



技术信息

高速、高精、高表面质量的表面轮廓铣削加工

模具制造业以及航天工业的零件加工可以用现代化的高速切削（HSC）技术得到最优化。如果想到达高速切削技术的经济性目的，只有使机床和数控系统可以应对高于常规切削方式的运动速度。

机床运动速度不但要非常快，加工形状也必须准确，数控系统必须在编程轮廓加工路径上精确控制加速和减速运动。为了应对加工时间、表面质量和几何精度间的矛盾，现代数控系统必须为铣床和加工工艺提供最优化的解决方案。而且最终用户也可以通过简单的参数调整控制最终的铣削结果。CNC系统的路径控制能力是特定精度和表面质量条件下影响加工时间的决定性因素。

模具制造业高速切削（HSC）技术对机床数控系统的要求

HSC技术为高硬度材料和合金工具钢加工提供了许多全新选择。在经典的电火花成形加工技术之后，高速切削技术直接加工高硬度材料越来越显出其出众的经济性。HSC技术的突出优势之一是它在加工期间的温度分布情况和热量排除能力。高速切削、高速进给和小的切削深度使切屑可以将大量热量带离工件。

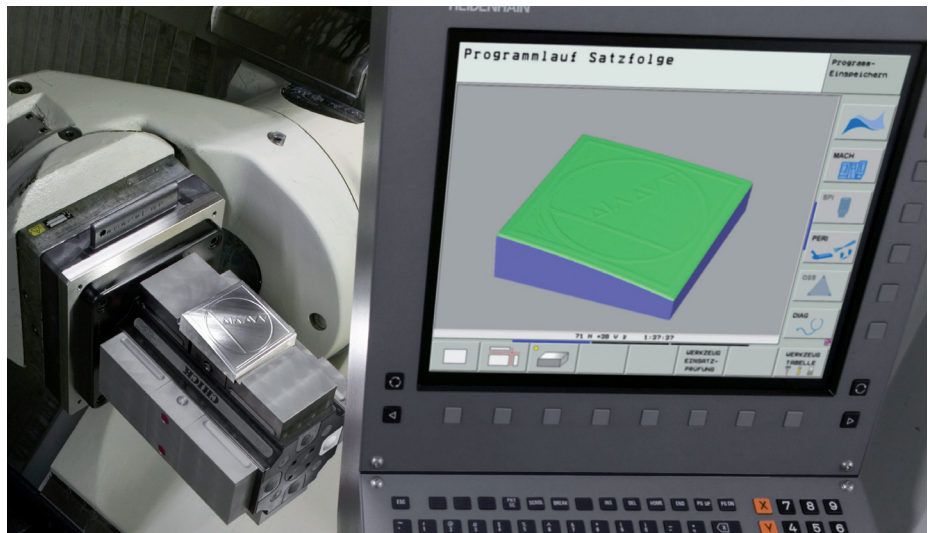


图1：自由形状加工（双曲面）

高速切削加工 (HSC)

– 要求和影响

HSC加工进给速率大，这对加工曲面工件轮廓的加速度要求更高。它能突出体现机床的机电性能。如果进给驱动加速度增加，必然使机床结构承受更大加速力。也因此容易造成机床振动，恶化表面质量。这就要求数控系统在尽可能缩短加工时间和满足精度要求条件下具有实现最佳表面加工质量的运动控制能力。数控系统必须为机床制造商和用户最佳路径控制方法。

机床制造商需要数控系统可以最佳地控制机床特性。数控系统应为运动控制和进给驱动电机控制环提供的参数集具有合理的结构以易于使用。机床经常通过最终精加工零件测评其性能。必须执行每一项加工任务确保高动态响应不会造成机床振动。因此，数控系统必须与机床紧密配合以确保任何加工任务都具有高动态性能。

