

零件高速加工的系统及方法

中国商飞上海飞机制造有限公司 柳绿洲



上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

引言

高速加工理论的诞生可以说是机加工行业的一次突破。

小切削力、大去除率、低切削热等特点使之很快成为了机加技术的发展方向。

随着先进设备和技术普及，更多的企业和人员开始接触高速加工，而高速加工也越来越成为一个时髦的话题。



上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

高速加工系统



高速机床和传统机床的区别

传统机床：低的主轴转速、低的进给速度、
低的进给加速度、齿轮主轴

高速机床：高的主轴转速、高的进给速度、
高的进给加速度、电磁主轴



上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

在高速运行情况下需要避免的主要问题

冲击

碰撞

切削量的变化

速度变化

振动

动平衡要求

跳动

工件的振动

冷却

冷却方式

排屑方式和影响



上海飞机制造有限公司

Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

完善的加工模拟

高速加工必须有完善的模拟支持，否则一旦发生碰撞，产生的结果将会是灾难性的。



上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

避免加工余量的突变

在传统加工中，对于余量突增的区域，往往采用降速的方式，但在高速加工中这种方法不可取。

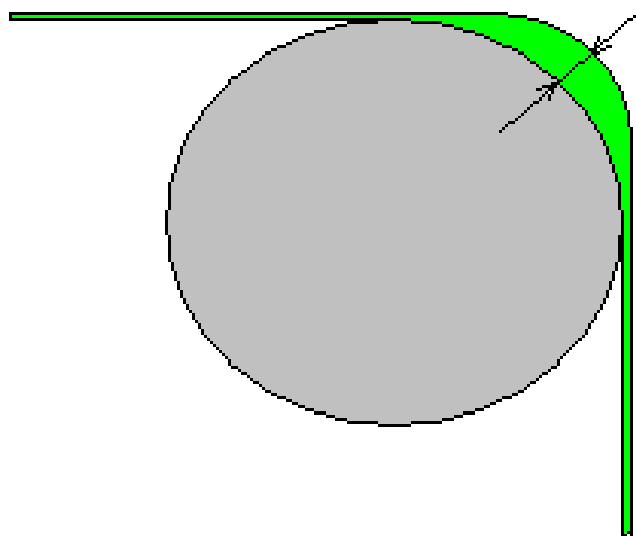
加工中宜保持连续均匀切削，特别是精加工之前，为了避免振动，往往会采用增加半精加工来使最终余量均匀。

