

当精度和表面质量至关重要时

# 表面质量： 光面铣削还是抛光？



用传统方法铣削的工件（左）与使用现代工具和策略加工的对比件（右）之间的光泽比较（照片：MMC Hartmetall）

对于第一个工件，我们采用了传统模具制造中常见的3轴铣削策略，这种方法在后续讨论中将被称为“经典”。而第二个工件则采用了5轴HSC铣削和高效5轴CAM策略，充分利用了现代技术的优势。尽管这种“现代”方法在编程上需要更多的投入，尤其是在精加工环节，但两种方法都旨在实现几何精度和表面质量的最优表现。

## 经典铣削策略

“自3轴铣削中心时代起，确立的铣削策略在模具制造领域一直占据主导地位，”Tebis AG的合作伙伴支持负责人马克·菲斯特（Marc Fuest）在马丁斯里德指出。这种策略之所以盛行，是因为许多制造部门缺乏探索新工具和策略的时间。在传统的粗加工过程中，通常采用高进给刀具逐面去除材料。尽管在时间允许的情况下，使用整体硬质合金刀具和自适应铣削策略来加工平面区域会更为高效，但制造商很少尝试将零件轮廓细分为平面或陡峭区域进行加工。

在追求铣削过程中的极致表面质量时，精加工后的抛光步骤往往是不可或缺的。在模具制造领域，这一过程所需的时间跨度可能从数小时延伸至数日。然而，随着时间的推移，精通此类工艺的工匠变得越来越稀缺。此外，一些客户出于对几何精度可能受损的担忧，明确禁止进行抛光作业。同时，自动化和质量控制的需求也在不断增长，这促使人们寻求通过铣削直接达到最高表面质量的方法。尽管如此，一个核心问题依然存在：在经济层面上，为了生产高光泽表面而增加的机器加工成本是否合理？

在许多行业中，以良好的经济效益实现出色的表面质量是完全可行的。例如，在阿滕多恩举办的一次研讨会上，机器制造商罗德斯、工具制造商三菱材料以及CAM软件开发商Tebis就对这两种方法的成本效益进行了深入的比较分析。会议还展示了如何通过整合铣削中心、工具和CAM软件，实现最佳的几何精度和表面质量。

为了验证这一方法，进行了一项测试，该测试涉及加工两个相同的钣金成型工具镶件，材料为硬度达到48 HRC的冷作钢。这两个试样均在罗德斯RXP601DSH五轴铣削中心上进行加工，每个试样都采用了特定的CAM策略和配套的铣削工具。通过这种对比，可以直观地展示不同加工策略对最终产品质量的影响。

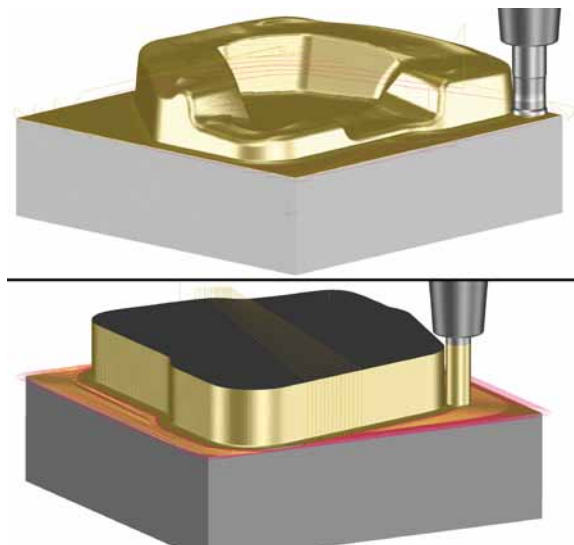
出于同样的原因，即试图减少编程工作，通常避免3轴和5轴策略的组合。



组织者：主持人费迪南德·霍伊申（特比斯，合作经理）、马克·菲斯特（特比斯，合作伙伴支持主管）、约尔格·扬克（MMC 硬质合金，技术培训师）和奥利弗·戈塞尔博士（罗德斯，销售主管）（从左至右，照片：Klaus Vollrath）