机床用户要求数控系统在满足工件精度的前提下减小加工时间。达到要求的精度不需要耗时的测试，首件加工就必须能达到要求。这些要求必须定义在NC程序中，以确保批量生产的要求。而且，为使模具的加工时间在可接受范围内，自由形状表面经常采用往复路径铣削。这样，数控系统还必须能生成从相反方向加工轮廓元素的可重复刀具路径。否则，将损害表面质量。

数据处理能力对工件表面质量的影响

用金属切削方法加工零件涉及大量中间步骤，通过这些步骤将CAD模型几何形状转为刀具路径：

- **CAD (计算机辅助设计) :**
工件轮廓通常用NURBS (非均匀有理B样条) 建模。NURBS技术可以用数学方法描述自由形状表面。
- **CAM (计算机辅助制造) :**
刀具路径的计算在考虑一定铣削方式和刀具值补偿情况下从CAD几何模型逐点进行计算，因此预定弦高差 (模型精度) 决定两点间距离。
- **CNC (计算机数字控制) :**
零件程序被逐点转为轴向运动和速度特性并考虑路径公差要求。要获得高表面质量，相邻铣削路径间的距离必须明显小于定义的刀具路径。
- **机电系统:**
在固定时间内的轴向运动作为名义运动和实际运动，并将其通过机床几何形状转为刀具和工件运动。进给轴的跟随误差、机床名义几何形状的偏差和发热影响以及机床结构和电机的振动将影响工件精度。

CAD	设计
CAM	生成路径
	刀具补偿
CNC	NC程序解释器
	路径控制
	公差监测
	速度特性
机电系统	进给速率控制
	机床和驱动

优化加工时间、表面质量和工件精度对CNC系统提出以下基本要求：

- 有效监测轮廓公差
- 运动方向换向后，准确重复相邻路径
- 高动态运动不导致振动

对二维刀具运动，数据处理链能力对工件精度的影响可以用海德汉公司的KGM 182二维编码器检测。通过龙门铣床上的演示单元可以展示海德汉iTNC 530系统的运动控制特性。KGM是最终可实现轮廓精度的基础检查工具。



更快、更高精度和更准确轮廓

– 用iTNC 530控制高速铣削

有效控制轮廓公差

自由形状表面的NC程序通常用CAM系统生成，它由大量简单线段组成。海德汉数控系统自动平滑处理过渡形状，同时保持刀具在工件表面连续运动。这个检测轮廓偏差的系统内部功能自动控制平滑处理过程。此功能（循环32）使用户可以根据需要自定义轮廓偏差。机床制造商在机床数控系统中定义默认值（通常为0.01至0.02 mm）。此外，这个公差还影响编程圆弧上的运动路径。

在自由形状表面上，CAD几何形状模型的偏差包括定义的轮廓公差值和CAM系统定义的弦高差。对工件的最终影响取决于机床整体特性和进给轴加加速调整值和加速度。

图示工件的角点显示球头铣刀的球心路径（TCP = 刀具中心点，见图2）。如果没有名义路径的平滑处理，机床Y轴在过渡点处必然突然加速。其加加速将造成机床严重振动。而且，名义驱动的物理限制也不允许这种理论上无限的加加速产生。如果没有有力的路径控制措施，将不可避免地产生明显成比例关系的轮廓偏差，具体情况取决于曲率和轮廓加工的速度变化。

iTNC 530的路径控制功能可以平滑处理加加速并满足要求的轮廓公差要求，包括轮廓加工速度剧烈变化时（图3）。如果可以定义更大公差，就可以显著缩短加工时间。在本例中，将轮廓加工公差从0.01 mm放宽到0.02 mm，加工时间缩短12%。