对于线性刀轨，要保持匀量切削相对容易，但在转角处往往余量问题会被忽视。

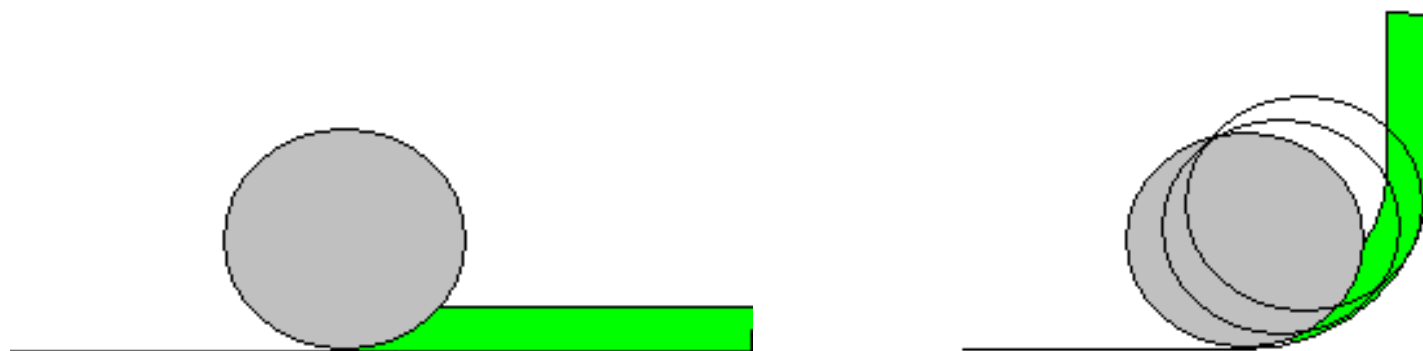


在转角处切削量变化的原因和处理方法

1.大直径刀粗加工后的小转角余量残留

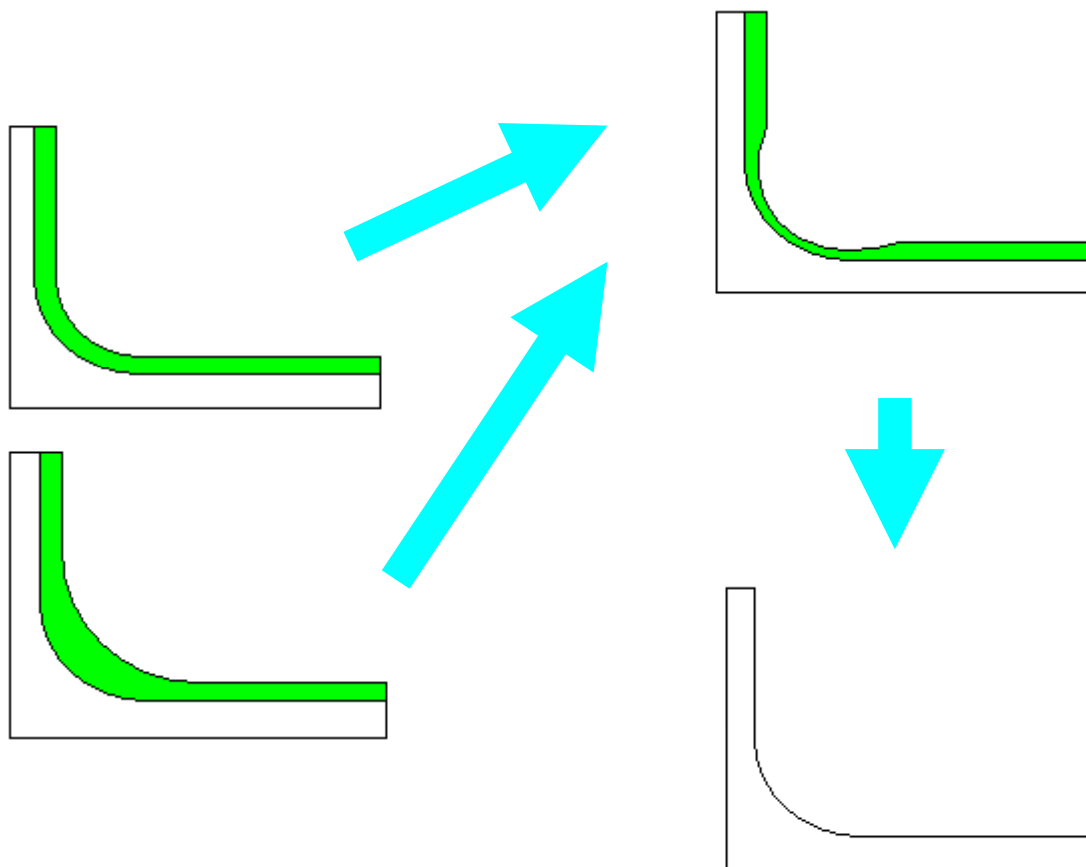


2.转角处余量均匀时切削量的突变



沿直线切削时，当余量均匀，切削量也是恒定的，切削力的大小、方向等等都不发生变化，而在转角加工时，虽然余量均匀，但由于运动方向的改变，实际切削量会突增，受力方向也会发生变化。

转角处加工的处理方法



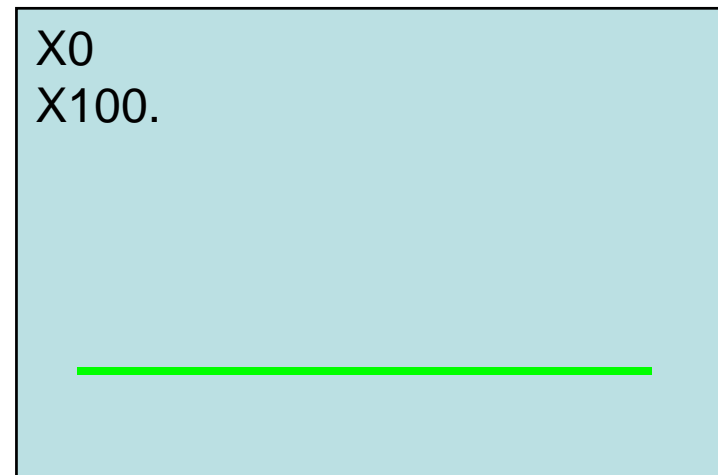
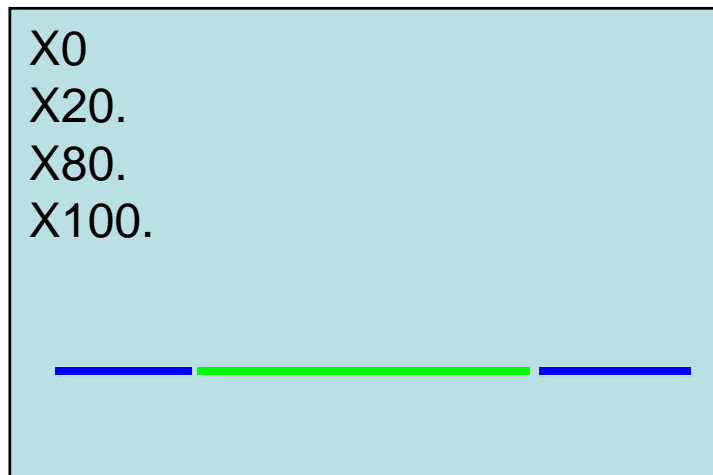
某高速加工零件转角情况



