

高性价比加工技术合作伙伴

# 内燃机

# 市场和行业

通过与用户多年来的紧密合作，MAPAL对切削加工领域的工艺和应用技术都有了深刻全面的认识。MAPAL提供的各种加工解决方案可适用的应用领域涉及各行业方方面面的加工制造。

多年以来，MAPAL潜心致力于创新技术的研发，以应对不断发展的汽车工业和大批量生产的挑战。这项创新技术不仅成功在内燃机领域得到大力应用，也在底盘与制动系统、传动系统以及电动出行领域展现了其出色的优势，并广泛获得知名制造商及其供应商的首肯。

凭借具有可靠工艺的解决方案，MAPAL已经成为了航空航天业值得信赖的合作伙伴，并且为这个领域的加工制造和切削工艺设定发展方向和标准。

多年来，即使在面对各种不同尺寸的液压和气动部件的高难度加工时，广大用户依然坚定信赖MAPAL的专业技术实力。此外，公司还提供全面的模具制造产品系列。





德国  
企业集团总部

### 贴近客户 - 遍布全球

保持与客户的密切联系、早期识别了解客户对工艺技术的要求以及持续的创新方法，是MAPAL策略的重要支柱。因此，MAPAL在世界上25个国家直接设立了生产和销售分部。通过这些分部，可以实现短距离的、个人间的联系并获得长期的伙伴关系。

除了在德国的重要生产场地之外，在世界其他战略上重要的市场投资建设当地生产设施，确保在全球范围内实现更短的交货时间。他们负责在当地对于选定产品进行制造以及再加工、提供维修服务并管理重复订单。

除了自己的分支机构外，MAPAL的产品还通过设在另外19个国家/地区的销售代理商向用户供货。



## No. 1

立方体工件切削加工技术领域的全球领导者。

在  
**25**个国家设有生产、销售和维修服务分支机构。

年度研发费用投入占全年销售

额的  
**6%**

同时有超过

**450**

名技术顾问可随时提供服务。

在全球范围招收有

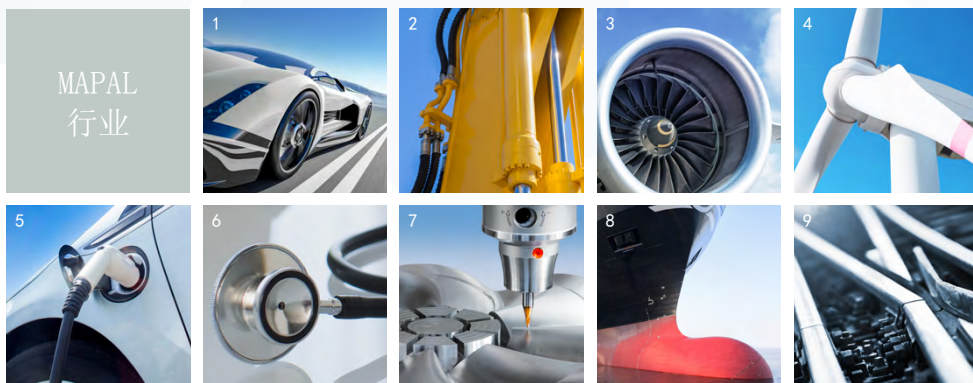
**300**

多名培训师。

我们最自豪的资产：

**4850**

员工分布在世界各地。



MAPAL  
行业

- 1 汽车
- 2 流体技术
- 3 航空和航天
- 4 能源生产
- 5 电动汽车
- 6 医疗技术
- 7 模具制造
- 8 船舶制造
- 9 轨道交通



公交车



小型货车

# 内燃机解决方案

## 精准满足复杂需求

尽管人们对新能源驱动技术的关注度日益增加，但是内燃机仍是现代交通的一个重要组成部分——特别是在混动车领域，以及那些对电动车基础设施发展仍有诸多限制的市场上，内燃机的存在仍然具有举足轻重的地位。内燃机组件不仅具有复杂的结构，同时它们还要承受极端的热负荷和机械应力，因而决定了相应制造工艺的严苛性。

在内燃机结构组件的切削加工中，比如：缸盖、曲轴或者连杆等部件，不仅加工精度需要达到微米级，还要求对材料特性、加工策略及工艺安全性具有深刻的理解。由于铸造品质存在的差异、混合材料的使用以及公差要求严苛等原因，极大提高了内燃机各部件的加工技术要求，进而使得加工技术成为内燃发动机最终是否能够实现出色的效率、性能和排放比的关键因素。

MAPAL通过提供定制化的刀具解决方案，为发动机制造面临的各种挑战提供了高效保障，可确保您获得最高的成本效益和工艺安全性。作为一家在精密刀具制造和提供全面加工解决方案有着丰富经验的制造商，MAPAL在加工结构复杂的发动机组件领域，具备深厚的专业技术积累。

MAPAL通过持续深入的市场调研，同时长期与大学、研究所和行业领先合作伙伴开展密切合作，加之与用户的大量直接交流沟通，总是能够及早识别技术的发展趋势，并将这一趋势优势转化为创新的加工工艺。因此，我们可以针对各种特定的应用场景，不断创建与之需求完全匹配的解决方案，并且致力于持续推动内燃机切削加工技术的不断发展。



# 目录

## 简介

专业内燃机制造综合实力	6
-------------	---

## 气缸盖

要求和加工流程	8
配气机构	10
喷油器孔	12
凸轮轴承孔	14
水堵孔	16
平面和密封面	26

## 气缸曲轴箱

要求和加工流程	18
气缸孔	20
水泵孔	23
曲轴轴承孔	24
平面和密封面	26

## 涡轮增压器

系统概览	28
涡轮增压器壳体	30
叶轮 / 工作轮	32

## 连杆

要求和加工流程	34
小端孔	36
大端孔	38
螺栓头支撑面 / 螺栓孔	39

## 曲轴

刀具亮点	40
------	----

## 摇臂 / 滚子摇臂

刀具亮点	42
------	----

## 轨道

刀具亮点	44
------	----

## MAPAL 服务

MAPAL 作为技术合作伙伴	46
图标	47



更多了解内燃机解决方案

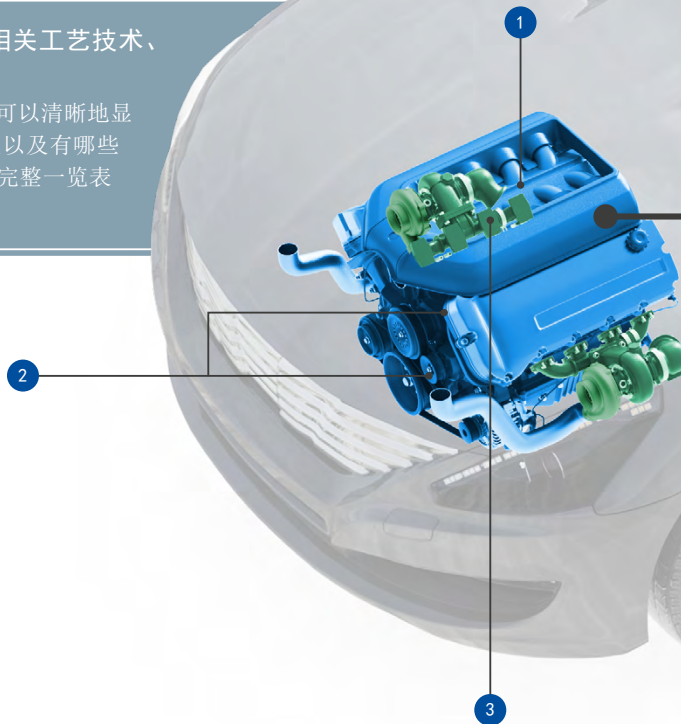
# 专业内燃机制造 综合实力

内燃机各组件——从气缸盖到曲轴箱到涡轮增压器——无不对金属切削加工技术提出了极致要求。面对各组件不同的材质、复杂的几何形状和严苛的公差，定制化的加工策略是做好技术保障的基础要求。

为此，MAPAL可为您提供广泛的刀具解决方案：从高精度铣削刀具、钻孔刀具到模块化铰刀系统，再到专用调整定心解决方案，一应俱全，全面周到！因此，我们可以针对每项加工任务，创建稳定的加工工艺——最终确保为您达到最佳的经济效益和工艺安全性。