## 罗德斯技术报告 04/2024

表面质量：光面铣削还是抛光？



粗加工策略：顶部：轮廓平行，使用高进给刀具；底部：自适应，使用整体硬质合金刀具（图形：Tebis）

这种方法的优点是可以轻松快速地创建所需的NC程序，这对与CAM编程相关的支出有积极影响。

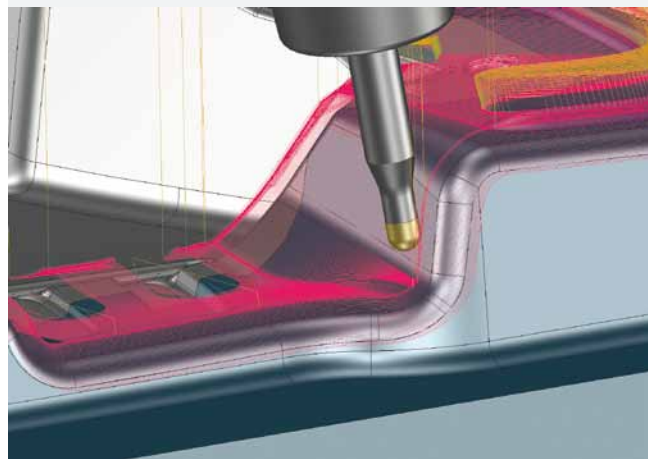
### 可转位刀片阻碍自动化

“在传统方法中，用户通常倾向于使用高进给铣刀来去除大部分材料，”三菱材料欧洲总部MMC Hartmetall的技术培训师约尔格·扬克（Jörg Janke）解释道。为此，他们通常选择使用带有可转位刀片的立铣刀。然而，这种铣刀方案的一个主要缺点是它限制了无人操作的可能性，从而阻碍了完全自动化的实现。这是因为一旦切削刀片断裂，就存在造成严重损坏的风险。相比之下，整体硬质合金刀具因其更长的工艺可靠性和刀具寿命，使得无人粗加工成为可能。

### 精加工和表面质量

“遗憾的是，在精加工策略中，表面质量往往不是主要关注点，”M. Fuest指出。用户常常选择过大的铣刀，导致留下较多残余材料，这些材料需要在后续步骤中以较高成本去除。例如，尽管D16球刀与D12球刀在横向进给上的差异不大，但处理这些残余材料所需的时间远远超过了使用更大进给节省的时间。在实际操作中，为了减少这种残余材料，组件通常先以3轴Z恒定进给进行加工，随后再采用3轴轴平行进给。虽然这种方法编程简单快捷，但加工时间较长。同样，由于编程工作量的原因，五轴防撞功能也很少被启用。

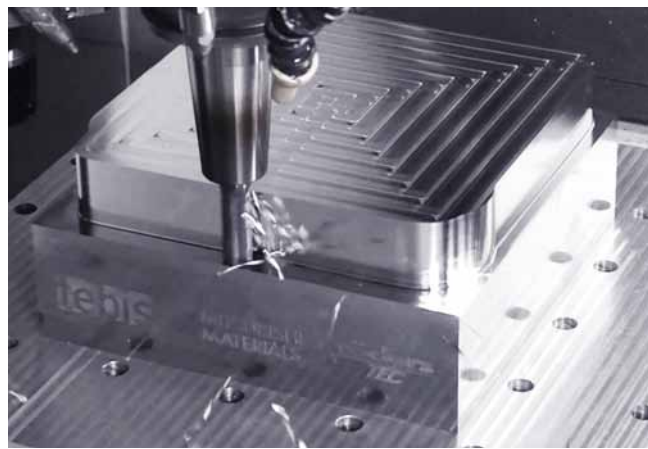
若要实现更优的表面质量，尤其是无需手动返工即可达到的高光泽表面，5轴铣削技术是关键。铣削路径应贴合表面轮廓，刀具需始终保持倾斜角度接触材料，以避免中心切削带来的问题。