上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

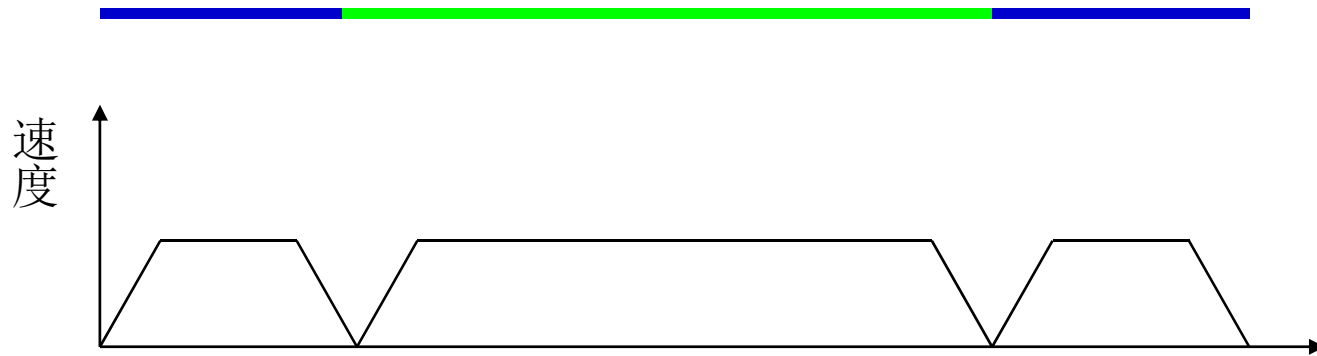
速度变化产生的冲击影响

传统的机床控制系统预读G代码以逐行的形式进行，即走完一行之后再前往下一行的预定点。



两者的程序效果相同，但机床执行情况不一样

机床速度的变化



在高速加工当中，因为最终进给速度较高，按单行执行模式，将会处在频繁的加减速过程中，使机床运行不连续。

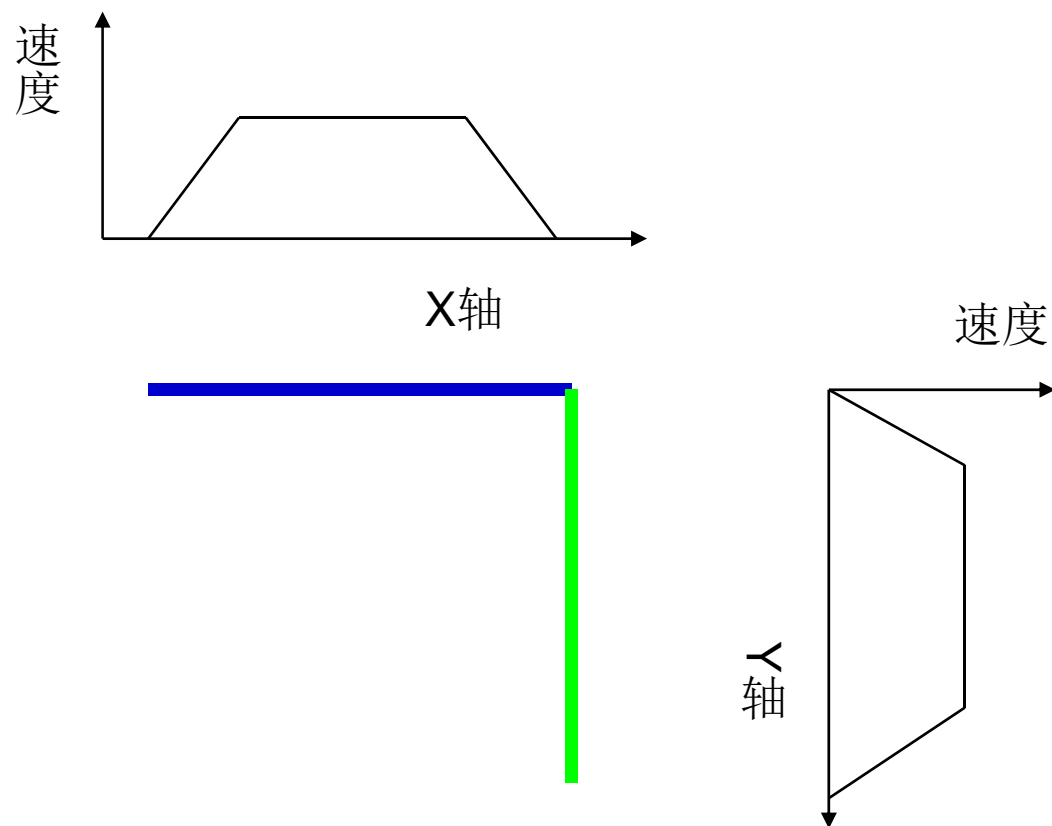


中国商飞
COMAC

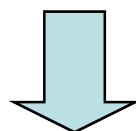
上海飞机制造有限公司

Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

转角过程中的速度变化