通过使用各种图标可以使相关工艺技术、选项和功能特性一目了然。

针对每种解决方案，通过图标可以清晰地显示具体所使用的刀具系统方案以及有哪些可选的替代方案。所有图标的完整一览表请参见第47页。



## 内燃机解决方案

1

### 气缸盖

N

- 针对配气机构中精密铰孔和精密镗孔微米级公差要求的解决方案。
- 尽管铸件品质存在差异，也能确保复杂功能孔获得稳定可靠的加工工艺。

» 更多信息请参阅第8页起

2

### 气缸曲轴箱

N

- 同轴气缸孔和轴承孔的粗镗/精镗解决方案。
- 即使加工余量小、铸造品质有差异，还涉及混合材料的情况下，依然能够确保加工过程安全可靠。

» 更多信息请参阅第18页起

### 平面和密封面

N

- 针对平面加工可实现高光洁度、高平面度和无毛刺的品质——支持干式加工。
- 针对密封性要求高的功能面，设计提供特定表面轮廓加工可选方案。

» 更多信息请参阅第26页起

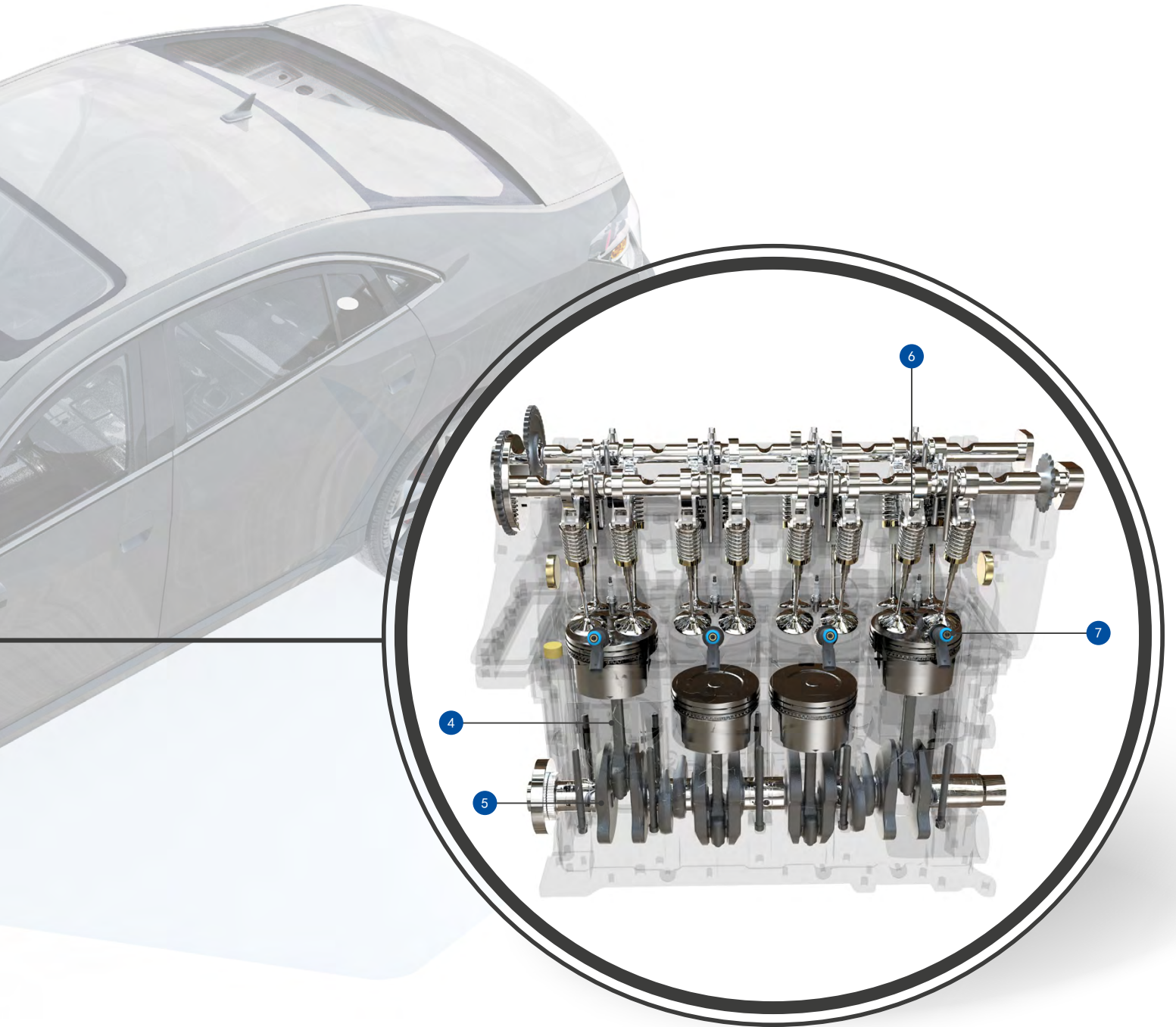
3

### 涡轮增压器

M K N S

- 针对耐磨、耐热材料上的复杂内部几何形状进行精确的轮廓加工。
- 针对薄壁区域和断续切削面，提供工艺安全的解决方案。

» 更多信息请参阅第28页起



**4** **P**

### 连杆

- 针对小孔和大孔微米级圆度要求，提供全面的复合加工方案。
- 针对各种变化的工件几何形状、钻孔位置和特定轮廓形状，提供适配的定制化解决方案。

» 更多信息请参阅第34页起

**5** **P**

### 曲轴

- 针对长深孔加工，具有稳定排屑控制，提供工艺安全的深孔钻加工能力。
- 在切削条件变化的情况下，实现各功能面的精确复合加工。

» 更多信息请参阅第40页起

**6** **P**

### 摇臂 / 随动臂

- 针对具有严苛公差和微米级圆度要求的小轴承部位，可实现高精精密加工。
- 针对铸造质量的差异和短节拍时间，提供工艺稳定的装夹方案。

» 更多信息请参阅第42页起

**7** **P**

### 轨道

- 针对坚硬的锻造表面和长深度钻孔，提供适配的深钻和铰孔方案。
- 针对公差要求严苛、密封性要求极高的高压通道，实现尺寸高精度内加工。

» 更多信息请参阅第44页起

# 气缸盖

在轿车领域，气缸盖通常由铝合金铸造而成。根据发动机燃料的不同，其结构和需要的加工特性也不同。气缸盖套装在气缸曲轴箱上，用于提供燃料和新鲜空气。

由于对气缸盖在质量和公差上的极高要求，使其成为发动机加工过程中最具挑战性的部件。

通过对阀门调节的精确控制和极小的凸轮轴轴承间摩擦损失，甚至在燃烧过程之前，就可以降低燃料消耗并减少排放。

## 在配气机构示例中所需的尺寸公差

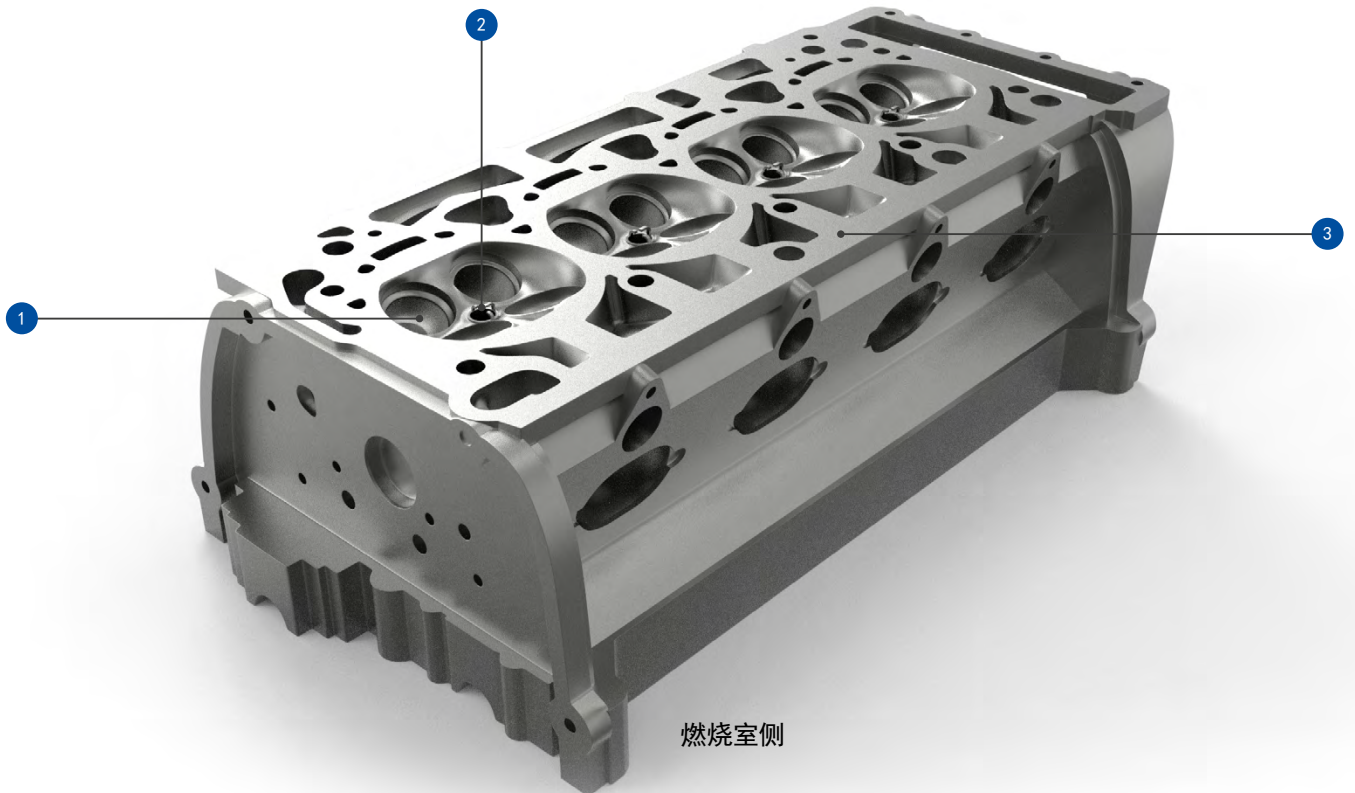
$\frac{H}{h}$  0,010 mm

$\odot$  <0,050 mm

$\oplus$  0,015 mm

$\bigcirc$  0,008 mm

$\perp$  0,010 mm



### 1 气门传动机构

配气机构的基础孔需要极高圆柱度的精密钻孔，并且直径公差要求也相当苛刻。铸造工艺造成的材料偏差波动也对加工带来不小的挑战。

» 更多信息，请参阅第10页起

### 2 喷油器内孔

喷油器孔径具有大的阶梯跳跃，也加大了排屑难度。同时不同的铸造状况也使得加工更为棘手。

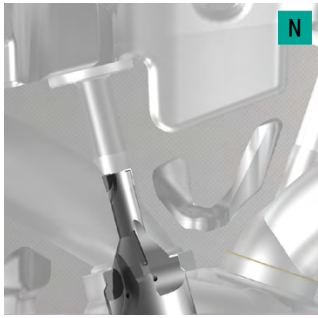
» 更多信息，请参阅第12页起

### 3 平面和密封面

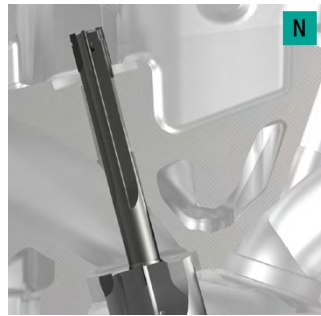
如何在平面铣削中，实现平面度、直线度和无毛刺加工至关重要。加工通常采用干式加工。

» 更多信息，请参阅第26页起

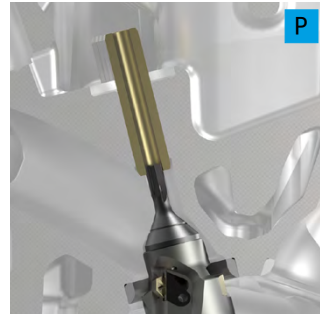
## 聚焦配气机构 - 基本加工流程



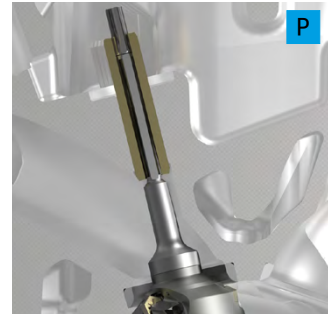
**1. 粗加工 - 基础孔**  
高进给率和大切削量需要配备加工稳定、高效排屑功能的PCD阶梯扩孔钻。在配气机构制造中，该加工步骤是所有后续工序的基础。



**2. 精加工 - 基础孔**  
多刃PCD阶梯扩孔钻，可极大确保加工的尺寸精度和表面光洁度。该加工步骤中的精度，对于后续气门座圈和气门导管的压装来说至关重要。

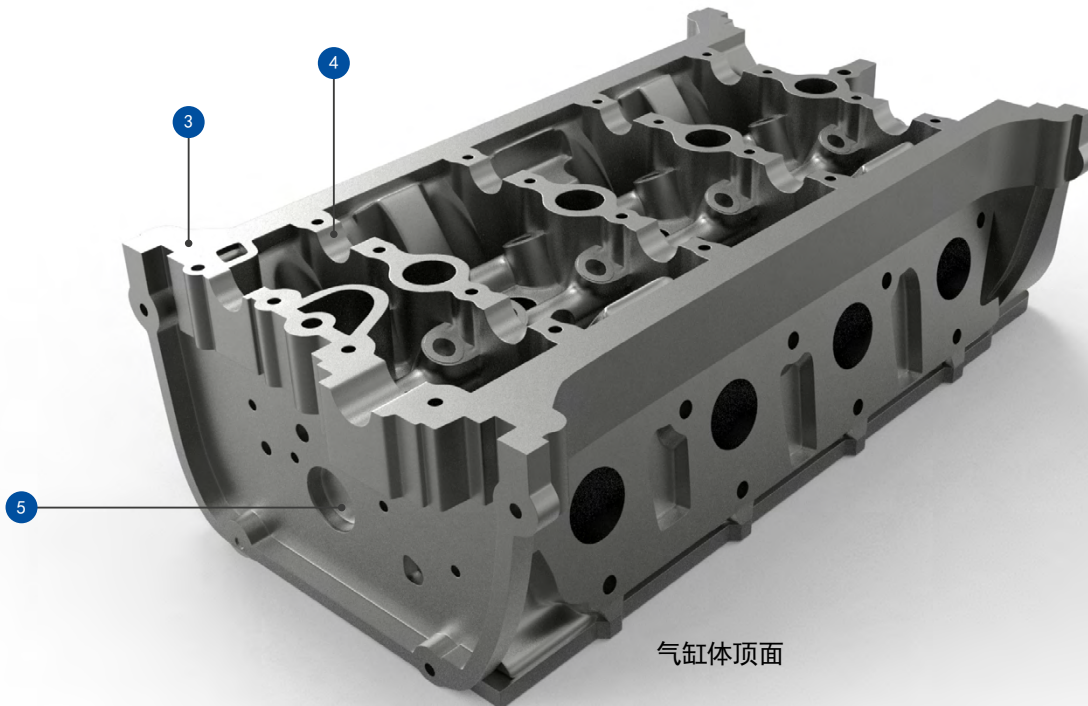


**3. 粗加工 - 气门座圈和气门导管**  
压入气门座圈和气门导管后，开始对硬质材料进行加工。在该过程中，要求的公差极其严苛并需要耐磨切削材料。



**4. 精加工 - 气门座圈和气门导管**  
对于精密密封面的加工，必须使用精密镗刀或铰刀才能确保高工艺稳定性和长刀具寿命。

压装气门座圈和气门导管



### 4 凸轮轴轴承孔

凸轮轴轴承孔要求极高的圆柱度和圆度。采用长刀具并通过断续切削对轴承台阶进行多次切入，是该加工任务的主要特性。

>> 更多信息请参阅第14页起

### 5 水堵孔

水堵孔表面必须无刮擦痕和无凹槽。该孔在加工后必须确保无切屑残留。

>> 更多信息请参阅第16页起

气缸体顶面

# 气缸盖 - 配气机构

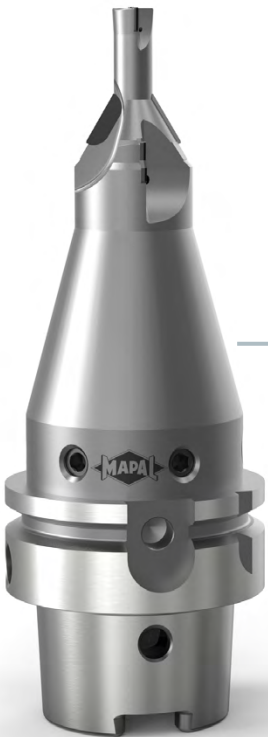
## 工艺条件

- 对形状 - 和位置公差精度要求高
- 圆柱度 10 μm
- 直径公差 15 μm
- 气门座圈和气门导管的同轴度
- 圆度 < 8 μm
- 气门座圈上的角度公差也在 μm 范围内
- 气门座圈采用高耐磨材料
- 高工艺安全性和高重复定位精度



## N 基础孔

### 1. 粗加工

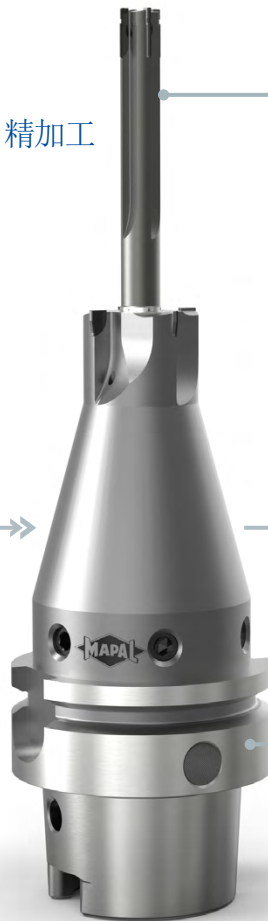


### 聚晶金刚石镗刀

短结构、高稳定性的刀具设计，可实现最高的定位精度。



### 2. 精加工



### 聚晶金刚石镗刀

多刃刀具方案，可大幅缩短加工时间。



**选项**  
通过增加齿数  
缩短加工时间

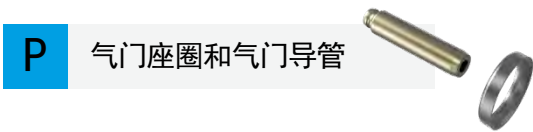
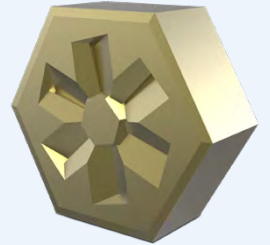


**选项**  
借助模块转接柄进行  
刀具校准，提高加工的  
工艺安全性



MAPAL 解决问题的综合实力  
HNHX - 12 个切削刃  
实现最高经济效益

- 根据结构部件的公差要求，可配置固定式刀片座或可调式刀片座
- 在实现充分利用切削刃的情况下，最多可重复使用 24 次
- 针对所有常见气门座圈材料，可使用不同的PcBN（聚晶立方氮化硼）- 切削材质



3. 粗加工

4. 精加工



**+ 选项**  
可调式精密镗刀，  
可实现最高公差要求

**+ 选项**  
通过固定式刀片座  
实现即插即用

导向-刀具

短结构、高稳定性的刀具设计，可确保后续精加工刀具能够实现最高的定位精度。

精加工刀具

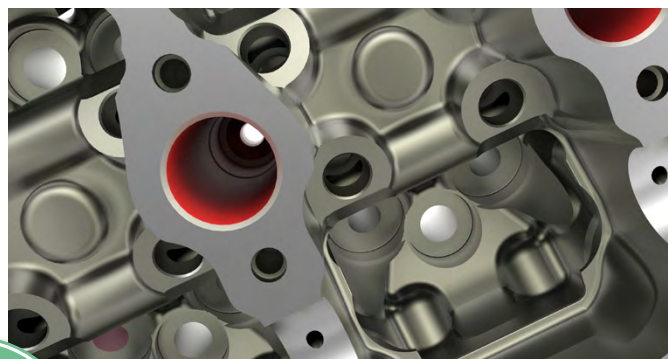
采用带EA-简易微调系统的可调式精密镗刀和快换式气门导管铰刀，实现高精度精加工。