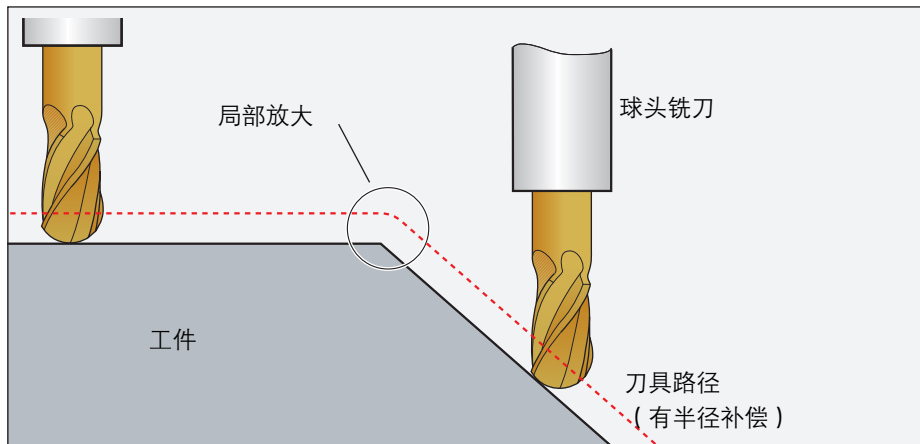


图2：球头铣刀TCP刀具路径

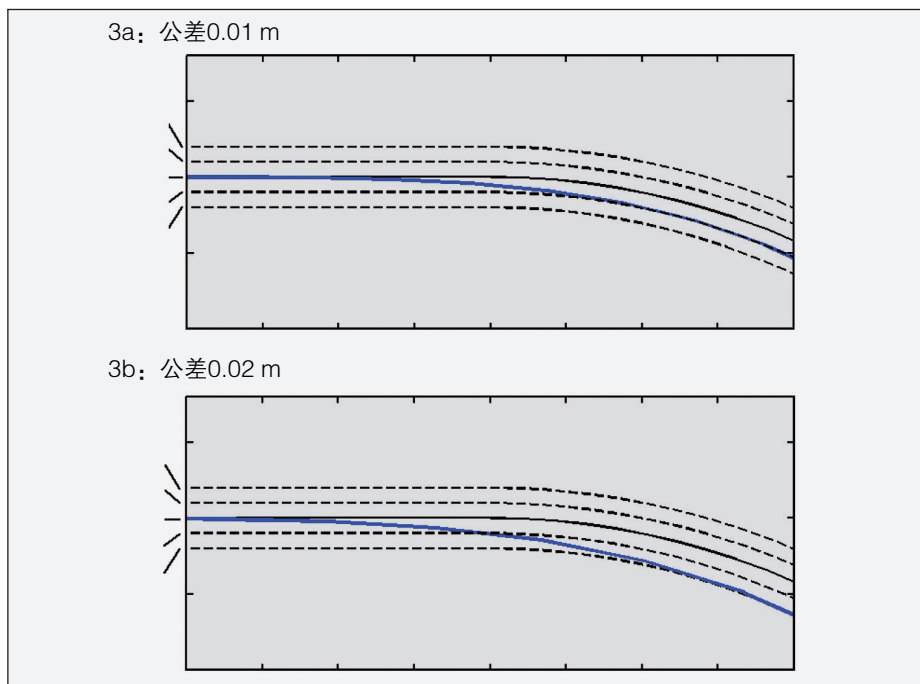


图3：局部放大图，显示TCP的轮廓监测名义路径

换向运动时相邻路径的高重复性

图4为一个局部工件和相应的TCP路径线图。相邻路径可以通过往复运动高效铣削（往复运动的多刀铣削）。各条路径由长度很短的直线组成。CAM系统设置的弦高差为 $3\ \mu\text{m}$ 。