向前看模式对程序轨迹的预读和优化

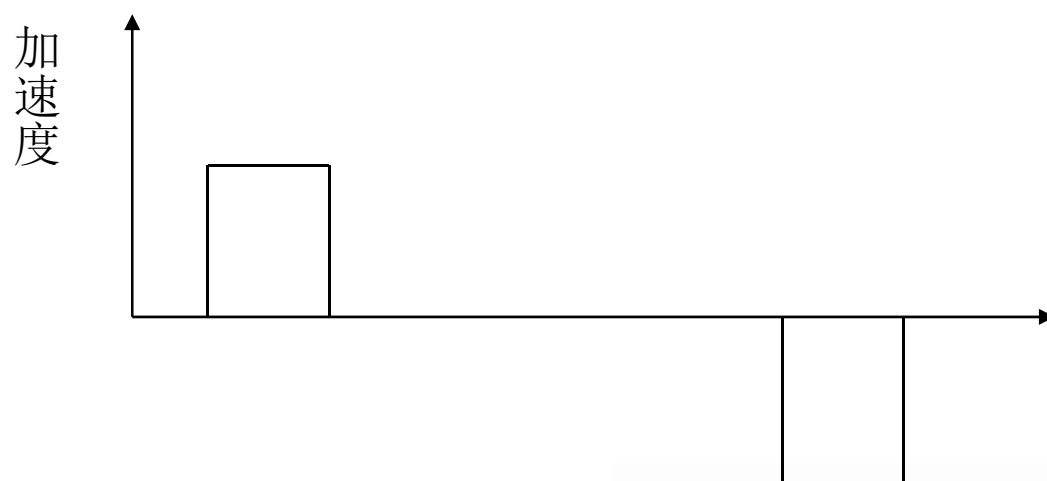


中国商飞
COMAC

上海飞机制造有限公司

Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

在速度变化情况下的加速度变化

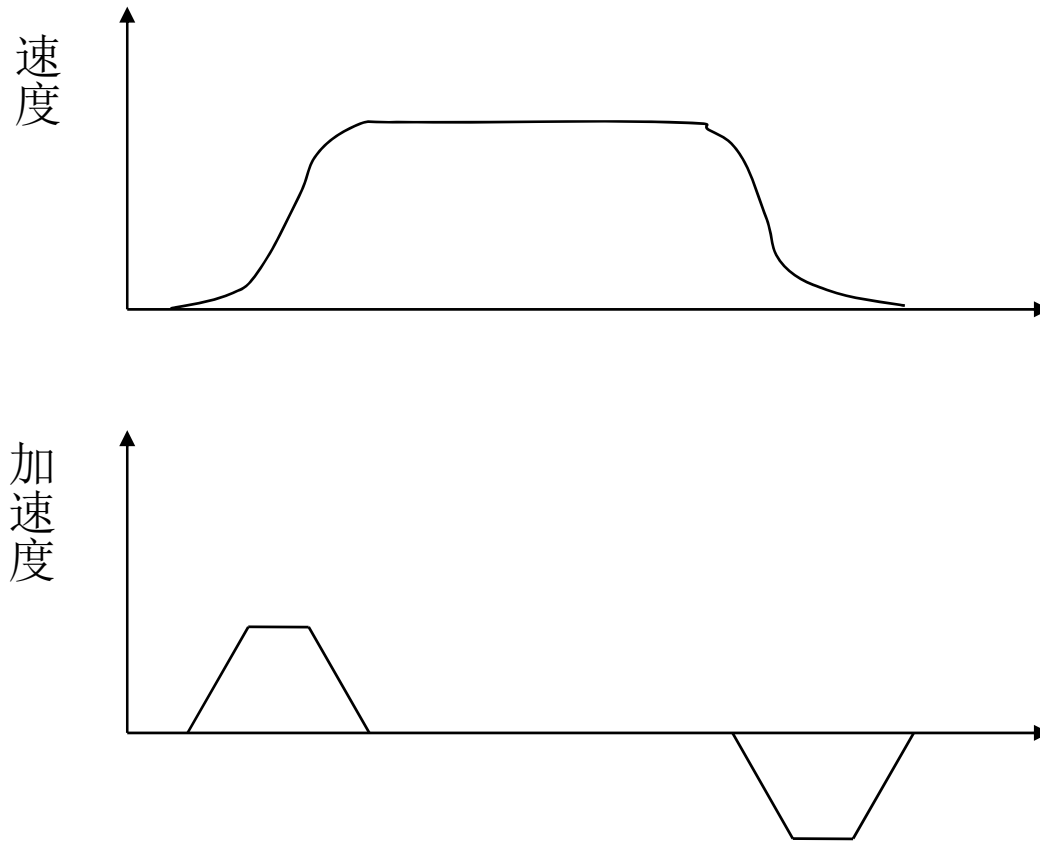


中国商飞
COMAC

上海飞机制造有限公司

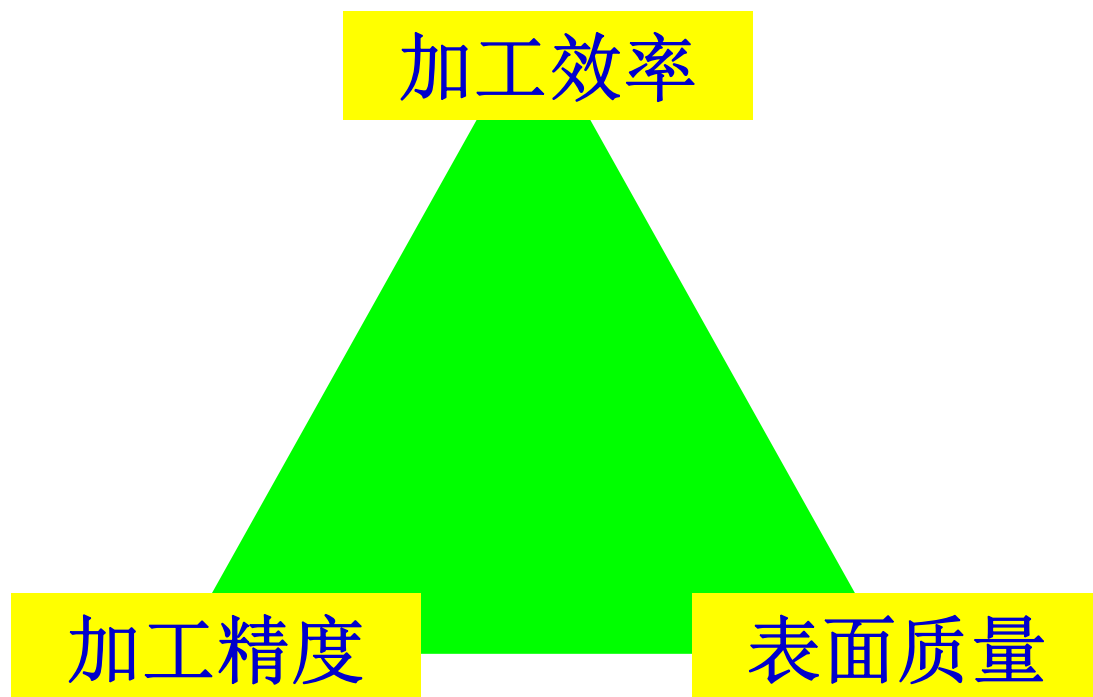
Shanghai Aircraft Manufacturing Co., Ltd.

通过限制加速度变化来使得机床运行更加平滑



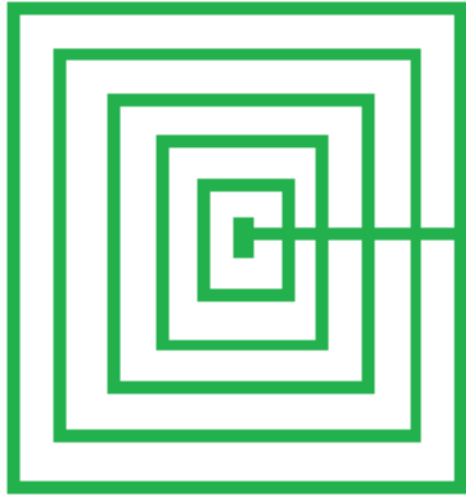
上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