# 气缸盖 - 喷油器内孔

## 工艺条件

- 极大的阶梯跳跃 >10 mm
- 由于结构部件的轮廓特性导致排屑极其困难
- 不稳定的铸造状况
- 表面光洁度要求高达至Rz 4-级
- 直径公差在 H7范围内
- 多种轮廓结构设计，具有多个公差要求严苛的半径和倒角 ( $\pm 0.1$  mm)



三步工艺流程，  
确保  
最高工艺流程  
安全性

## N 喷油器孔

### 1. 粗加工



#### PCD-阶梯实心钻

阶梯实心钻和阶梯扩孔钻，采用钎焊PCD - 切削刃和特殊设计的容屑槽，实现了最佳排屑效果。



### 2. 半精加工



#### 整体硬质合金阶梯钻头

采用特殊的切削刃几何形状和螺旋槽设计，可实现最佳断屑和排屑性能。



### 3. 精加工



#### PCD-阶梯铰刀

多刃阶梯铰刀，采用钎焊PCD-切削刃，具有特殊的切削刃几何形状以及加大的容屑槽设计，可实现最佳排屑效果。



两步工艺流程，  
实现最高生产率



MAPAL 解决问题的综合实力  
插拔式钻头，  
实现了资源节约化生产

插拔式钻头设计能够轻松更换已经磨损的阶梯实心钻台阶部分——无论扩孔工序处于哪个阶段都可方便更换。由于刀具后续可进行多次重磨，最大程度延长了刀具使用寿命。对于易磨损的钻头阶梯部分的精准更换，不仅节省材料成本而且助于可持续生产。



1. 粗加工

2. 精加工



带可更换整体硬质合金钻头的  
PCD-阶梯扩孔钻

通过可单独更换的阶梯实心钻台阶，  
最大程度延长了PCD-刀具寿命。

PCD-阶梯铰刀

多刃阶梯铰刀，采用钎焊PCD-切削刃和加大的  
容屑槽设计，可实现最佳排屑效果。



# 气缸盖 - 凸轮轴轴承孔

## 工艺条件

- 圆柱度 (15  $\mu\text{m}$  至 100  $\mu\text{m}$ )
- 圆度 < 5  $\mu\text{m}$
- 直径公差: 15 - 20  $\mu\text{m}$ 之间
- 表面质量 < Rz 5  $\mu\text{m}$
- 通过断续切削实现刀具多次切入
- 采用大长径比刀具



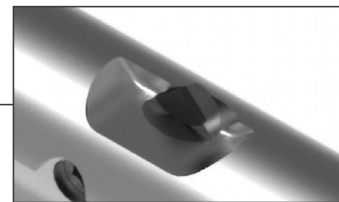
## N 凸轮轴承孔

### 1. 预加工和精加工

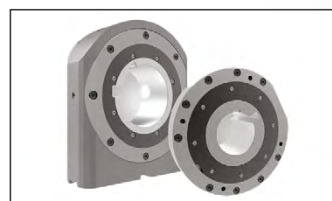
通过一站式  
解决方案，  
实现了  
最高生产率

## 线镗杆

通过带有滚动轴承或者滑动轴承的附加导条机构，完成一站式加工，达到极佳的孔直线度。



应用小尺寸结构镶片铣刀。



由于多重导条结构和完美校准的线镗杆，能够在加工深度很长的结构件时，实现极佳的孔直线度。

通过两步  
工艺流程，  
确保最高  
工艺流程安全性

## N 凸轮轴承孔

### 1. 粗加工



**+ 选项**  
通过多刃刀具设计，  
实现了最高进给率

### 2. 精加工



**+ 选项**  
通过多刃HPR-可换头，  
在缩短加工循环的同时，  
实现了即插即用的便捷  
换刀效果。

### 精镗刀具

带导条的精密镗刀，配置易于调节的HX-可转位刀片。



### 精镗刀具

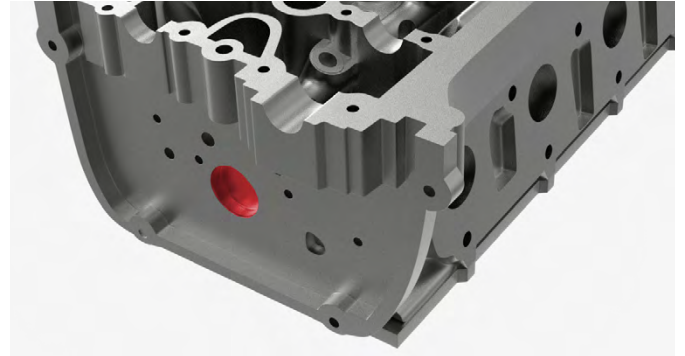
采用带导条的可转位刀片精密镗刀——  
通过方便调整的切削刃和附加预切削步骤，  
极大满足了极高质量要求。



# 气缸盖 水堵孔

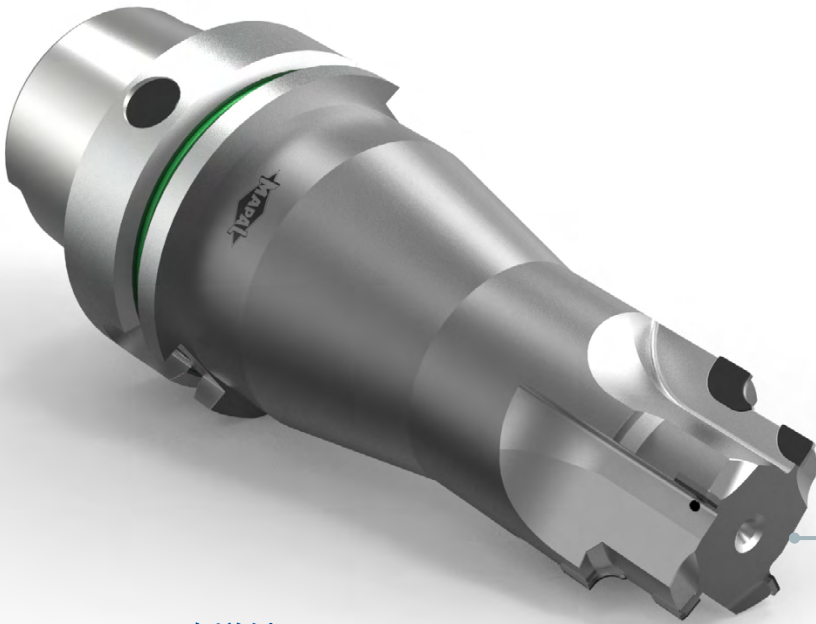
## 工艺条件

- 表面粗糙度  $Ra < 16 \mu m$
- 圆度  $0.05 \text{ mm}$
- 直径公差 H7
- 定位精度



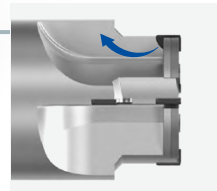
## N 水堵孔

### 1. 半精加工



## PCD-阶梯镗刀

短小紧凑的刀具设计，  
实现了极佳的刀具稳定性。



### + 选项

通过具有集成回冲清洗  
技术的排屑转向器，可执  
行安全可控的排屑过  
程。





MAPAL 解决问题的综合实力

通过创新的回冲清洗技术，确保排屑过程安全可靠

- 可控排屑技术，防止切屑滞留在结构件中，并降低清洁成本
- 通过清洁化的加工流程和极小的刀具磨损，实现高工艺安全性
- 由于表面质量光洁度高，确保了高品质的工件质量，从而显著降低了废品率

# 气缸曲轴箱

气缸曲轴箱，也被称为发动机缸体，是内燃机的中心承载机构。根据不同的车辆型号和发动机排量，机体有各种不同的结构和尺寸设计，从2-缸直列发动机到V型-排列的12-缸-发动机不等。由于铝合金材料具有重量轻的优势，目前铝合金材料在汽车领域得到了大量应用。这就需要在气缸孔中使用铸铁内衬或者耐磨涂层，以确保获得高里程数。在切削加工过程中，经常会遇到铝合金与铸件进行混

合加工，以及加工高磨蚀性涂层的情况。由于现代发动机的燃烧压力增加，相应也增加了其机械和热应力，进而对所加工特性提出了更高的质量要求。

在本气缸钻孔的示例中，所要求的尺寸公差



0,014 mm



0,020 mm



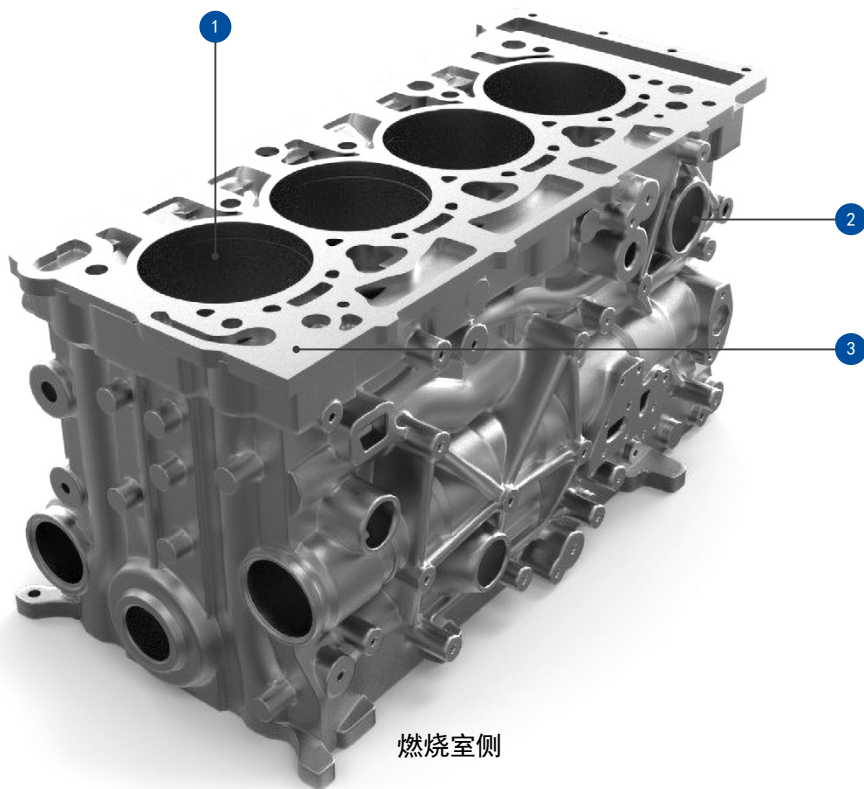
0,175 mm



0,009 mm



0,060 mm



1

## 气缸孔

气缸孔的加工需要极高的精度——尽管面临铸件尺寸差异大、需要加工混合材质、接近性差以及严苛的公差等诸多困难，但对精度要求绝不能含糊。

» 更多信息，请参阅第20页起

2

## 水泵孔

水泵孔的加工则要求极高的尺寸精度和密封性。加工通常采用多次切削，以确保获得精确的配合和精准的密封面。

» 更多信息，请参阅第23页起

3

## 平面和密封面

平面铣削加工工艺，主要用于加工气缸盖和气缸体之间的密封面。因此实现高平面度、直线度和无毛刺表面至关重要——尤其是在干式加工条件下。

» 更多信息，请参阅第26页起

## 聚焦气缸内孔加工 - 基本加工流程



**1. 粗加工 - 气缸孔**  
粗加工包括使用设计稳定的可转位刀片进行气缸孔径的扩钻。这些刀具能够从容应对材质差异大、加工余量差异大的加工。根据所加工材料的不同，可以使用 PCD 镶齿、或涂层HM硬质合金 - 可转位刀片，以确保刀具的长使用寿命和高加工精度。



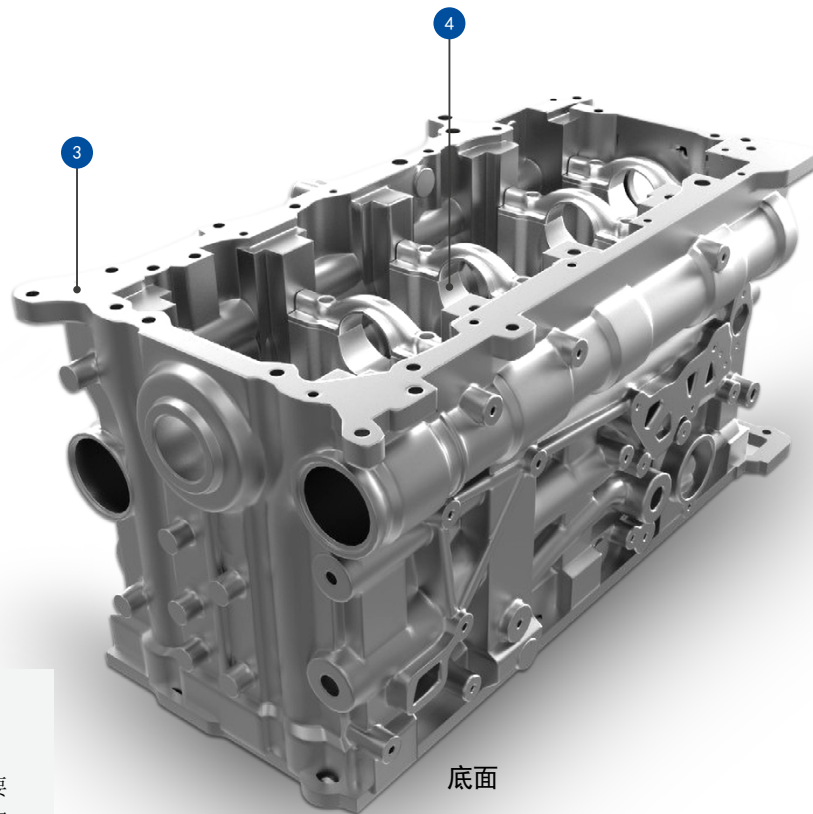
**2. 精加工 - 气缸孔**  
精密镗刀将孔加工到可以进行后续涂层处理或装入气缸套的精确尺寸。这些刀具设计专用于高稳定性和大进给量加工，能够完全确保所要求的尺寸精度和表面质量。



