

对机器和刀具的高要求

# 特种陶瓷的高精度铣削



BCE特种陶瓷公司开发并制造由陶瓷材料制成的高质量精密部件  
(照片: Klaus Vollrath)

除了金属、塑料和半导体，几乎所有的工业产品都含有越来越多比例的工业陶瓷。陶瓷在许多应用领域因其硬度以及耐热耐冷、耐磨和耐腐蚀的特性而备受青睐。通过选择合适的材料，其性能可以在一定范围内灵活地适应特定的应用。

然而，直到最近，其高硬度除了磨削之外，几乎禁止了任何其他机械加工方式。如今，一家陶瓷专业公司甚至能够使用铣削技术，以微米级精度加工硬度高达1800 HV的烧结氧化铝陶瓷。

“我们也生产技术陶瓷的原型件和单个零件，因此需要既灵活又高精度的加工机床。”  
Torsten Weiß 博士工程师  
(照片: BCE)



“我们开发高精密度特种陶瓷元件，广泛应用于工业、科研和医疗技术领域的各种严苛任务，”BCE特种陶瓷有限公司（曼海姆）总经理Torsten Weiß博士说。该公司成立于1986年，主要提供客户定制化的陶瓷材料解决方案，主要是氧化物陶瓷，如氧化铝（ $Al_2O_3$ ）和氧化锆（ $ZrO_2$ ），或混合氧化物，如ATZ（氧化锆增韧氧化铝）或ZTA（氧化铝增韧氧化锆）。在某些情况下，也会使用氮化物或碳化物材料以及特殊成分。

开发人员依靠其广泛的材料专业知识以及用于陶瓷生产和加工的各种工艺和系统。量身定制的解决方案是与客户的研发部门密切合作开发的。这还包括在相对较短的时间内生产单件产品和原型。中小批量生产也会进行，而大规模生产随后会外包给相应的专业公司。

## 从松散的陶瓷粉末

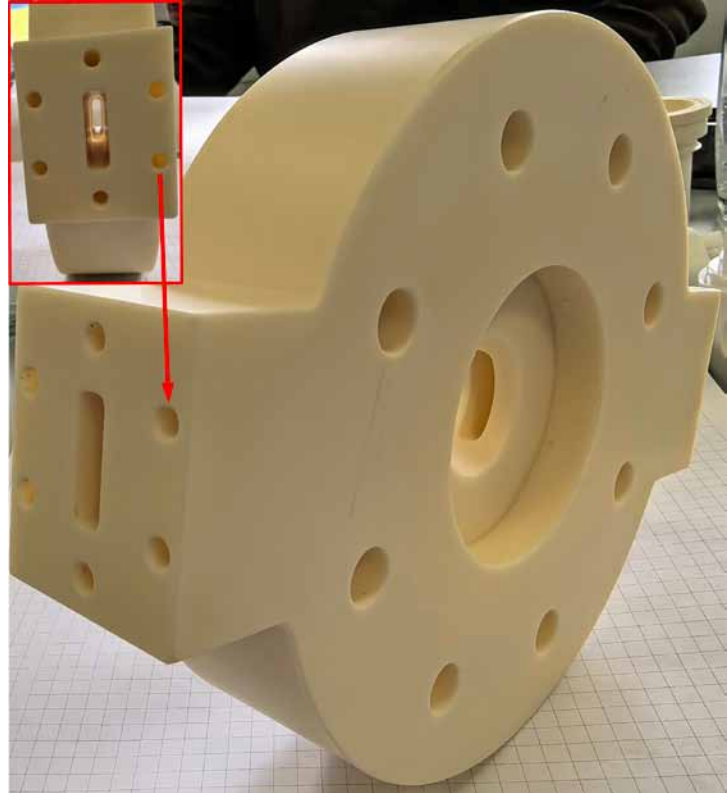
“第一步是明确材料问题，”BCE特种陶瓷应用开发和销售经理Torsten Prescher博士补充道。除了基本材料特性外，还需要明确其他要点，例如与其他陶瓷部件以及金属或塑料等其他材料的材料配对。例如，通过合适的添加剂，仅将暴露于电离辐射的某些部件的导电性提高到足以防止静电荷积聚的程度。在其他情况下，必须找到适合客户使用的材料配对。

