削工具完成。这种钢材在室温范围内的热膨胀系数约为 10.5 微米/(米*开尔文)。因此，对于具有工作台表面尺寸的平面工件，温度仅升高 1 开尔文，其对角线就会增加近 30 微米。反过来，为了保持保证的 5 微米拼接尺寸精度，其在加工过程中的温度变化不应超过 0.15 开尔文。在相对较小的约 3 立方米的工作空间内，仅铣削主轴就产生高达数千瓦的功率。此外还有三个主轴的直线电机。在长时间加工过程中，要将工件和工作区域的温度水平保持在 0.1 开尔文以内，需要深入研究各种技巧。



用于工具测量的激光单元只是该系统用来监控自身并优化加工过程的众多测量设备之一（照片：Klaus Vollrath）。



标准主轴（101 牛米，22,000 转/分钟）正在使用直径为 52 毫米的刀具头铣削测试工件（照片：Klaus Vollrath）。

…温度控制措施不得不多次分阶段进行…

"因此，RXU 2000 配备了多个不同的温度控制回路，所有这些回路的温度都保持在0.1 K的精度范围内，"J. Röders说。

特别关注主轴和直线驱动器，它们都配备了强大的初级冷却回路，以便尽可能快速和有效地带走产生的热量。此外，关键元件通过额外的“热阱”与周围的结构元件（如轴或机床床身）进行热隔离。这样可以防止未被初级冷却系统捕获的热量扩散到基本结构中。

机床床身采用预应力UHPc混凝土（超高性能混凝土）制成，这是一种高科技材料，除了在高应力桥梁结构中的应用外，也用于机床床身的制造。与通常用于制造机床床身的矿物铸件相比，这种混凝土不含塑料成分，因此具有显著的抗变形能力，并内置了自己的调温管道。

“对我们来说，这种方法是标准技术，它也为我们其他机器型号提供了最佳的热稳定性，” J. Röders说。“RXU2000的特殊挑战在于必须在更大规模上实施这些措施。”

…并且通过额外采用磨削油和空调系统。

"因此，RXU 2000 设计了多套独立的温度控制回路，每一套都精确控制在0.1 K的温差范围内，"J. Röders 阐述道。主轴和直线驱动器作为重点关注对象，配备了高效的初级冷却系统，用以迅速直接地移除产生的热量。此外，关键组件通过增设的“热阱”技术与机床的其他结构部分（例如轴和床身）实现了热隔离，有效阻止了未被捕获的热量向基础结构的扩散。

机床的床身采用预应力UHPc混凝土（超高性能混凝土）制造，这种高科技材料因其卓越的抗变形能力，也被广泛应用于需要承受高应力的桥梁结构中，并内置了温度调节管道。与传统矿物铸件相比，这种混凝土不含有任何塑料成分，展现出优异的稳定性。"这种技术对我们而言是标准配置，它为我们所有机型提供了卓越的热稳定性，"J. Röders 强调。"RXU2000面临的特别挑战在于，我们必须在更大的规模上实现这些技术。"

测量和补偿

"尽管我们已经实施了所有这些温度控制措施，但只有通过持续的测量结果，我们才能确保工作的准确性，"J. Röders总结道。因此，RXU 不仅配备了可互换的测量探头，还装备了多种其他检测工具，包括参考体、用于刀具测量的激光设备、用于磨削工具检测的结构声探测器，以及用于磨削工具的修整主轴。得益于这些综合措施，即使对于持续时间超过十小时的作业，RXU2000 的机器零点也能保持"静止"。这确保了工件具有出色的尺寸精度。"顺便说一下，我们在2021年底交付了第一台RXU2000，客户非常满意，已经在考虑购买另一台系统，"J. Röders高兴地分享。

Klaus Vollrath, b2dcomm.ch。

Adress

Röders GmbH,
Gottlieb-Daimler-Str. 6, 29614 Soltau, Germany
Tel. +49-5191-603-43, Fax +49-5191-603-38,
hsc@roeders.de, www.roeders.de