现代精加工：5轴同步，路径间距取决于曲率检测（图形：Tebis）

### 高效加工的高性能工具

“作为高进给刀具的替代，推荐使用长切削刀的整体硬质合金环形刀具进行粗加工，”J. Janke建议。在所谓的“现代”方法中，采用了三菱材料MP系列的DIAEDGE品牌铣刀，这种铣刀直径为12毫米，圆角半径为1毫米。参与者对使用这种工具的视频演示表现出了浓厚的兴趣。这种铣刀特别适合于通过其长横向切削刃进行高效率的材料去除，即使在传统应用中，其金属去除率也超过了高进给刀具。对于侧面的高效精加工，选用了轴径为10毫米、带有6个齿、半径为85毫米的涂层整体硬质合金桶形刀具。



现代粗加工：带有圆角半径MPMHVRBD的摆线式整体硬质合金粗加工刀具（图片：罗德斯/MMC/特比斯）



现代精加工：具有6个切削刃的VHM桶形刀具VQT6URR，适用于大进给量的高效精加工（图片：罗德斯/MMC/特比斯）



# 罗德斯技术报告 04/2024

## 表面质量：光面铣削还是抛光？

大半径设计使得在进行5轴铣削时，可以在工件侧面实现高深度的进给，这对于提高加工效率至关重要。例如，在处理狭窄区域时，使用具有1毫米直径的高精度整体硬质合金球刀，配备两个抛光切削刃，能够出色地加工狭窄的圆角和过渡部分。当然，要实现这样的加工效果，除了刀具的选择，还需要依赖于性能良好的机床。良好的机床能够提供精确的控制和稳定的性能，这对于获得高质量的加工结果至关重要。

## 需要：坚固且精确的铣削中心

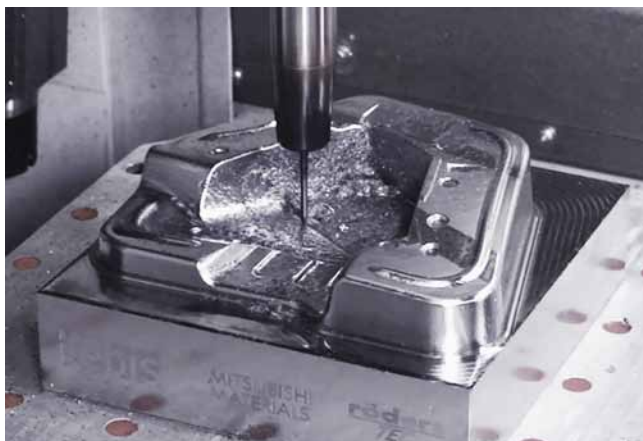
“为了实现高经济效益，关键在于能够在同一台机器的同一夹紧状态下完成所有加工操作，”罗德斯有限公司销售主管奥利弗·戈塞尔博士（Dr.-Ing. Oliver Gossel）在索尔陶指出。为了达到这一目标，机器不仅要具备必要的粗加工能力，还必须能够达到所需的精度和表面质量。

用于测试的5轴罗德斯RXP601DSH机床以其坚固的构造，能够胜任粗加工和精加工任务。该机床的HSC主轴转速可达30,000 RPM，其门式设计和配备重型反向轴承的旋转轴确保了极高的刚性。为了实现最佳精度，所有轴都采用了无摩擦的直接驱动技术，Z轴还特别采用了无摩擦的重量补偿设计。

该机器的另一个特色功能在精度加工中尤为关键：由于驱动器的“加加速度”（即加速度的变化率）特别高，即使在加工高度弯曲的表面时，也能尽可能长时间地维持预期的进给速度。这一特性对于保持加工过程中的精度和效率至关重要。



半精加工和经典精加工：带锥颈的整体硬质合金球头立铣刀 MP3XBR，用于深腔的半精加工和精加工。（图片：罗德斯/MMC/特比斯）



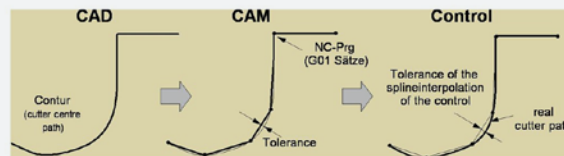
经典和现代精加工：切削刃高度抛光的1毫米球头立铣刀 VFR2SBFR。（图片：罗德斯/MMC/特比斯）