选择适当参数在三个加工要求中找到平衡点

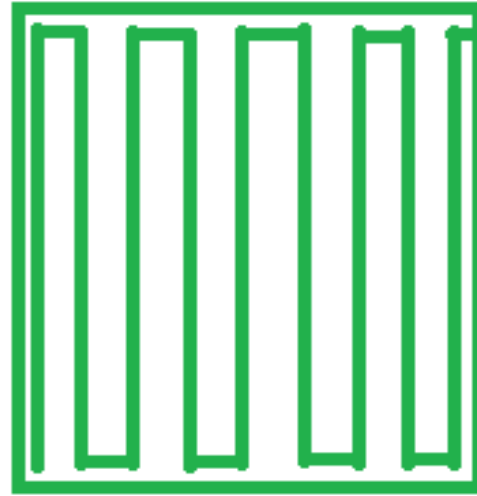


上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

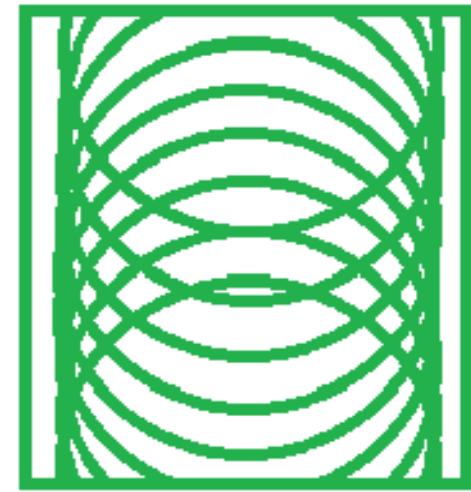
刀轨路径的优化



通常用于精加工，特别是加工薄壁地面结构。



对于长行程加工有较好的效果，避免了频繁加减速。



加工一些闭锁槽，可以采用较大切深。



上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

高速加工状态下的振动

相对于传统低速重切加工而言，高速加工的切削力很小，机床结构的受力相对小，所以振动集中在刀具和加工工件上，如果刀具细长而工件结构稳定，则刀具振动为主，如果刀具粗短而工件结构较不稳定，则振动主要产生在工件上。