“罗德斯机床使我们能够用烧结陶瓷生产具有前所未想象几何形状且精度最高的部件。”Torsten Prescher 博士工程师（照片: BCE）





“罗德斯机床使我们能够用烧结陶瓷生产具有前所未想象几何形状且精度最高的部件。” Torsten Prescher 博士工程师（照片：BCE）



“生坯”可以毫无问题地进行机械加工，从而能够进行广泛的成型。烧结后，这就不再容易实现了。（照片：Klaus Vollrath）

这些初步问题明确后，下一步就是生产：首先，BCE制造一个初始的压坯，并在此基础上进行进一步的机械加工。用于此部件的陶瓷粉末与百分之几的有机粘合剂混合，以便压制后的脆弱陶瓷部件具有足够的强度。

### 首先制成生坯

“为了达到初步加工所需的强度，压坯被装入液密包裹中，在大约2000巴的压力下进行冷等静压压缩，” Weiß博士补充道。由此产生的“生坯”已经具有一定的强度，但仍然可以很容易地进行机械加工，例如通过铣削、钻孔、磨削或螺紋切削。然而，在确定尺寸时，必须留有约20%的线性余量，因为部件在随后的烧结过程中会在所有三个维度上收缩这么多。掌握烧结过程中的收缩行为需要大量的专业知识和经验。如果烧结陶瓷的“烧成后”尺寸不令人满意，则可以通过磨削进行进一步的机械加工。

### 最终得到坚硬的烧结部件

“这对总成本有重大影响，因为烧结后，部件具有烧成陶瓷的典型硬度，并且相应地难以加工，” Weiß博士透露。在烧制过程中，粘合剂燃烧殆尽，而陶瓷颗粒则烧结成高密度结构，孔隙体积仅约0.5%。烧结在1300–1400°C的温度下进行，氧化铝甚至高达1700–2000°C。这些部件随后具有高强度、高硬度以及耐高温性，但也能承受低至绝对零度（-273.15°C）的极低温度，并且耐腐蚀和大多数化学品。

然而，它们的主要优点之一——高达1800 HV的高硬度和高耐磨性——如果必须在烧结后进行机加工以达到尺寸要求，则会产生非常负面的影响。到目前为止，几乎唯一的方法就是磨削。为此，有复杂的技术可用。然而，由于缺乏合适的机床或刀具，通过铣削来生产复杂的三维几何形状或自由曲面直到最近都几乎不可能。相应地，设计复杂工件几何形状的选择受到限制，否则会导致极高的生产成本。