**3. 精加工 - 气缸转动面**  
在完成涂层处理或装入气缸套后，还需要对运行表面进行最终精加工。采用精密镗刀可确保极高的尺寸精度和形状精度，其具有切削刃补偿功能，可实现从孔径中无接触退刀。



**4. 珩磨所需的间隙**  
珩磨余量通常使用专用铣削刀具或者展开式刀具加工而成。复杂的过渡几何形状以及各局部混合材质加工，要充分考虑到刀具选择和切削刃材料选择都做到充分协调。



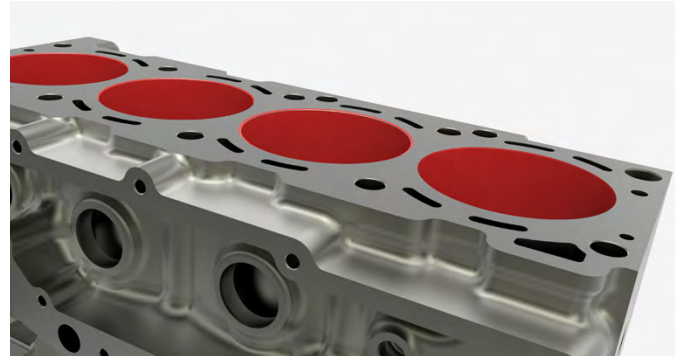
**4 曲轴轴承孔**  
需加工的孔位于多个轴承位置上，对于同轴性和圆柱度提出了极高的要求。因此采用长型刀具以及精细化加工策略，可同时确保达到所需的高精度。

» 更多信息，请参阅第24页起

# 气缸曲轴箱 气缸孔

## 工艺条件

- 铸造差异大且加工余量差异大
- 有时结构组件还结合使用耐磨涂层（LDS-涂层）
- 部分工序要求使用不同的材料进行混合加工 → 铝合金曲轴箱和灰铸铁气缸套
- 同时还由于结构部件的尺寸大，导致有些部位的加工很难接近
- 在珩磨前，直径公差高达40 $\mu$ m



## N 基础孔

### 1. 粗加工



## 镗刀

稳定且经济的刀具设计，配置可转位刀片和易于调节的短刀具夹紧杆，即使面对结构件加工余量差异较大的情况也能从容应对。



### 2. 精加工



## 带EA系统的精镗刀

紧凑型多刃刀具设计，可实现最高的加工进给率且调节简单方便。





**K** 带衬套的气缸运行面



3. 精加工

适用于各种  
机床设计方案的  
理想解决方案

加工中心

专用机床



**功能**  
微米级精度的切削刃调整——可在加工中心上手动或自动完成。



**功能**  
通过切削刃抬起，实现了无划痕退刀，因而确保极致工艺安全性



**选项**  
通过增加冷却液压力实现切削刃抬起。  
5-刃设计



珩磨所需的间隙  
在下一页

补偿刀具

切削刃补偿可在机床上通过端面的啮合直接自动实现。通过位置补偿和特殊刀具设计完成切削刃抬起，实现无接触退刀。



展开式刀具

根据不同的机床类型，可以通过拉杆、调节主轴或者旋转驱动器，实现切削刃的伸缩控制。藉此，实现非接触式退刀和对切削刃的精确再调整。



**K N** 气缸工作面

4. 珩磨所需的间隙

适用于各种  
机床设计方案的  
理想解决方案

加工中心

专用机床



圆铣刀

多刃刀具设计, 可灵活选择  
可转位刀片。



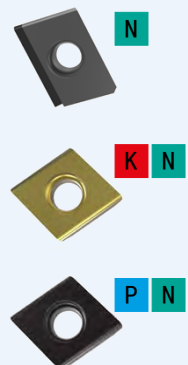
展开式刀具

通过拉/压杆对切削刃进行定位控制。灵活的多级轮廓加工。



MAPAL 解决问题的综合实力  
针对各种结构组件变量, 提供柔性化刀具方案

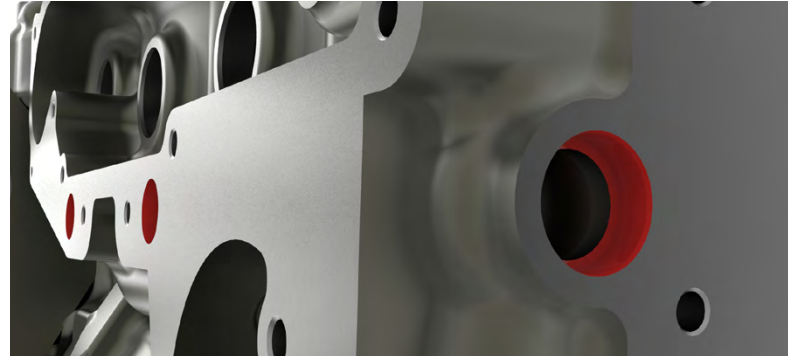
- 一把刀具 —— 提供多种切削刃选项方案, 适用于各种加工应用
- 适合混合材质加工 (铸造/铝或者铝/钢) 设定的可靠解决方案
- 专为径向过渡和难接近几何形状加工设计的特殊切削刃
- 直径公差高达±0.2mm时, 可实现最高加工精度
- 经济高效的批量生产加工方案



# 气缸曲轴箱 水泵孔

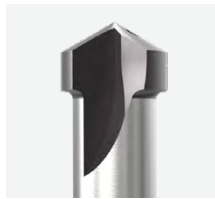
## 工艺条件

- 通过明确的圆角过渡进行多级阶梯钻孔
- 直径公差在H8范围内
- 圆度 10-20 μm



## N 水泵孔

### 1. 半精加工



- 功能**  
可更换  
整体硬质合金钻头

### PCD-阶梯镗刀

优化的 PCD 切削刃几何形状，实现了可控断屑，并且借助可更换整体硬质合金钻头，可在扩孔阶段最大化利用切削刃优势。



# 气缸曲轴箱 曲轴轴承孔

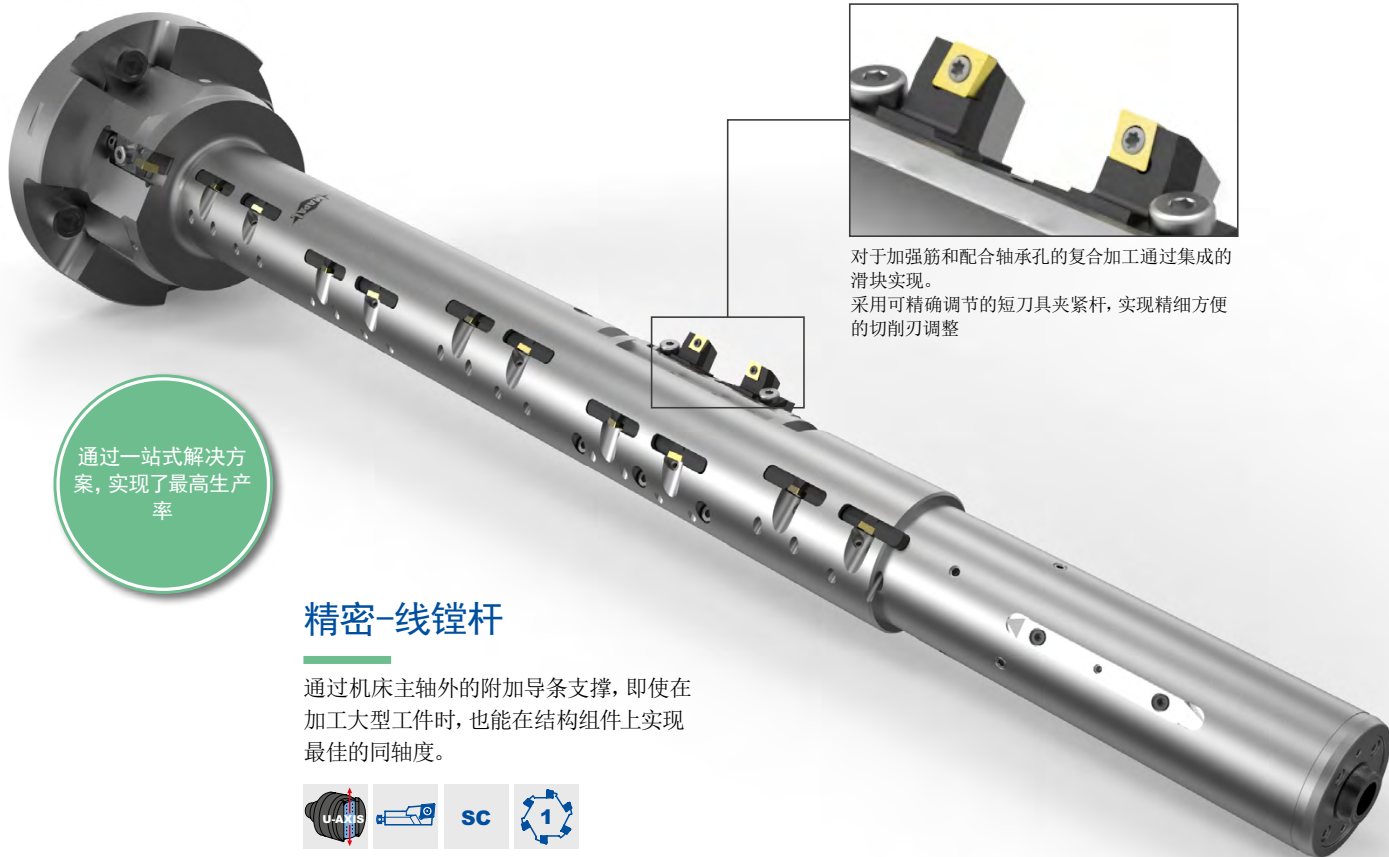
## 工艺条件

- 各轴承座圈之间具有极高的同轴度
- 通过断续切削实现刀具多次切入
- 由于可对各轴承座圈进行精加工，平稳实现了对混合材质的加工
- 直径公差 0.2 mm
- 表面光洁度要求达到 Rz 3.2 μm
- 圆度 < 3 μm



## K N 曲轴轴承孔

### 1. 预加工和精加工



通过一站式解决方案，实现了最高生产率

对于加强筋和配合轴承孔的复合加工通过集成的滑块实现。采用可精确调节的短刀具夹紧杆，实现精细方便的切削刃调整

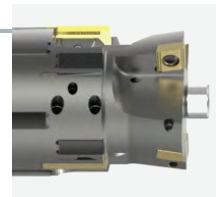
### 精密-线镗杆

通过机床主轴外的附加导条支撑，即使在加工大型工件时，也能在结构组件上实现最佳的同轴度。



## 2. 精加工

通过  
两步工艺流程，  
确保最高工艺流程  
安全性



### 选项

在精加工阶段，通过精细调整的可转位刀片，实现极高品质的表面质量



## 1. 粗加工



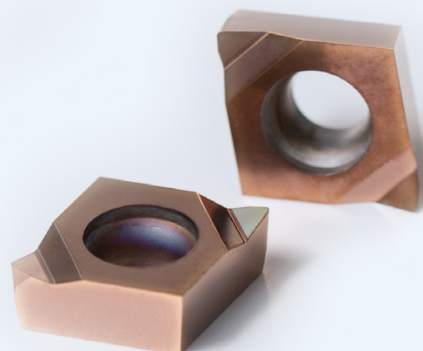
### 精镗刀具

在粗、精加工阶段的附加微加工，可满足最高的质量要求和工艺安全性。



### MAPAL 解决问题的综合实力 混合加工用的切削材料系列

对于铝-铸件或者铝-烧结钢等材料组合，要求特殊的切削刃材料。针对这些加工情况，MAPAL的产品系列中提供了适配定制基材、特定几何形状和TiAlN 涂层的可转位刀片，以延长刀具寿命并可达达到极高成本效益。



# 平面和密封面

内燃机平面密封面的加工，要求达到极高的尺寸精度、平面度和表面质量——且通常需要在干式加工条件下进行。

为此，MAPAL提供高性能的平面铣刀系列，它们拥有最大数量的齿数、稳定的刀具设计和最佳排屑性能。无论是粗加工还是精加工：这些解决方案旨在实现最大的经济性、高工艺安全性并达到最佳的工件质量。