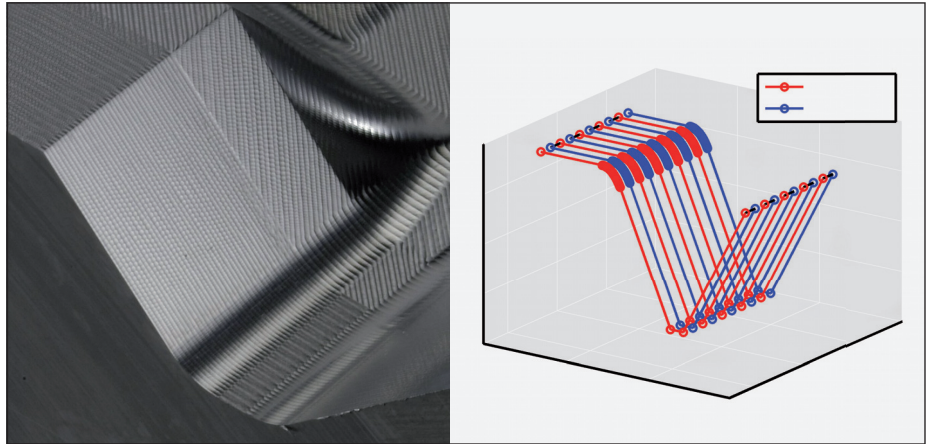


图4：往复运动的工件轮廓和相应线条。图中点代表程序数据点。

图5为编程轮廓的刀具路径偏差的局部放大图。显示的偏差为理想的线到圆的过渡情况，零件程序（图4）的线条弦高差为 $3\ \mu\text{m}$ 。弦高差只影响曲线部分，与CNC系统设置的轮廓公差叠加。海德汉数控系统在往复多刀道铣削运动中实现了高重复性（图5）。前进和后退运动路径间轮廓偏差可以忽略不计，实现了高表面质量加工。

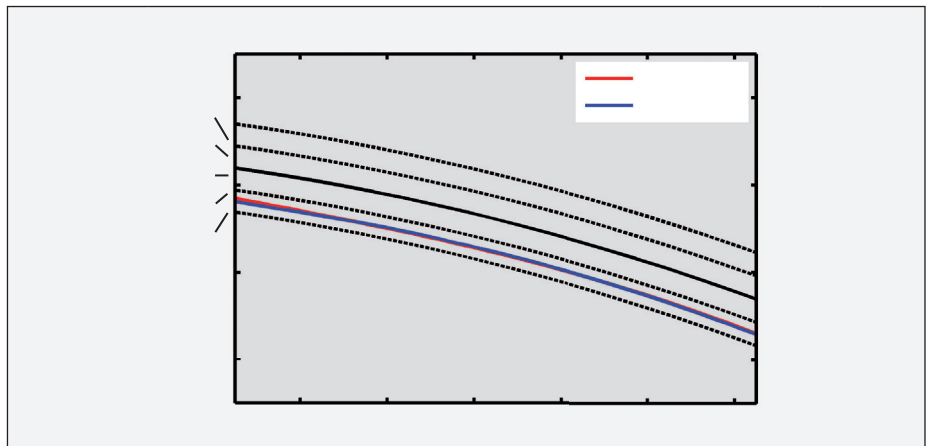


图5：工件轮廓曲面部分的刀具路径偏差（进给速率 = 10 m/min，公差 = 0.01 mm）

图6的工件照片显示最优化运动控制的效果。用往复运动加工自由形状表面（编程进给速率为10 m/min，精铣余量为0.1 mm）。图6a的工件表面质量不合格。用iTNC 530系统的加工结果如图6b所示，相邻路径重复性好。