在烧结过程中，部件在所有尺寸上会收缩约20%。这一点必须先作为加工余量考虑进去。（照片：Klaus Vollrath）



用于处理低温液化气体的转子和壳体必须以微米级精度进行加工。（照片：Klaus Vollrath）



陶瓷加工专家：Fabian Henning 与他“专属的”五轴罗德斯 RXP 501DS 机床（照片：Klaus Vollrath）

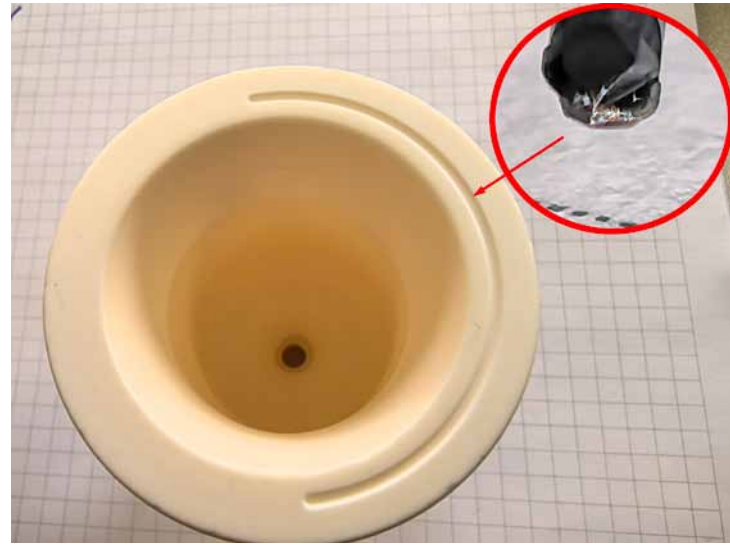
#### 罗德斯陶瓷加工解决方案

“在我们寻找合适的技术来填补这一空白的过程中，我们与我们已知的、已有使用罗德斯加工中心加工陶瓷经验的公司进行了交谈，” Prescher博士回忆道。此前曾使用市场竞争对手的系统来铣削生坯，但这些系统被证明不适用于烧结陶瓷的高精度五轴加工。

与罗德斯的初次接触立即留下了积极的印象。给他们留下深刻印象的是，该技术的关键部件，包括控制系统，都是由罗德斯自行开发并在现场以最高精度加工的。其结果是能够实现最大轮廓精度的系统。例如，它们可用于加工圆度偏差仅为1微米的孔。它们也非常坚固，能够承受加工陶瓷的极端应力。这也得益于使用了无磨损的直接驱动器、坚固的直线导轨和高效的密封件，这些都能有效防止高磨蚀性的陶瓷粉尘或磨削乳液的侵入。据Prescher博士说，重要的是该机床可以多种方式使用，并且根据部件或操作员的要求，可以决定是向控制系统输入预设的CAD/CAM数据还是快速创建手动程序。毕竟，两种方法都有其特定的优势。

因此，该系统还配备了一个修整主轴、使用结构声进行的过程监控以及罗德斯控制系统高度发达的磨削循环。内部供给高达罗德斯的乳液用于过程冷却和润滑，这在用非常小的刀具进行加工时尤其重要。另一个令人信服的因素是，有大约50套系统的参考案例，这些系统已被不同用户用于陶瓷加工的众多任务。

另一个关键点是在陶瓷异常坚硬的情况下能否获得合适的刀具。



Zecha的金刚石涂层硬质合金球头立铣刀在烧结Al2O3陶瓷的上部区域加工出了一个宽1.5毫米、深0.5毫米的半圆形凹槽（照片：Klaus Vollrath）

#### 操作简便，支持完善

“该系统的操作如此简单直观，三年前交付时，我们只需要两周的培训就能够使用它并直接在控制系统上进行编程，”机械工程师 Fabian Henning说。他最初使用西门子控制系统，但转换很容易。由于他经常加工具有较简单2D或2.5D几何形状的部件，他直接在机床上编写相对大量的NC序列。



“对于具有较简单2D或2.5D几何形状的部件，使用罗德斯控制系统可以轻松实现铣削或磨削的NC程序。” Fabian Henning（照片：Klaus Vollrath）