## N 平面铣削

### NeoMill-T-Rough

切向即插即用粗加工刀具，可在获得高去除率状态下实现稳定加工。



粗加工

### FaceMill-Diamond

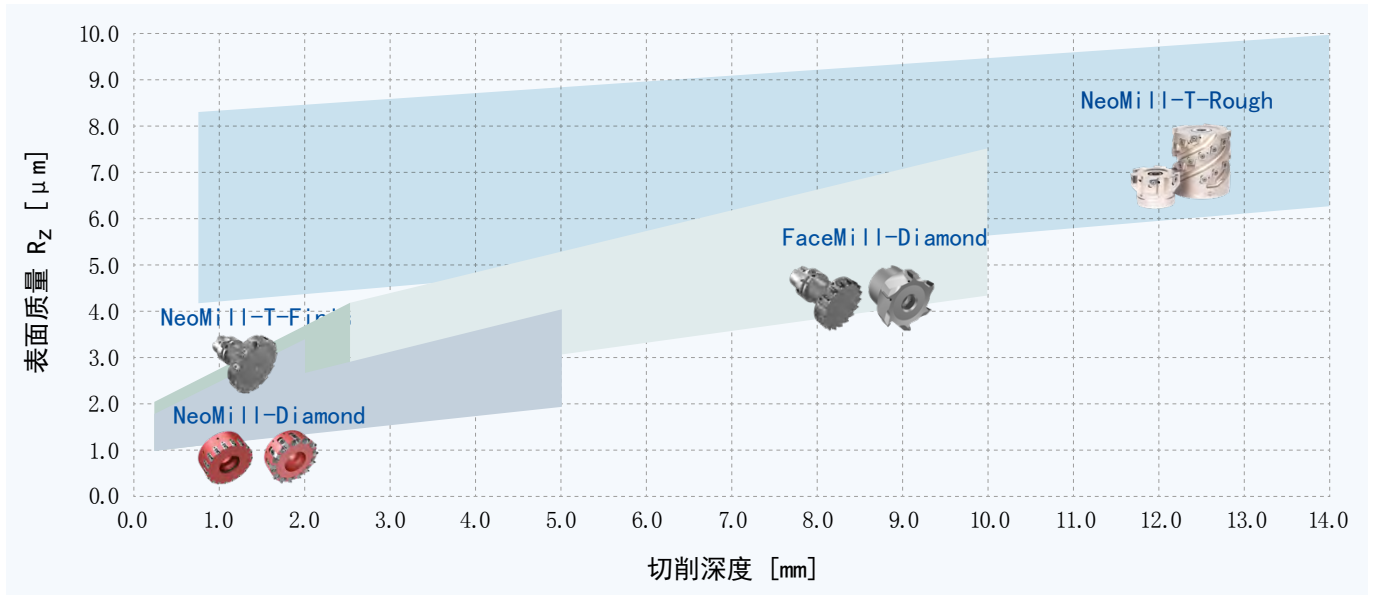
采用钎焊PCD-切削刃，坚固耐用、可重复研磨刀具。



**+** 选项  
通过最大齿数  
实现最高生产率

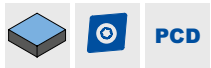
精加工

## 平面铣削系列概述



### NeoMill-T-Finish

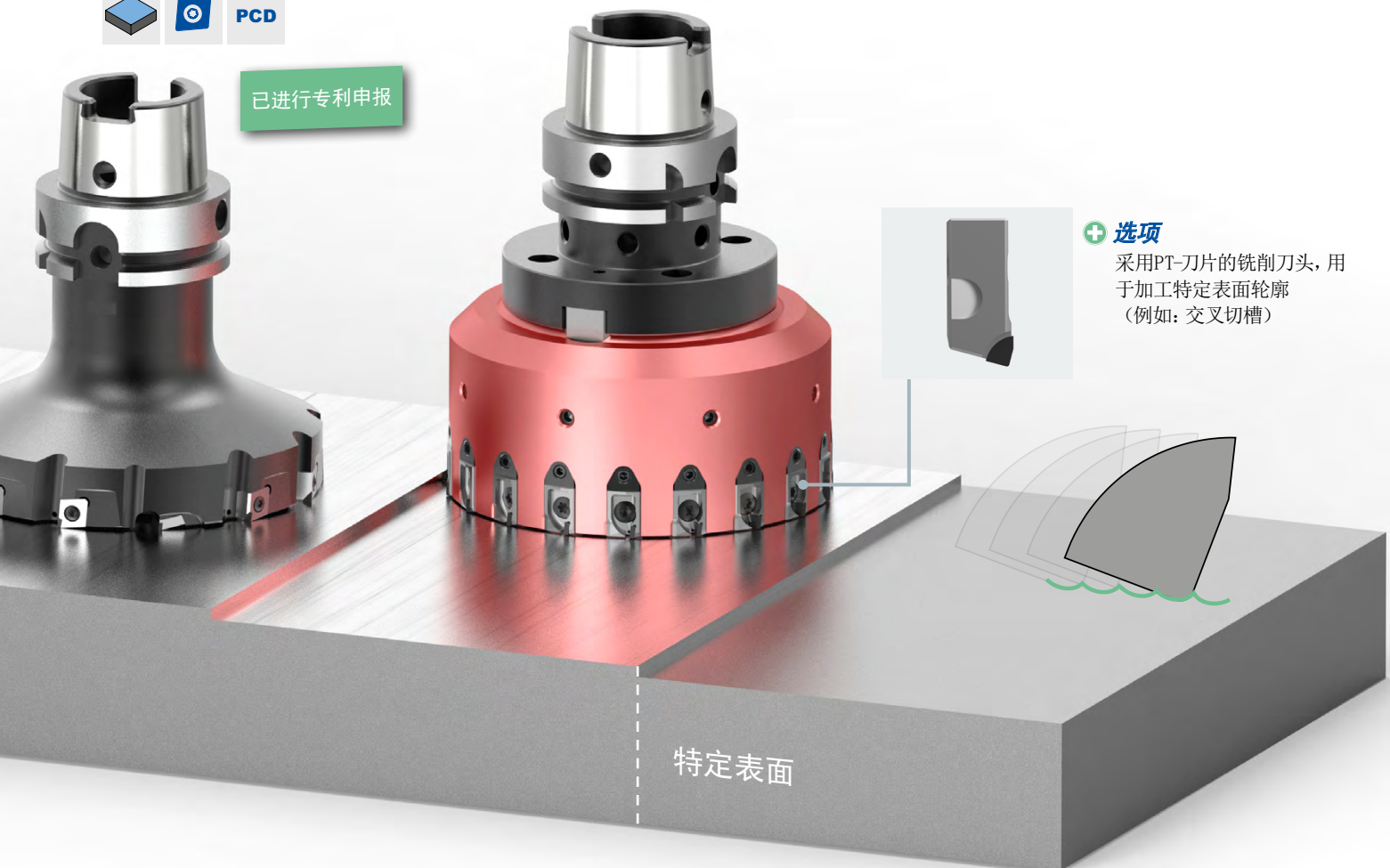
通过高精度刀片座，提供采用可转位刀片的即插即用解决方案。



已进行专利申报

### NeoMill-Diamond

铣削主刀体具有可更换PCD-刀片和精确的切削刃调节装置。



#### + 选项

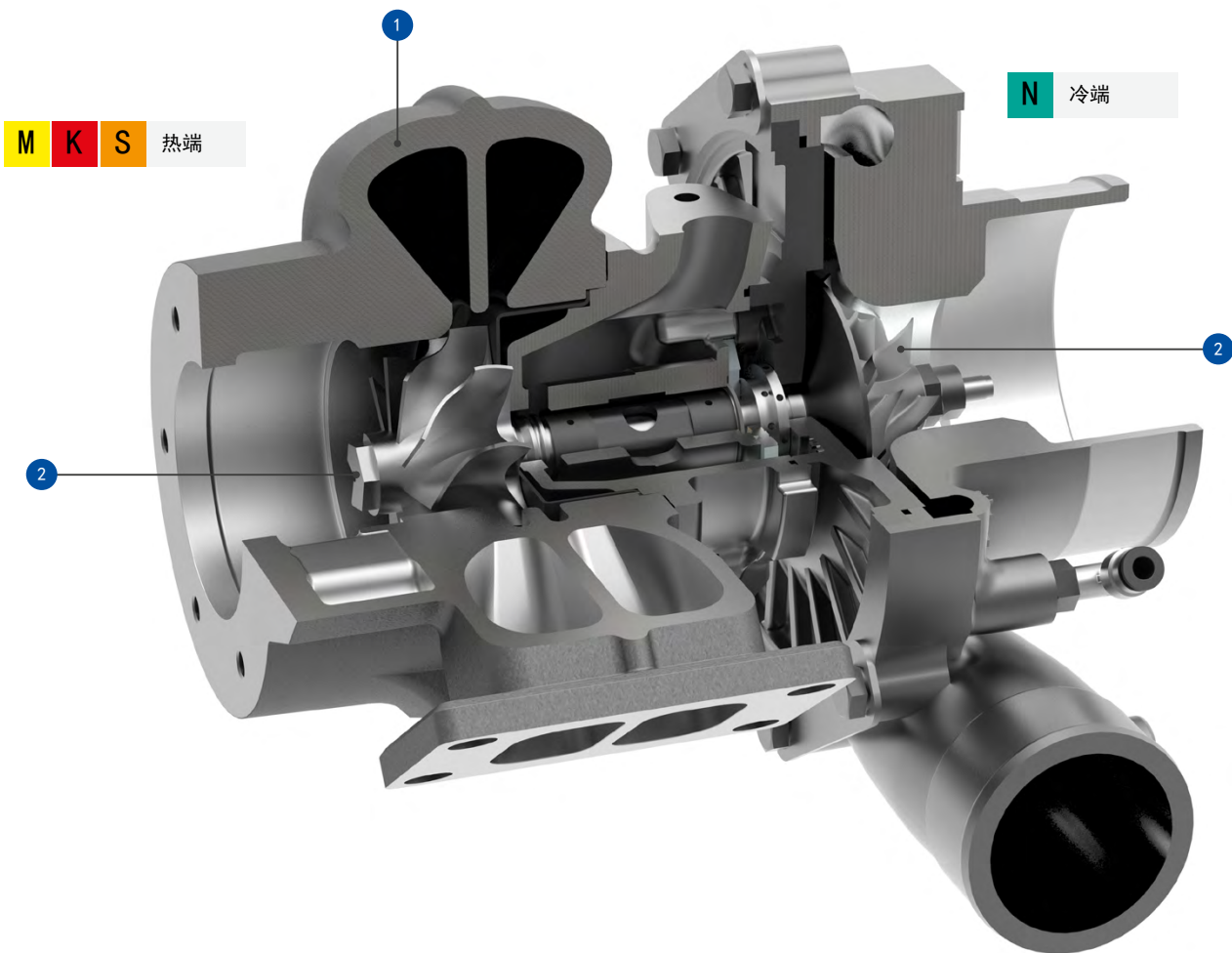
采用PT-刀片的铣削刀头，用于加工特定表面轮廓（例如：交叉切槽）

特定表面

# 涡轮增压器

为了提升现代内燃机的性能和效率，废气涡轮增压器得到了普遍的应用。这种压缩空气输送方式不仅提高了热效率，同时降低了排放——当前气候战略的一个关键要素。

在高达 $300,000 \text{ min}^{-1}$ 的转速下，对同轴性和圆度要求极高。特别是在排气侧（热端）使用的高合金、高腐蚀性材料对金属切削刀具的耐磨性提出了极高要求。即使每把刀具的使用寿命仅有略微的改善，在单件数量庞大的批量生产中，也能带来显著的成本优势。



1

## 涡轮增压器壳体

复杂的轮廓和高热负荷，要求加工精度高且表面无毛刺。

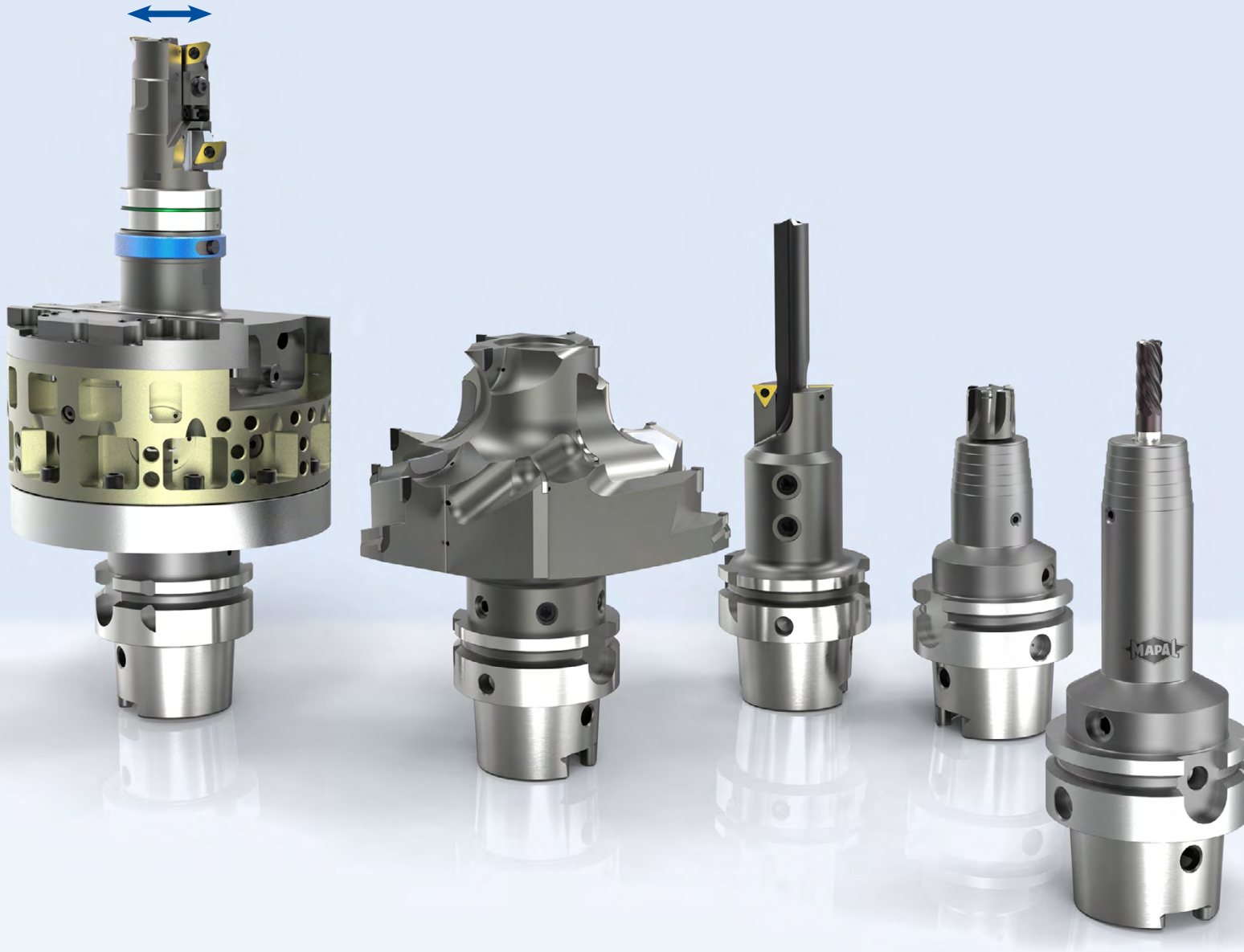
» 更多信息，请参阅第30页起

2

## 叶轮 / 工作轮

自由形状表面和高转速状态下的苛刻公差——对于承载动态负载的几何形状体的加工来说要求极高。

» 更多信息，请参阅第32页起



**MAPAL 解决问题的综合实力**  
**TOOLTRONIC - 一个功能齐全的附加刀具轴**

MAPAL展开式刀具在加工复杂轮廓、平面和切槽（例如：涡轮增压器外壳）时，能够达到的极高精度和柔性令人信服！借助该产品系列中的机电一体化刀具系统TOOLTRONIC，可以在加工中心（BAZ）上，仅一次装夹就能够以最高的精度对立方体工件实现最高效的加工。