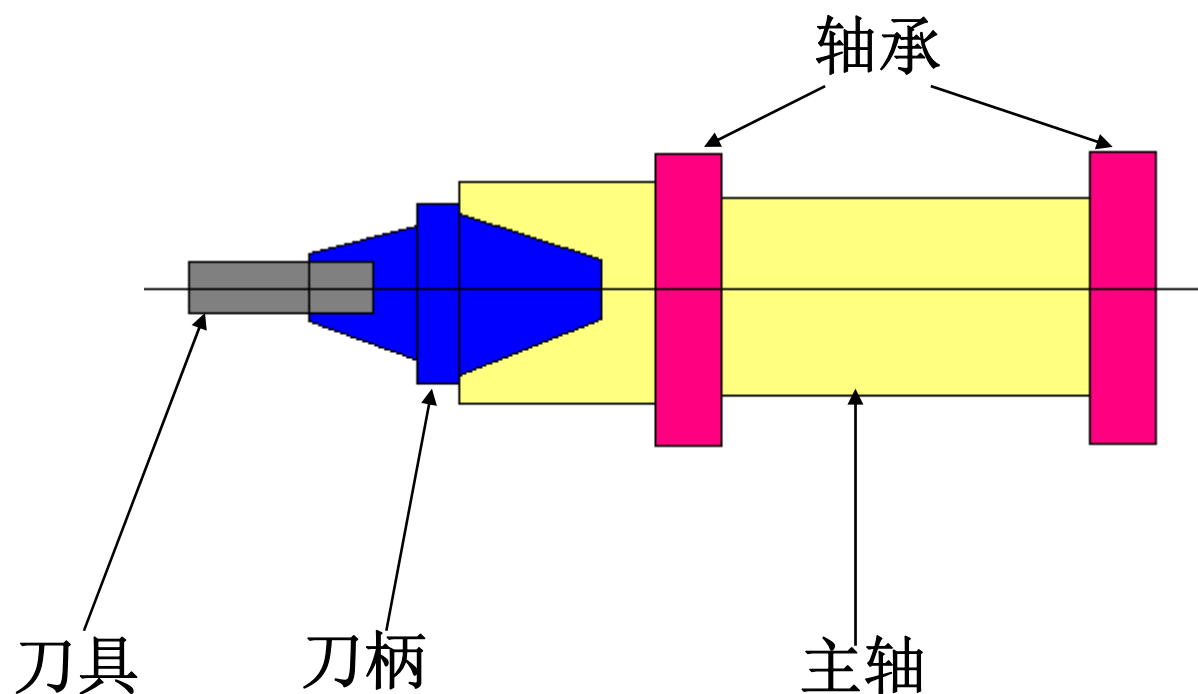
由此延伸出两项重要的要求：

1.对刀具的要求

2.对零件结构和装夹稳定性的要求



上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

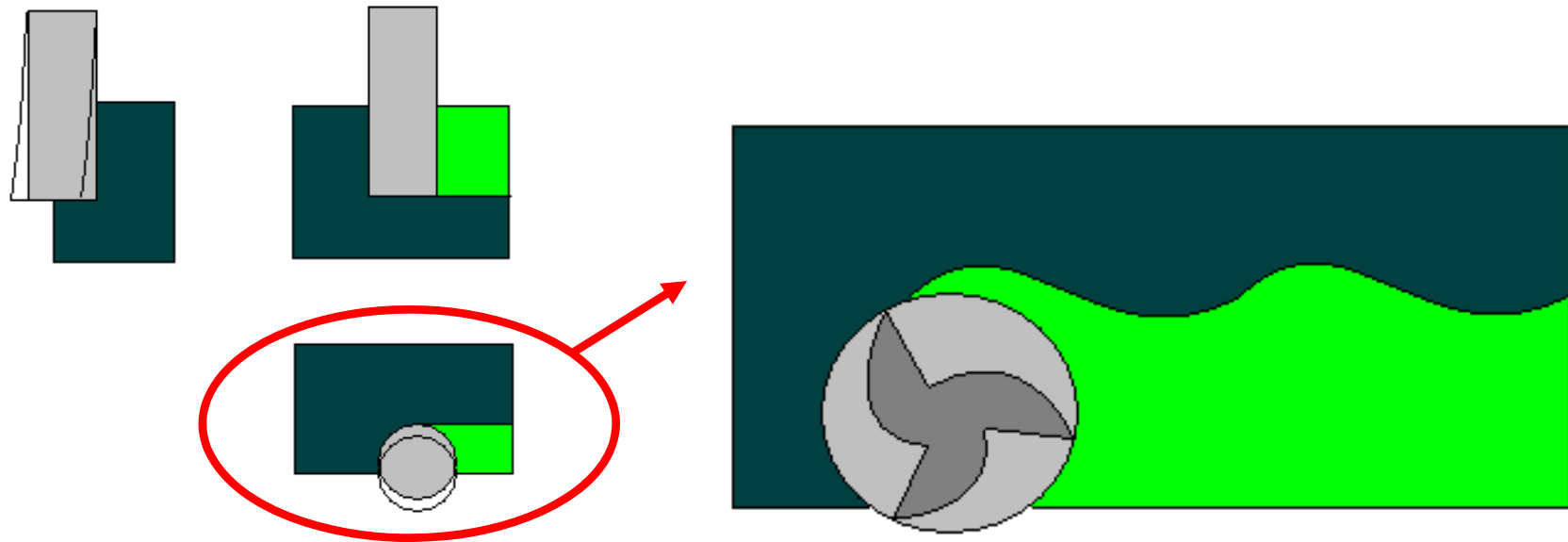


整个结构形成一个振动系统，有其自带的固有振动频率，在切削时，刀具以固有振动频率振动。

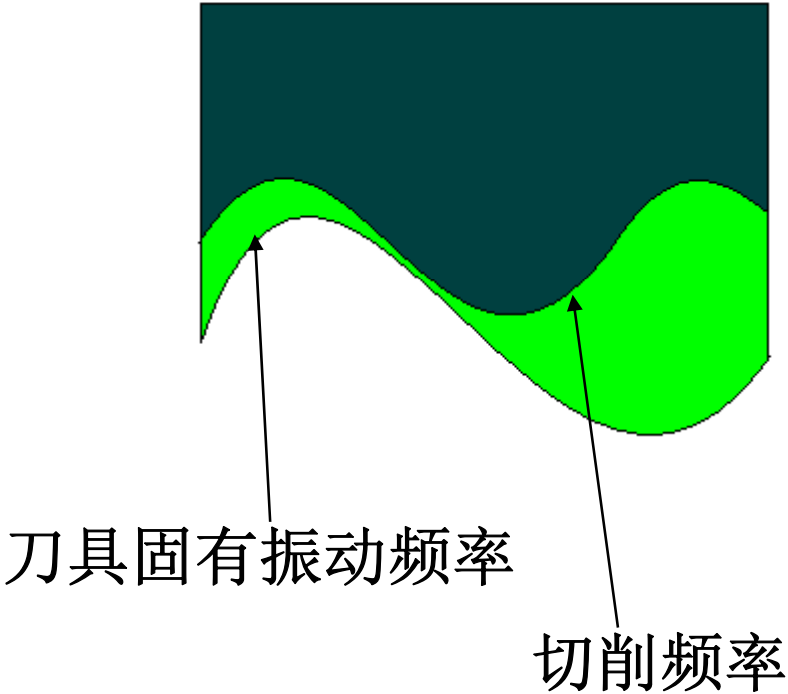
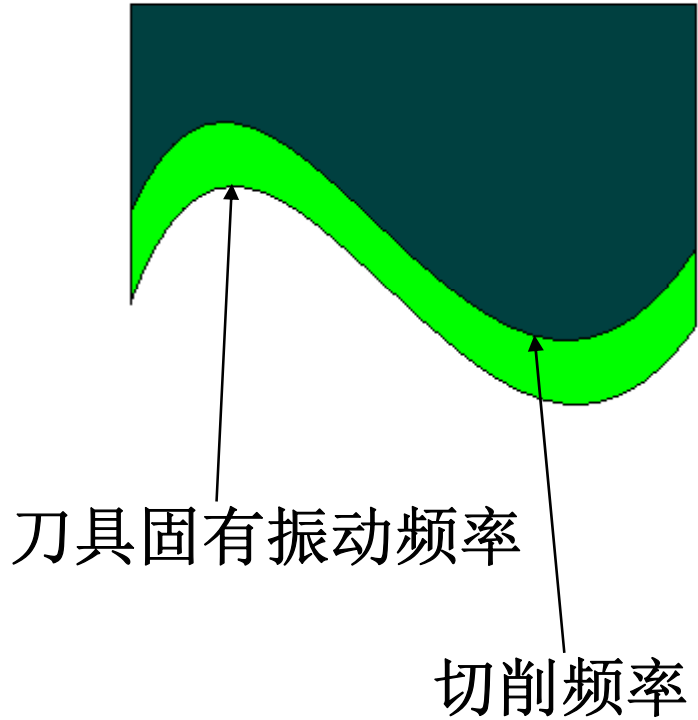