用于加工测试的罗德斯 RXP601DSH 五轴铣削加工中心（图片：Klaus Vollrath）

## HSC-Control

- Spline interpolation state of the art, but spline  $\neq$  spline
- Speed planning has to be coordinated with
- High processing speed and lookahead important



由于高控制速度和内部样条插值，罗德斯控制系统在最短的加工时间内实现了高表面质量（图形：罗德斯）

复杂的温度管理系统在确保加工精度方面扮演着至关重要的角色：因为热量是精度的大敌，所以系统中所有关键部件都配备了独立的温控系统。通过循环温度控制介质，所有相关机器部件的温度被精确控制在 $\pm 0.1$  K的范围内，以保持稳定的精度。

罗德斯系统的一个显著卖点是其独有的控制系统。该系统具有小于0.1毫秒的块处理时间，以及超过10,000块的前瞻能力，这为实现最佳精度和表面质量提供了有力保障。特别值得一提的是，所有轴上的控制速度极高，周期达到32 kHz，这意味着每0.03毫秒就会对刀具路径进行一次校正。这种高速的控制响应能力，对于在高速加工过程中保持高精度和优异的表面质量至关重要。

## 讨论：光铣还是抛光

比较这两种策略的结果表明，“经典”策略的编程时间显著较短，仅为0:27:30，大约是“现代”策略所需时间4:40:15的十分之一。在总加工时间上，两者的差异大约为42分钟，这使得“经典”策略在时间效率上略占优势。

然而，根据参与研讨会的专家估计，如果考虑到抛光部件所需的时间，这可能与“现代”铣削工件上实现等效表面质量所需的额外编程时间大致相等。在刀具成本方面，“经典”策略的总成本为524欧元，而“现代”策略则为426欧元。

但是，如果客户特别要求通过加工直接达到最佳表面质量，并且不允许因手动返工而导致几何变形，那么时间成本就不再是决定性因素。在这种情况下，“现代”铣削策略实现的表面粗糙度Ra值为0.238微米，明显优于“经典”策略的0.617微米。

综上所述，选择哪种策略取决于客户的具体要求和对成本、时间以及最终表面质量的权衡。如果表面质量是首要考虑因素，那么“现代”策略可能更合适；而如果时间效率和成本是主要考虑，则“经典”策略可能更有优势。

## 罗德斯技术报告 04/2024

表面质量：光面铣削还是抛光？



平衡机器加工时间使得“经典”方法节省了约 42 分钟的时间（图形：Tebis）

在模具制造领域，客户对表面质量的要求日益提高，甚至追求极致。通常，任何形式的抛光都是不被允许的，因为这可能会影响几何精度和过程控制的水平。参与者分享了他们的观察，即使是对于复杂程度与所讨论的应用程序相当的工具，抛光时间也可能长达35小时。在这种情况下，更好的表面质量和在非工作时间自动运行的能力，使得在编程和机器运行时间上的额外投资变得合理。

然而，也有许多应用场景，其中传统方法仍然能够以较低的成本实现经济上的最佳结果，因为它们在编程和加工方面的支出较低。

最终的结论是，两种策略都能够取得出色的成果。因此，用户应根据自己的具体需求和优先级来选择最合适的方法。这可能涉及到对成本、时间、表面质量、自动化能力以及过程控制的全面考量。通过这种方式，用户可以确保他们选择的策略能够最好地满足他们的特定需求，无论是追求最高的表面质量，还是寻求成本效益最高的解决方案。



在结束讨论时，一些在场的从业者估计，“现代”铣削策略更长的编程时间至少会被抛光支出的节省所抵消（照片：Klaus Vollrath）

### Adresses

MMC Hartmetall GmbH,  
Comeniusstr. 2, 40670 Meerbusch, Germany  
Tel. +49-2159-91890, Fax +49-2159-918966,  
admin@mmchg.de, www.mmc-carbide.com

Tebis Technische Informationssysteme AG,  
Einsteinstr. 39, 82152 Martinsried/Planegg, Germany  
Tel. +49-89-81803-0, Fax +49-89-81803-8200,  
info@tebis.com, www.tebis.com

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