# 涡轮增压器壳体

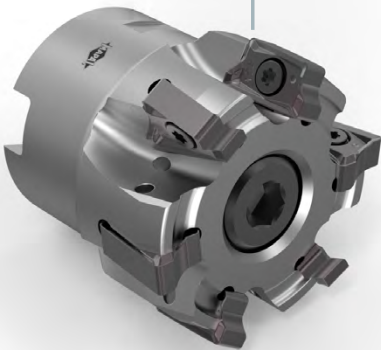
涡轮增压器壳在排气侧上，承受着极端的热应力和机械应力。它将温度最高达1050° C的热废气定向导入至涡轮增压器叶轮上，从而驱动其旋转。该壳体的几何形状，对于增压机的响应特性和效率起

着至关重要的影响。其材料通常会使用耐高温材料，比如：镍基或者铁基铸造合金。为此，加工过程需要精密的铸造工艺和精细复杂的后续加工，以确保高尺寸精度和高表面质量——特别是对流动工艺有重要影响的轮廓区域的要求更高。

## 工艺条件

- 高耐热性和极强磨蚀性材料
- 复杂的几何形状和轮廓，包含倒角、圆角和过渡区域
- 要求严苛的形状、位置以及表面公差
- 断续切削

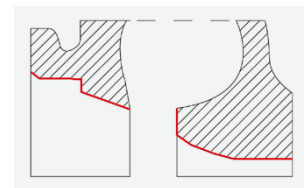
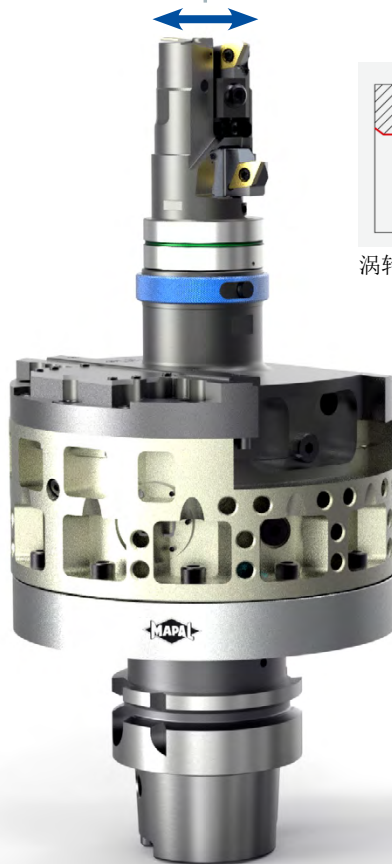
## K 热端



### 平面角铣

## NeoMill-4-Corner

采用短且稳定的刀具设计旨在实现最高的稳定性，并配备专门设计开发的可转位刀片，用以应对难切削材料的加工。



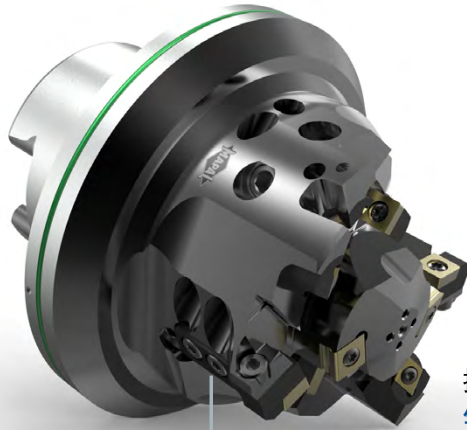
涡轮增压器多轮廓加工

### 内轮廓加工

## TOOLTRONIC-刀具

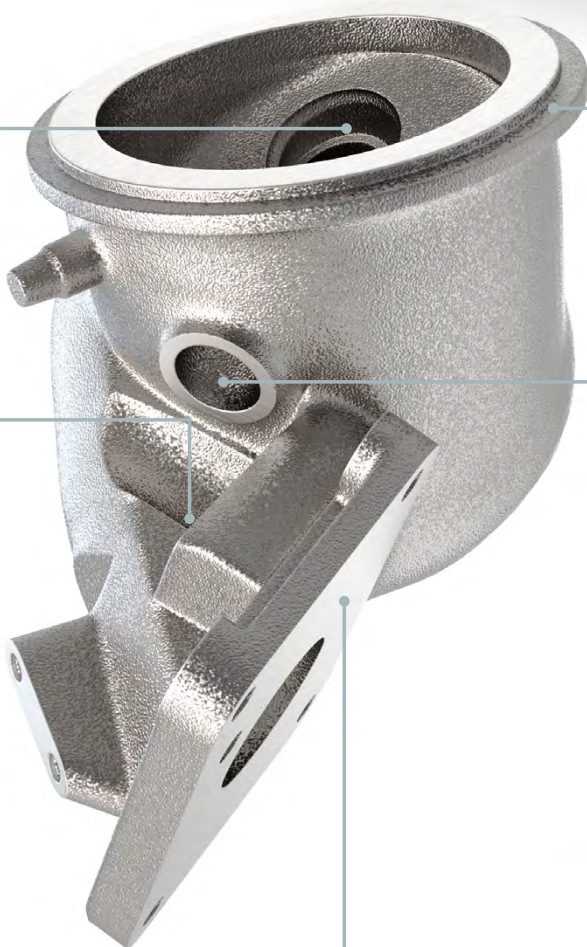
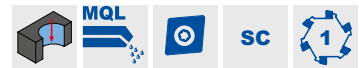
利用一个附加轴（U轴）实现更柔性化加工，为轮廓差异大或者磨损修正需求提供最大柔性。





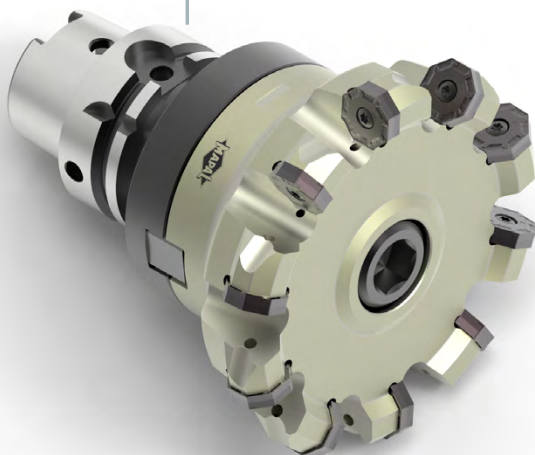
排气歧管的连续加工  
**镗刀**

采用可调式可转位刀片的刀具设计，大幅缩短加工时间。



控制销孔  
**高性能铰刀**

通过切削刃特殊排列的刀具设计，即使在最高进给率状态下也能实现最佳排屑效果。



涡轮增压器外壳连接面  
**NeoMill-16-Face**

采用最大齿数的16刃可转位刀片设计，实现了最长刀具寿命和最低单件加工成本。



# 涡轮增压器 - 叶轮 / 工作轮

叶轮是一台涡轮增压器压缩机端的中心部件。它将吸入的空气径向加速向外并压缩，从而提高进气压力和温度。

现代叶轮通常由高强度的铝材或者钛金属制成，采用5-轴-铣削加工或精铸方法制造完成。利用空气动力学优化的叶片几何形状，对于保证内燃机整体效率和增压特性至关重要。由于其最高转速可高达 $300,000 \text{ min}^{-1}$ ，因此对动平衡精度、强度和尺寸精度，都提出了极致要求。

## 特性

- 热端难切削材料
- 材料不同和合金成分不同
- 复杂且加工位置难以接近
- 极高的圆跳动精度要求
- 表面光洁度 $Ra < 0.4 \mu\text{m}$

M

S

热端

## ① 轴孔



### MEGA-Speed-Drill-Titan

特殊切削刃几何形状和涂层设计，可减少积屑瘤的形成并实现最佳排屑效果。



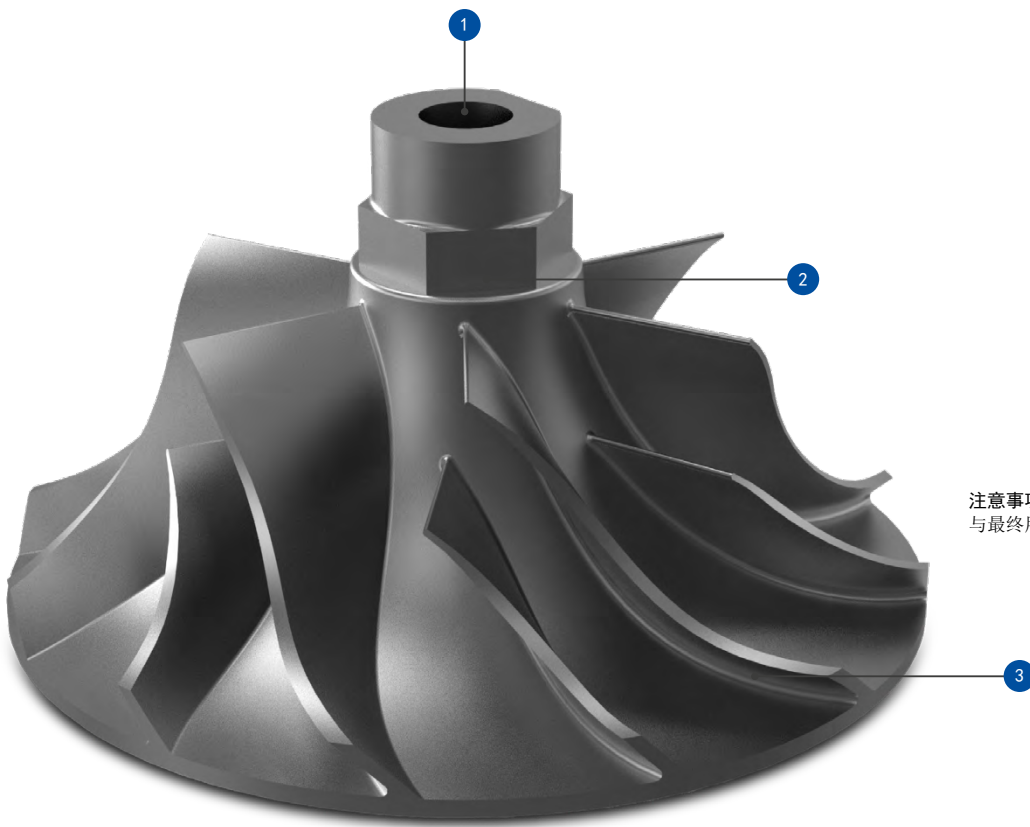
## ② 动平衡面



### 成型铣刀

多刃、应用涂层技术的整体硬质合金铣刀，专为难切削材料开发设计。





注意事项：  
与最终用户沟通合作完成几何形状设计。

## N 冷端

### 1 轴孔



#### Tritan-Drill-Alu

三刃整体硬质合金钻头，可实现极高进给率。



### 2 动平衡面

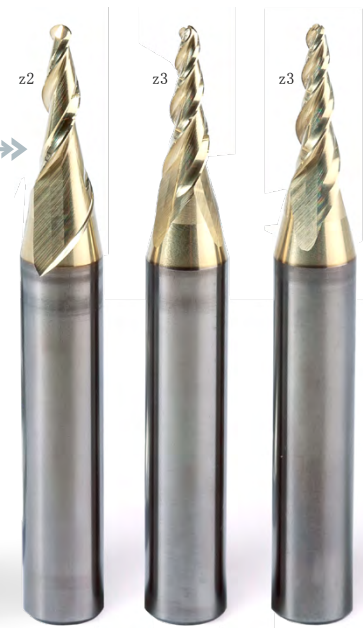


#### PCD-方肩铣刀

PCD多刃铣刀，旨在实现超长刀具寿命



### 3 叶片加工



#### 涂层成型铣刀

针对不同结构组件的轮廓定制化成型铣刀，用于粗加工、半精加工和精加工。



# 连杆

在发动机运行过程中，连杆承受着巨大动态应力。因此为了充分应对这些动态应力，通常采用高强度钢材，比如：70MnVS4或者C70等材料型号。需执行的任务：将活塞的直线运动转换成曲轴的旋转运动。为了最大限度地减少运动质量惯性力，需要尽可能优化减小连杆质量。其结果是得到方形-梯形-直至台阶形状的一个复合型变量体。这样的多样性特征，特别是在加工连杆的小端孔时，对具体

的加工工艺提出了很高的要求。不同的几何形状导致不同的起钻工况，因此不仅需要加工的高精度而且要考虑更经济的解决方法。在批量生产中，成本效益至关重要。大批量工件加工需要稳定的工艺流程、短节拍时间和长刀具寿命。