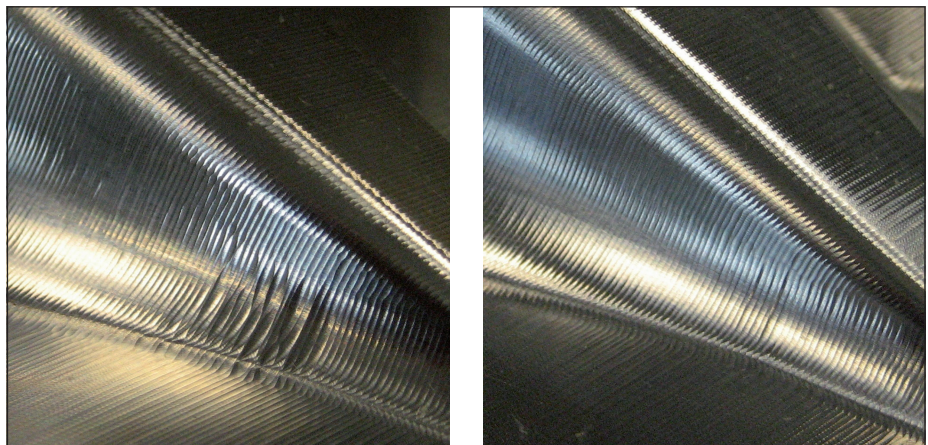


图6：换向运动的多刀铣削，相邻切削路径的重复性

6a：相邻路径偏差导致的表面质量下降

6b：iTNC 530系统铣削结果：前进和后退运动加工的表面一样

高速运动期间有效避免振动

HSC铣削技术要求的进给速率对机床数控系统是巨大挑战。只有达到更高的轮廓加工平均速度才能缩短加工时间。但是，如果有小半径路径，就必须大大降低运动速度，以保证路径偏差在允许的公差带内。此外，加速和减速运动还能造成机床结构振动，损害工件表面质量。

加加速和加速度的平滑运动控制是海德汉数控系统的突出特点。它能非常有效地抑制机床振动。根据需要，数控系统还可以自动降低编程进给速率使振动的危险性降到最低。有效预防机床振动使零件程序以更高的运动速度执行，因此能显著缩短加工时间。

图7为二维轮廓的机床刀具实际路径。如果加加速无平滑处理，加速运动阶段机床产生振动（图7a）。海德汉公司的iTNC 530系统的运动控制功能有效避免了严重振动（图7b）。图8的工件表面质量再一次清楚地显示出海德汉公司数控系统运动控制功能的非凡作用。沿图示圆弧运动需要在每一点处改变轴的加速度，造成机床振动（图8a）。iTNC 530通过平滑处理加加速获得了高质量表面，没有振动影响（图8b）。