上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

高速加工时在工件表面的震颤



震颤的产生



某零件表面的震颤纹

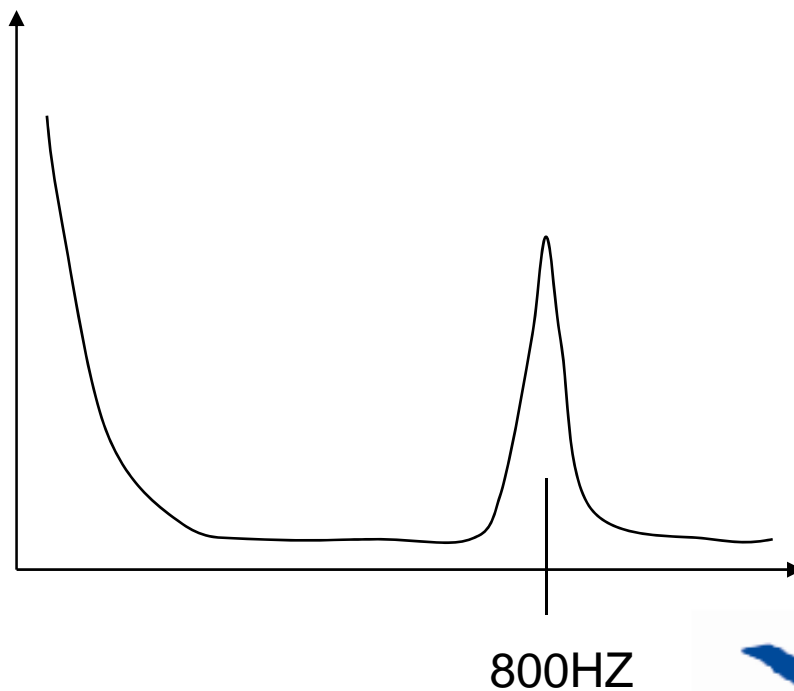


上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

转速和固有振动频率配合的计算方法

切削频率 $Q=S \times n$

其中S为主轴转速，n为齿数



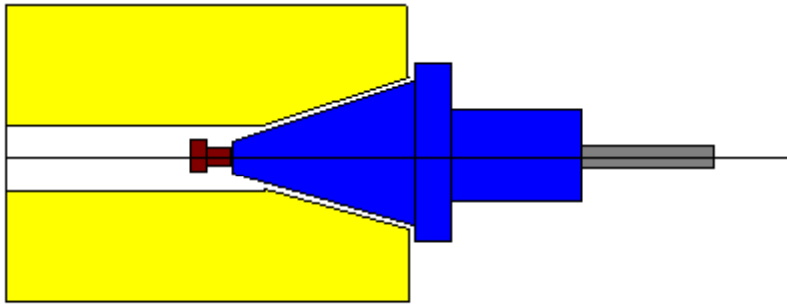
当齿数为3齿，固有振动频率为800HZ时，
转速：

$$S=800 \times 60/3=16000$$



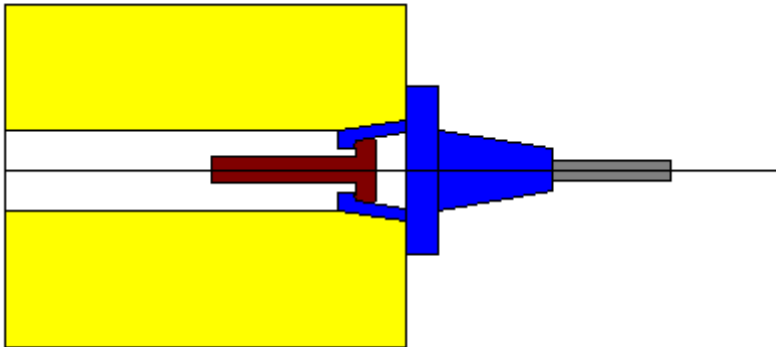
上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

刀柄和主轴的结合方式



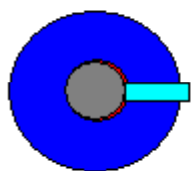
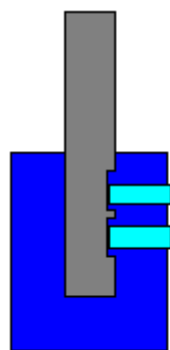
BT系列锥柄定位和拉紧形式

BT系列刀柄实心，能承受较大切削力，但动平衡性能不好

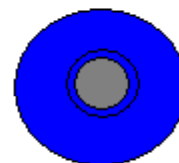
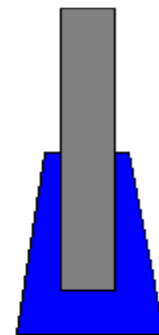