例如：在加工连杆小端孔时要求的尺寸公差为

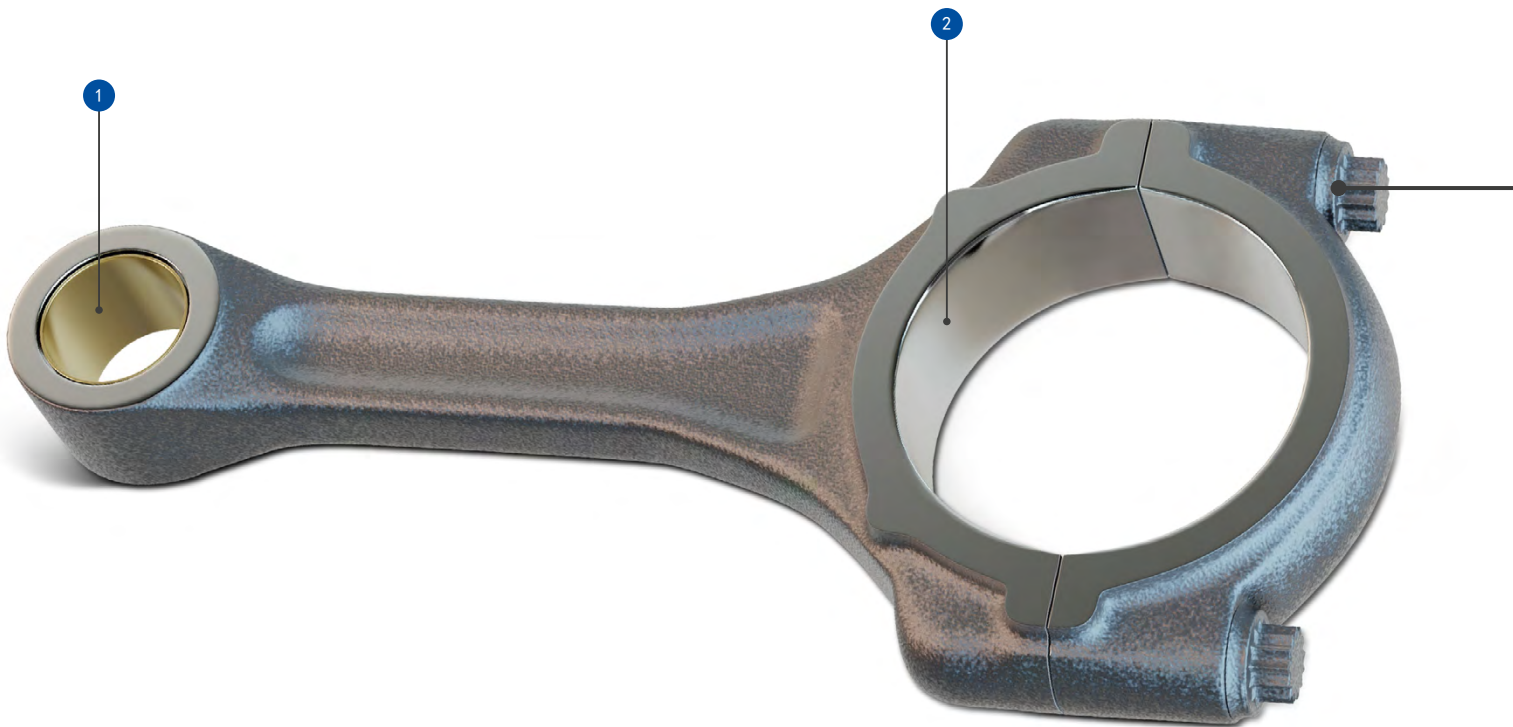
$\sqrt{R}$  4 - 6  $\mu\text{m}$

$\varnothing$   $\pm 3 \mu\text{m}$

$\oplus$  60 - 200  $\mu\text{m}$

$\bigcirc$  5 - 10  $\mu\text{m}$

$\sqrt{\quad}$  max. Ra 0,8  $\mu\text{m}$



1

## 小端孔

多样的形状变体、喇叭口形状和 $\mu\text{m}$ -级公差：使得连杆小端口加工需要极致的精度和高柔性化刀具解决方案。

» 更多信息，请参阅第36页起

2

## 大端孔

高切削力和苛刻的形状公差，要求稳定的刀具和精确的加工策略。

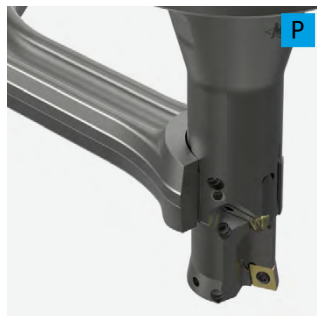
» 更多信息，请参阅第38页起

## 聚焦小端孔 - 基本加工流程



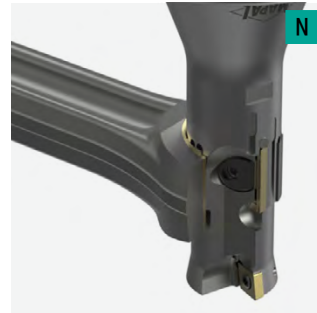
### 1. 粗加工

由于不同的连杆形状变化，需要更高柔性化的刀具解决方案。一款专用复合整体实心钻，将钻孔、扩孔和两侧倒角功能完美结合于一体。挑战：尽管几何形状不同，仍能保持稳定的工艺过程。



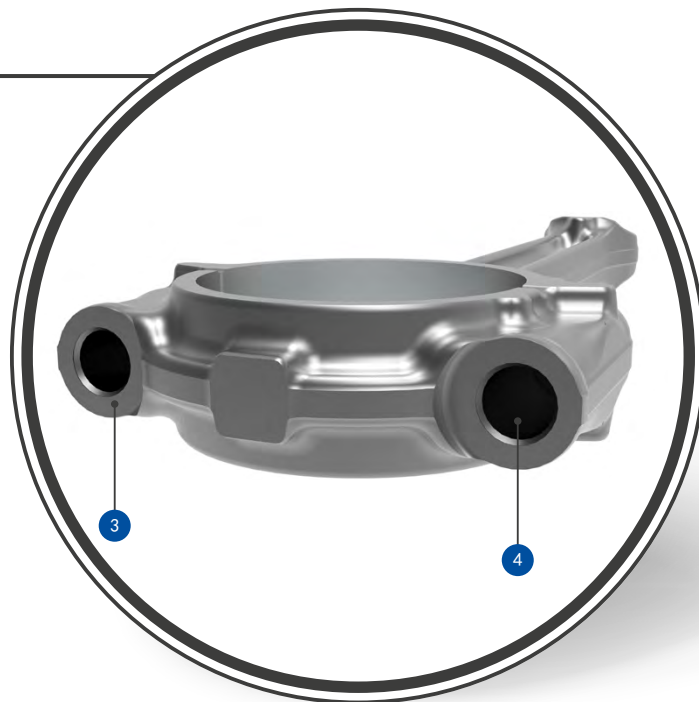
### 2. 半精加工

径向可调ISO-切削刃可以均衡形状偏差，并且为衬套的扩孔做好准备。高尺寸精度和均匀的材料分布，对于之后的配合至关重要。



### 3. 精加工

配置有PCD-导条的精密镗刀，可实现最优的表面质量并达到低于10 μm的圆度。



3

### 螺栓头支承面

精确的表面加工确保形成安全的螺栓座平面——在连杆外形不同的情况下，可持续保持高尺寸精度以及高几何形状精度。

>> 更多信息，请参阅第39页起

4

### 螺栓孔

公差苛刻的多级孔径——要求稳定的刀具和优化的切削刃几何形状，以确保最大的工艺安全性和长刀具使用寿命。

>> 更多信息，请参阅第39页起

# 连杆 - 小端孔

## 工艺条件

- 由于不同的连杆形状变化，存在各种不同的起钻和扩钻情形
- 最大表面光洁度要求为Ra 0.8  $\mu\text{m}$
- 直径公差为6  $\mu\text{m}$
- 圆度为5 - 10  $\mu\text{m}$
- 存在部分特定孔径形状，比如：喇叭形



## P 小端孔

### 1. 粗加工



### WP-整体实心钻

短结构、高稳定性的刀具设计，仅需一把刀具就能完成钻孔、扩孔和双面倒角。



### 2. 半-精加工和精加工



### 精镗刀具

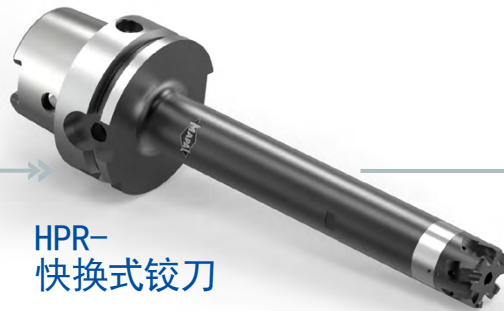
粗加工阶段，旨在实现最长刀具寿命且满足精镗加工阶段所要求的最高质量要求。



最长刀具寿命

针对每个需求，  
制定正确的  
解决方案

最高生产率



### HPR-快换式铰刀

多刃、可重磨可互换头，旨在缩短加工周期并且延长刀具使用寿命

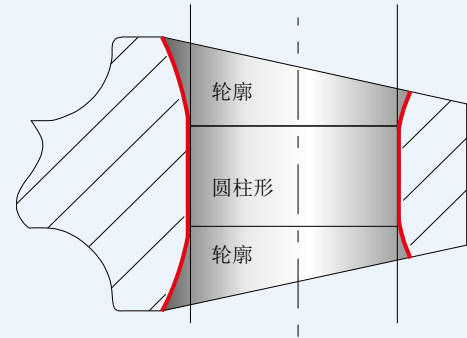




MAPAL 解决问题的综合实力

喇叭形

喇叭形设计可最大限度地减少边缘压力，并确保活塞销和连杆之间实现最佳的动力传递。这种形状有助于充分利用材料特性，并且补偿活塞销在连杆小孔中的变形。



N 带衬套的小端孔



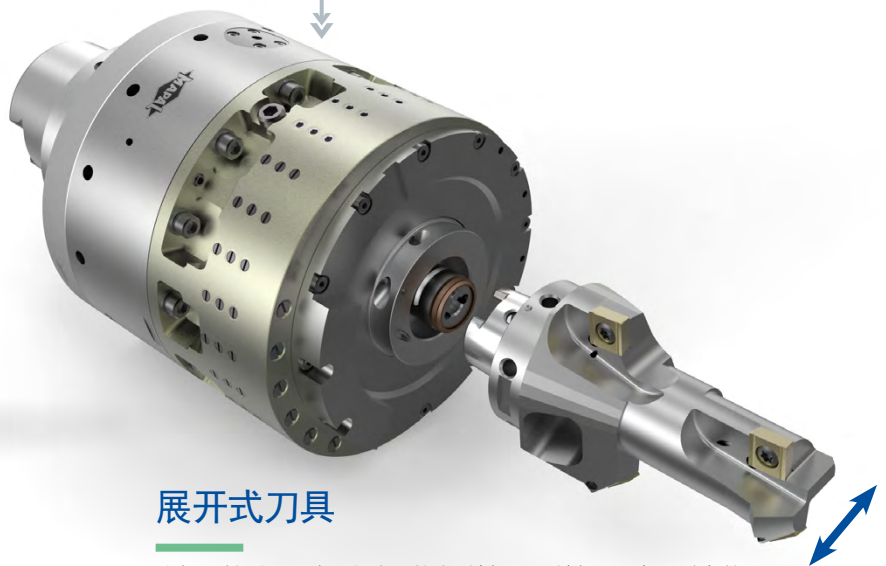
更多了解  
展开式刀具！

3. 精加工



圆柱形

喇叭形



精镗刀具

粗加工阶段以及可调节WP-精加工阶段，旨在满足最高质量要求并最大延长刀具寿命。

展开式刀具

附加U-轴适用于大、小端孔的半-精加工和精加工。实现最高的轮廓加工柔性化以及简单的轮廓修磨。



# 连杆 - 大端孔

## 工艺条件

- 在裂纹槽上采用耐磨硬质金属
- 不同的加工余量状态
- 对孔径几何形状有极高的质量要求
- 圆度为5-8  $\mu\text{m}$
- 直径公差为10  $\mu\text{m}$
- 特定表面质量值为：从  $\sim \text{Rz } 6 \mu\text{m}$  至  $\text{Rz } 11 \mu\text{m}$



## P 大端孔

### 1. 粗加工



### 粗加工刀具

稳固的多刃刀具设计，旨在组合多个工艺步骤（粗加工、扩钻、倒角）。



### 2. 精加工



### 精镗刀具

针对特定尺寸进行扩钻和精钻，同时实现最长刀具寿命和最高质量要求。



# 连杆 - 螺栓头支承面 / 螺栓孔

## 工艺条件

- 定位精度为  $\pm 0.10$  mm
- 表面光洁度为  $Ra\ 3.2\ \mu m$
- 同心度为  $0.20$  mm
- 直径公差为  $0.05$  mm -  $0.10$  mm
- 多阶梯跳跃孔径结构
- 由于更高硬度的锻造外壳，使材料加工难度更大



## P 螺栓头支承面

### 1. 切槽/铣削



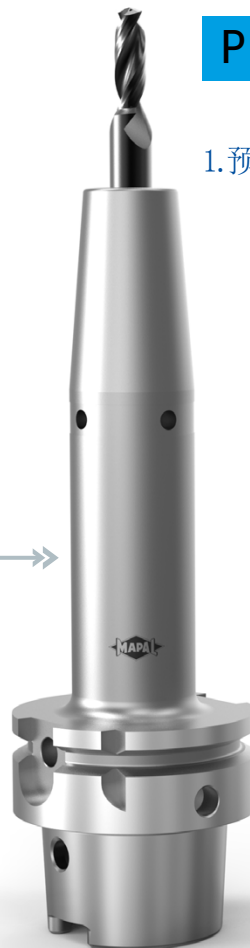
## 整体硬质合金铣刀

过中心切削端面几何形状，用于进行支承面的铣削和切槽。



## P 螺栓孔

### 1. 预加工和精加工



## 整体硬质合金阶梯钻头

一次装夹完成多步骤加工的设计，在扩孔阶段实现最佳断屑效果。



# 曲轴

曲轴的基本结构设计取决于气缸数量和发动机配置。为了减少排放，对于大多数锻钢材质的曲轴进行轻量优化的趋势日益增加。对于本来就结构复杂的部件来说则需要增加额外的加工步骤。