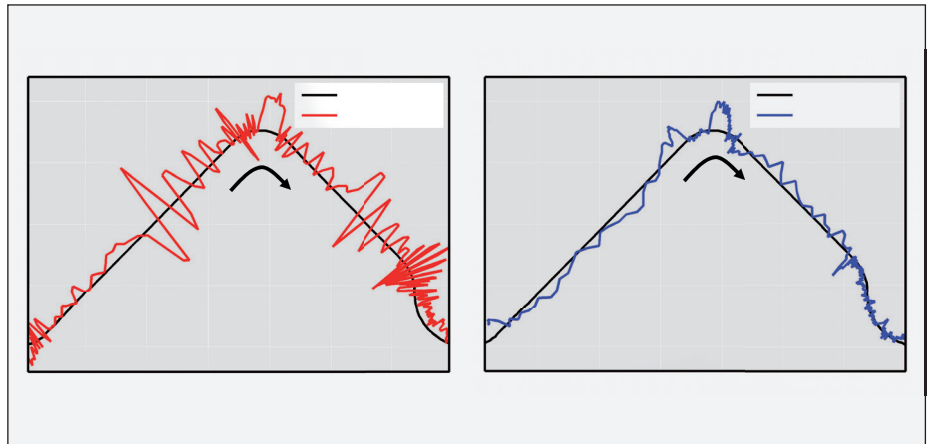


图7：实际位置用二维编码器在圆角处测量和记录，一个用名义位置值过滤器处理NC数据，另一个未用名义值过滤器（分别为7a和7b）。

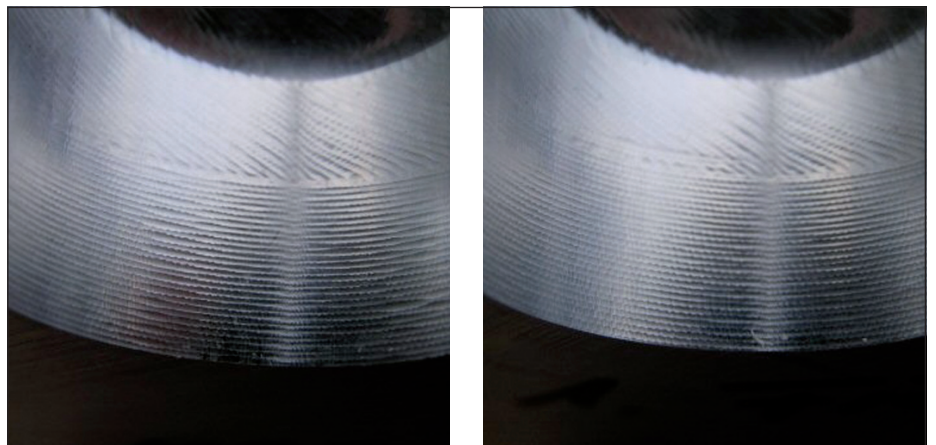


图8：机床振动对工件表面的影响：

8a：无加加速平滑处理，Z轴振动导致表面划伤

8b：iTNC 530系统的运动控制功能有效避免了振动导致的表面质量问题

总结

HSC铣削技术对模具制造业和航天工业的加工工艺具有决定性影响。HSC铣削技术要求的进给速率对机床数控系统是巨大挑战。加工时间、轮廓表面精度和表面质量是相互矛盾的因素，海德汉公司的iTNC 530数控系统可以确保满足优选的加工要求。也就是说刀具路径符合预期，因此

- 可以防止机床振动，
- 满足高精度要求，同时
- 缩短加工时间。

此外，iTNC 530的相邻铣削路径重复性高，确保用户实现高质量工件表面加工，用往复多刀铣削工艺缩短加工时间。

iTNC 530奠定了数控、驱动和机床结构相互配合的全新标准。使用户的批量零件生产从首件就能达到高质量加工效果。

保持向上兼容性

— 海德汉轮廓加工数控系统的持久保证

25多年来，海德汉公司不断为客户提供铣、钻、镗和加工中心用的轮廓加工数控系统。在这个过程中，数控系统也在不断向前发展：新功能不断增加，适应更多机床进给轴的更复杂要求。但其基本操作技术保持不变。熟悉TNC系统的操作人员不需要重新学习，iTNC 530使操作人员可以立即使用以往积累的TNC编程加工经验。



1993: TNC 426C/P



1997: TNC 426M
TNC 430



1988: TNC 407
TNC 415



1987: TNC 355



1984: TNC 155



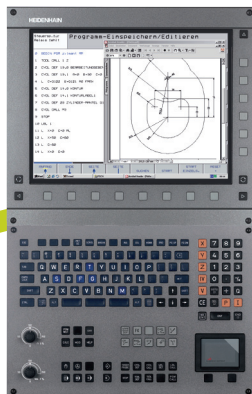
1983: TNC 150



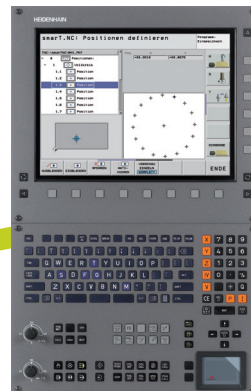
1981: TNC 145, 海德汉公司的第一代轮廓加工数控系统



2001: iTNC 530



2003: 运行Windows 2000的iTNC 530



2004: iTNC 530, 带smarT.NC



这些按键从TNC 145开始一直保持到现在的iTNC 530上

HEIDENHAIN

约翰内斯·海德汉博士（中国）有限公司

北京市顺义区天竺空港工业区A区

天纬三街6号（101312）

☎ 010-80420000

☎ 010-80420010

Email: sales@heidenhain.com.cn

www.heidenhain.com.cn

更多信息

• 《iTNC 530轮廓加工数控系统》样本