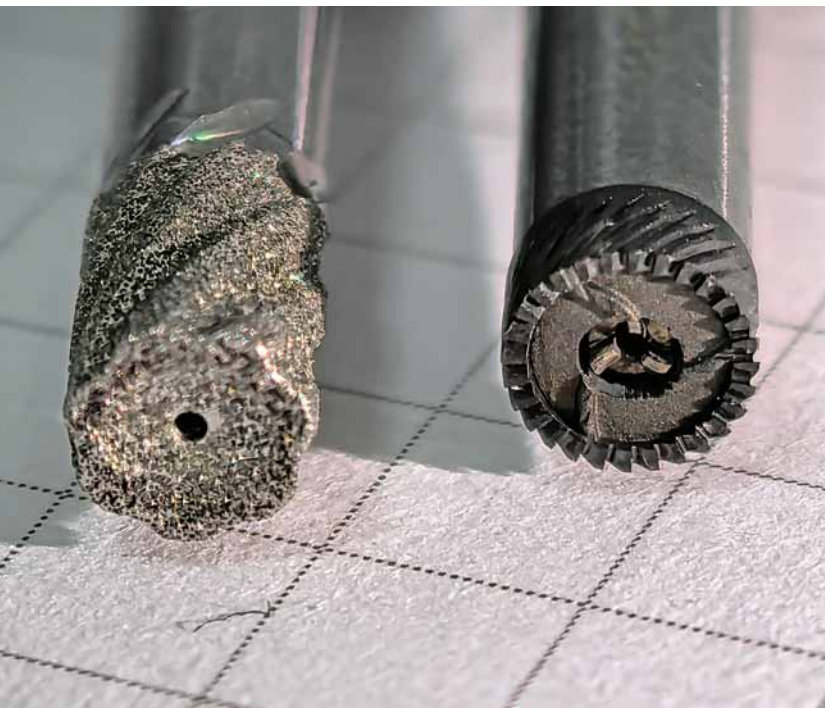
他了解到，使用罗德斯控制系统可以轻松愉快地完成此类任务，因此他可以在短时间内创建用于铣削或磨削的NC程序。对于磨削，他经常使用控制系统中预定义的循环。他只需将这些循环覆盖到现有的2D CAD轮廓上或直接在控制系统上设计的轮廓上。为此所需的参数直接从加工数据库中检索。在需要更复杂NC程序的情况下，例如用于自由曲面，他使用VISI CAM系统。这使他能够快速创建相应的三轴和五轴程序。

机床的可靠性和服务部门的快速响应时间也应提及。例如，回电通常在1-2小时内完成。在他使用该机床的三年中，只发生过一次真正的故障，原因是传感器损坏，技术人员第二天就带着所需的零件到“购买罗德斯机床的决定已被证明是扩大BCE加工能力同时显著降低制造成本的重要且成功的一步，” Weiß博士满意地说。

### Adresses

BCE Special Ceramics GmbH, Markircher Str. 8,  
68229 Mannheim, Germany  
Tel. +49-621-483680, Fax +49-621-479296,  
info@bce-special-ceramics.de, www.bce-special-ceramics.de

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



来自Zecha的适用于陶瓷加工的工具：  
左：带有金属结合剂金刚石磨粒的磨削工具，右：具有众多确定切削刃的  
PCD铣削工具（照片：Klaus Vollrath）

### 罗德斯RXP501DS/601DSH系列机型

罗德斯 RXP501DS/601DSH HSC五轴加工中心的设计旨在满足最高的精度要求，同时即使在加工不锈钢或钛等难加工材料时也能提供高切削性能。它们配备无摩擦直线直接驱动器，与采用32kHz时钟频率的驱动技术相结合，能够实现高动态和高精度的加工。凭借这种提高的校正频率，可以在优化表面质量的同时显著减少加工时间。所有轴上的高分辨率光栅尺是实现这一目标的基本先决条件——在精度方面，罗德斯绝不妥协。得益于其精度和动态性，该机床也可用于坐标磨削。此外，Z轴配备了专利的无摩擦真空重量补偿系统。该设备具有复杂的温度管理系统，以确保最大的热稳定性。流经所有主要系统部件的介质温度控制在 $\pm 0.1$ 开尔文的精度内。另一个特点是基于PC技术的专用控制系统，其功能精确适配HSC高精度铣削或坐标磨削及其他磨削操作的具体任务。由于Röders基于工业PC和Windows操作系统自行开发了控制系统，硬件和软件的更新均可根据需要随时提供，这意味着机床的控制系统几乎永远不会过时。<<