与此同时，不断增加的内燃压力则导致更高的弯曲和扭矩载荷——从而在尺寸精度、强度和表面光洁度等方面对工件的质量要求更加严苛。

## 工艺条件

例如：中心缓冲孔：

- 多次钻孔
- 钻孔深度可达800 mm
- 特定的工艺参数，可同时执行钻孔和去除毛刺工序
- 同轴度
- 由于铸造品质差异导致切削条件不同

## P 曲轴



### 法兰面和轴颈面 NeoMill-16-Face

采用最大齿数的16刃可转位刀片设计，极大降低单件加工成本



### 油孔 MEGA-Deep-Drill-Steel

优化的几何尺寸精度和HiPIMS-涂层，可极大确保高进给率深钻加工的工艺安全性。





更多了解实心钻和倒角！

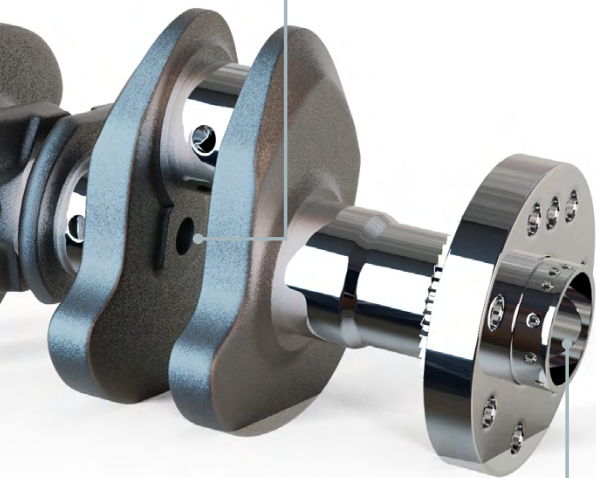
### 中央泄压孔 TTD-钻孔去毛刺刀具

带有TTS接口的可换头系统，以及可更换倒角刀片，用于粗倒角和/或反向倒角。



#### 功能

MAPAL可换头系统配合HEULE公司定制倒角刀片，用于孔的入口和出口加工。



### P 端面轴承孔

1. 粗加工



2. 精加工



### 高性能铰刀

多刃即插即用-铰刀，用于执行直径和倒角的精加工。

### WP-钻头

短结构、高稳定性的刀具设计，仅需一把刀具即可完成多个（粗加工、扩钻、倒角）工序的加工。



# 摇臂 / 滚子摇臂

对进气门和排气门开闭的精确控制，对现代内燃机的性能和效率至关重要。在汽车技术中，每个气缸通常使用四个阀门——两个用于进入新鲜空气或空气-燃料混合物，两个用于排出废气。根据

发动机设计方案，由摇臂（滚子摇臂）承担气阀驱动工作。其目的是将运行部件之间的摩擦和磨损降到最低。通过集成的气阀盘，可以精确地校准气门间隙，以确保稳定的燃烧过程并且预防发动机的损坏。

## 工艺条件

### 轴承孔示例：

- 直径公差在H7范围内
- 表面光洁度要求Rz 3 μm内
- 圆度在几微米内
- 铸造品质差异大

## P 配合孔

### 1. 精加工

## WP-精密镗刀

带导条的精密镗刀，配置可调节切削刃，可满足最高的质量要求。



针对每个需求，  
制定正确的  
解决方案

最高精度

极高生产率



## HPR-快换式铰刀

带HFS-接口的多刃可重磨铰刀，极大简化了刀具更换过程。



**P** 轴承孔

1. 精加工



极高生产率



**HPR-快换式铰刀**

配有HFS-系统的多刃可重磨、可换头铰刀，在机床加工中实现了快速换刀。



针对每个需求，  
制定正确的  
解决方案

最高精度



**WP-精密镗刀**

导条刀具和可调节可转位刀片，用以满足最高的质量要求。



# 轨道

和采用共轨系统的柴油发动机一样，在先进的汽车发动机中，也越来越多地将燃料直接注入燃烧室。混合气体只能在燃烧室中形成，从而提高内燃机的性能和效率，并最大限度地减少了排放。最高可

逐步上升至 2500 bar 的喷射压力，对内燃机部件和材料的要求提出了极大的挑战。为此使用了例如：铸钢或者不锈钢等极难加工材料——极大地提高了加工工艺的难度。

### 工艺条件

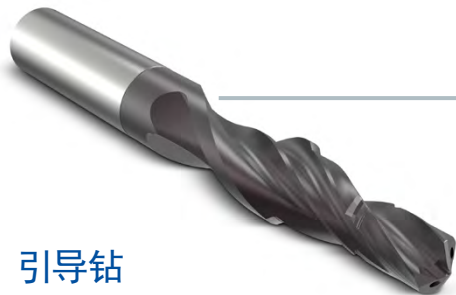
#### 中心轨道孔示例：

- 极坚硬的锻造外表层
- 高达25xD极限钻孔深度
- 直径公差 0.20 mm
- 长切屑材料

## P 轨道

## P 中心轨道孔

1. 粗加工



### 引导钻

专门设计的几何尺寸用于加工难切削的锻造外表层，与后续的深孔钻完美配合。



2. 实心钻孔



### 深孔钻

优化的几何尺寸和涂层，即使在极限钻孔深度下，也能实现卓越的加工性能和最佳的排屑效果。



### 高压连接 实心钻头

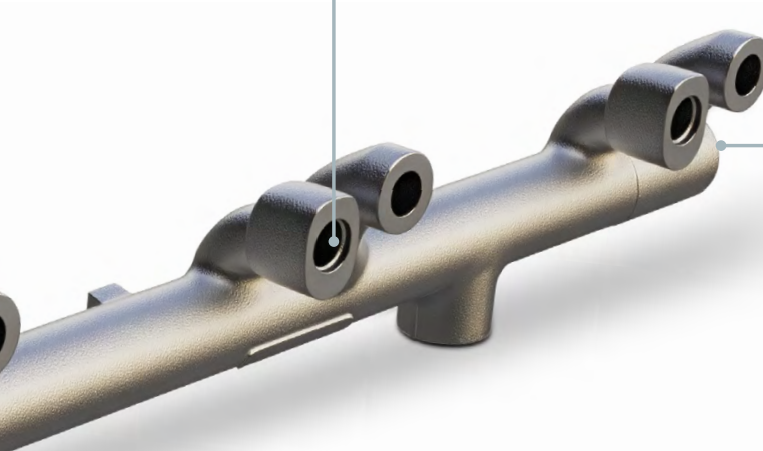
整体硬质合金钻头专用于最小孔径。





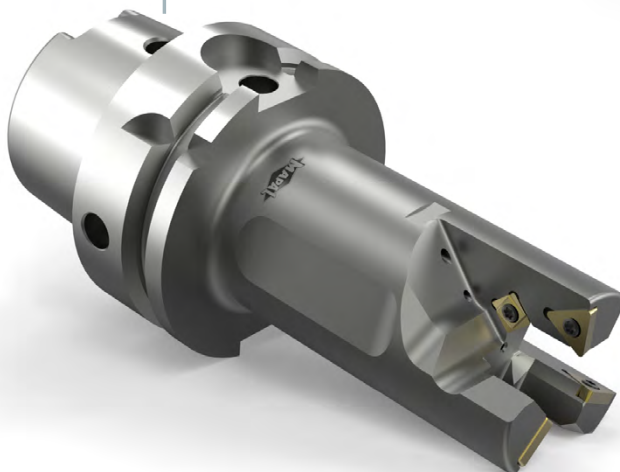
喷油器内孔  
涂层  
整体硬质合金阶梯铰刀

特殊刀具设计，在阶梯过渡处可实现最佳的切削力分布和切屑控制。



尾端加工  
面铣刀

多刃组合刀具，用于平面铣削以及前端倒角的粗开槽。



连接加工  
端面铰钻

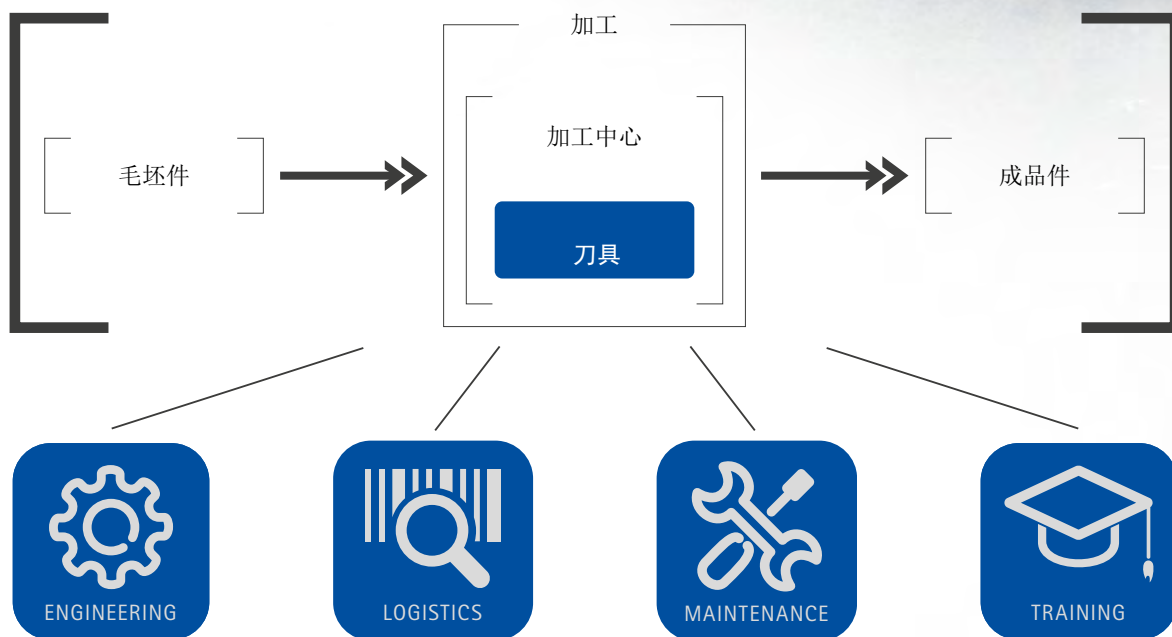
采用可转位刀片整体刀具设计，用于加工直径和倒角。



# 个性化， 以需求 为导向的服务

MAPAL以立足于研发制造专用刀具为立身之本我们的工作重点始终在于为各项加工任务和各种工艺流程提供全面完善的咨询和支持服务。




























通过涵盖范围广泛的服务组合，MAPAL在生产各个阶段和各个范围中为用户提供全方位的支持。而无论用户是否建立了新的生产设施、是否优化了工艺流程、是否引入了新的技术、是否已经为机床加装了新的组件、是否优化了刀具库存，亦或者其员工的专业知识是否已经得到了扩展，MAPAL总是他们最强有力的后盾。



通过工程设计服务模块，MAPAL可以确保为客户提供快速、精确和安全的加工。同时在物流和维护领域的深耕，为用户挖掘了更多的成本节省潜力。在培训方面MAPAL基于自己的经验积淀，致力于向客户提供透明、完整的专业知识传输 — 极大帮助了客户在竞争环境中占据决定性的领先优势。

在MAPAL提供的所有服务项目中，所坚持的核心就是为您获得最佳的工艺流程提供全面的服务支持。始终抱定一个目标：致力于为保障客户生产的平稳、高效和经济性的加工做出自己的贡献。

# 图标

加工工艺	➤	 <p>铣削</p>	 <p>钻孔</p>	 <p>铰削和精镗 H7</p>	 <p>展开式刀具</p>
冷却	➤	 <p><b>MQL</b> 微量润滑 减少润滑剂消耗，确保清洁、可持续的工艺流程——是全面贴近先进制造理念的最理想方案。</p>			
切削刃技术	➤	 <p><b>固定式切削刃</b> 高稳定性和圆跳精度，实现最大的工艺安全性——是批量加工中获得大进给量和长刀具寿命最理想的解决方案。</p>	 <p><b>可以互换的切削刃</b> 快速换刃无需重新校准，大幅节省制备时间并降低成本，尤其适用于大批量生产且材料更换频繁的情况。</p>		
		 <p><b>可调式 - 短刀具夹紧杆</b> 可手动精确方便微调的可转位刀片，同时实现了精钻和扩钻——通用性和成本效益高。</p>	 <p><b>可调式 - 铣削刀片</b> 可调式PCD-铣削刀片，可精准进行Z向-校准，实现了完美的平面加工——也是特定表面轮廓加工最理想的选择。</p>		
		 <p><b>MP</b> 可调式 - MAPAL - 原理 对直径和锥度的高精度调节——是公差要求严苛及高重复精度要求的孔加工最完美的解决方案。</p>	 <p><b>EA</b> 可调式-EA-简易微调系统 简单而精确的直径调节——背锥已集成在成套方案中。可最大限度减少操作失误，并降低培训成本。</p>		
切削材料	➤	 <p><b>PCD</b> 为NE-金属(有色金属)加工提供最高的耐磨性，并获得最佳表面质量——是大批量生产的完美之选。</p>	 <p><b>PcBN</b> 非常适合加工耐磨和磨蚀性材料——是公差严苛、高尺寸精度钻孔加工最理想的解决方案。</p>		
		 <p><b>SC</b> VHM 通用性高——是针对中批量加工，性能和成本兼优的最理想解决方案。</p>	 <p><b>CER MET</b> 金属陶瓷 特别适用于高尺寸精度、高光洁度表面，是钢材精加工最理想的选择。</p>		
主切削刃数量	➤	 <p>1个主切削刃</p>	 <p>2个主切削刃</p>	 <p>3个主切削刃</p>	 <p>4个主切削刃</p>
		 <p>5个主切削刃</p>	 <p>6个主切削刃</p>	 <p>8个主切削刃</p>	 <p>10个主切削刃</p>
连接	➤	 <p><b>HFS-系统</b>，用于可换头铰刀 工艺安全的圆跳动精度和换刀精度 &lt; 3 μm，换刀操作简单方便。</p>		 <p><b>TTS-系统</b>用于可换头钻头 形锁合齿连接结构设计实现了最佳扭矩传递——借助柔性化刀具几何形状，完美完成动态加工。</p>	
		 <p><b>模块转接柄</b> 采用μ微米级的精度校准，有效针对主轴补偿和刀具误差——是大悬伸部位和复杂工件加工最理想的解决方案。</p>		 <p><b>液压膨胀夹紧技术</b> 采用集成减振功能，可持久保持圆跳动精度和换刀精度 &lt; 3 μm——是高精度、可持续加工工艺最理想选择。</p>	
		 <p><b>热缩技术</b> 极高初始圆跳动精度——是高速和换刀频率低应用最理想的解决方案。</p>		 <p><b>机械刀具技术</b> 具有高夹持力、可防止刀具脱出——是极限条件下保持稳定铣削加工的理想解决方案。</p>	
		 <p><b>铣刀杆</b> 大型铣削刀具的坚固连接——在重型切削加工和高负载加工中久经验证。</p>			



立即探索能推动您前进的刀具和维修解决方案：

孔加工

铰削 | 精镗

实心钻孔 | 镗孔 | 铰孔

铣削

夹紧

车削

展开式刀具

调整 | 测量 | 刀具出入库管理

客户服务

FOLLOW US