HSK系列过定位和拉紧形式，主轴端面磨损小，动平衡性能好

刀具夹持方式



削平柄顶装产生偏心

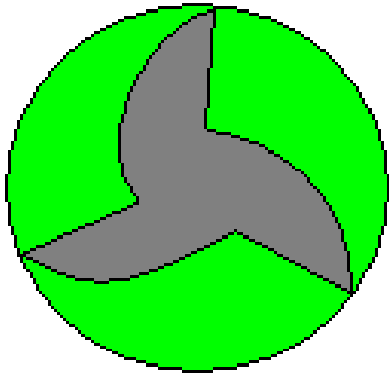


直柄热缩安装动平衡性能更好

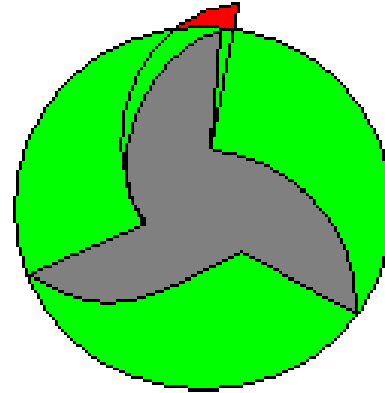


上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

跳动导致刀具磨损



正常状态下，刀具各齿均匀参与切削，磨损量平均。



当径向跳动不佳时，单齿切削量较大，优先磨损，进而导致动平衡性能降低，并使零件表面光洁度不好。

工件的装夹稳定性要求

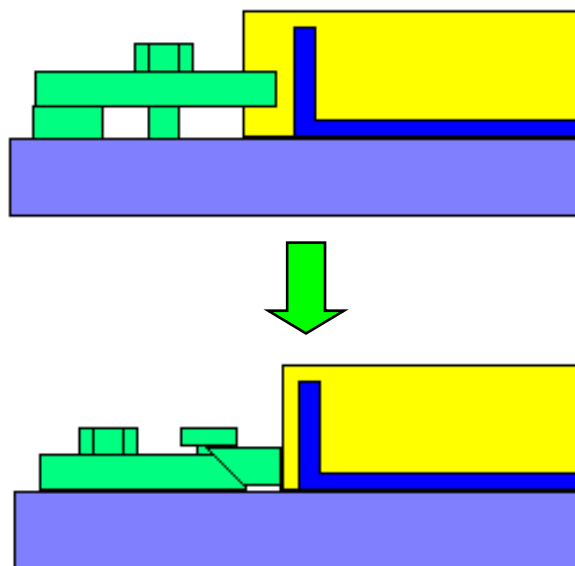
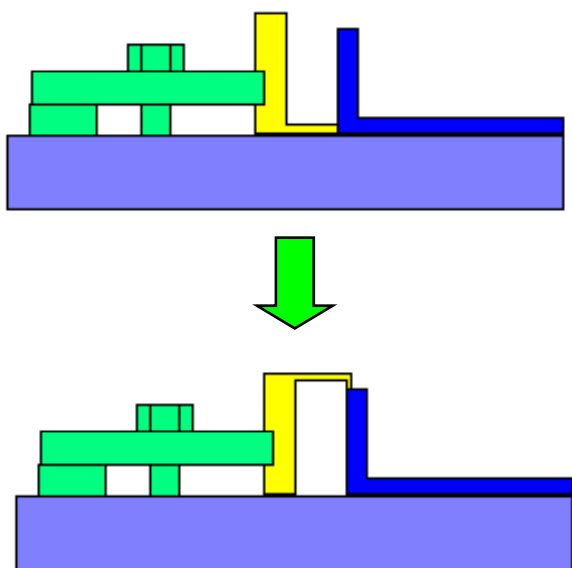
高速切削并非强力切削，其切削力较小，所以工件的装夹没有必要用太大的装夹力，基本的要求是稳定。

特别是对于一些刚性较弱的结构，诸如薄壁高筋等等，要尽量避免受迫压紧，并在加工方案上规划合理的切削路径，以保证在加工过程中零件不会出现强烈振动。



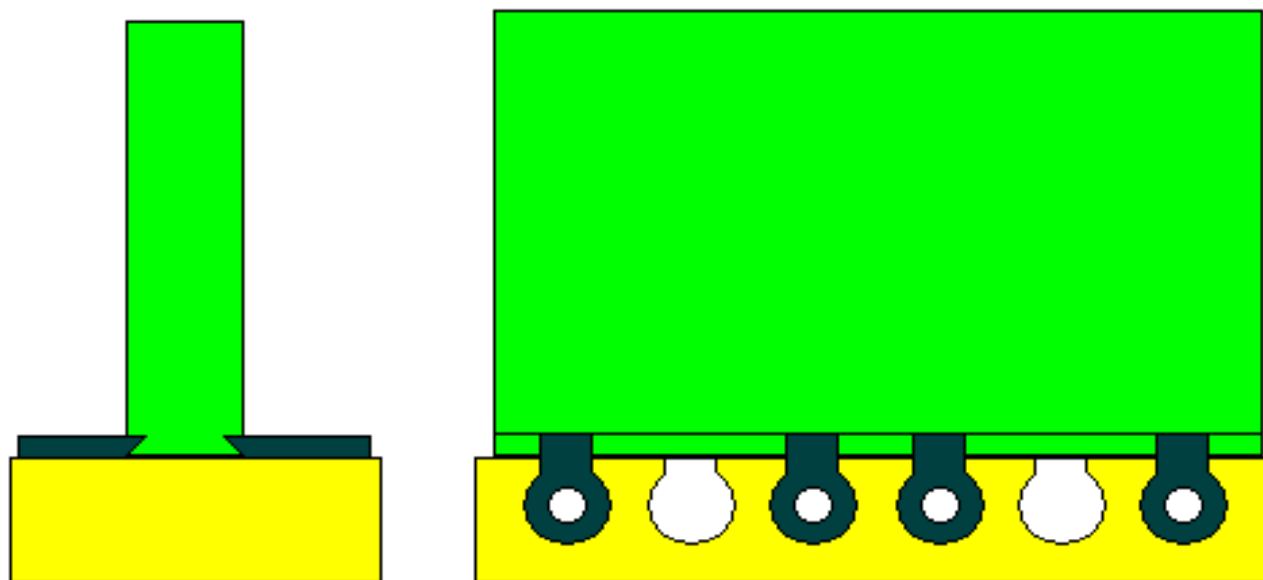
上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

几种先进的搭子预留和零件装夹方式



上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

几种先进的搭子预留和零件装夹方式



燕尾夹持具有更为显著的优势，搭子预留量更小，且装夹装置不会干涉刀具运动，可以实现单工位完成多面加工。

冷却与排屑对切削的影响

在高速加工情况下，大量切削热随着切屑飞溅散出，冷却的功能主要在于润滑和冲开切屑，不同于传统加工冷却方式，高速加工冷却液压力高，以喷射而非流淌形式进行冷却。

同时，因为润滑作用为主，冷却液的油水比例可以适当高一些，推荐气雾混合冷却，但不推荐气冷，容易产生由摩擦导致的切屑和刀具粘连。



中国商飞
COMAC

上海飞机制造有限公司

Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

冷却与排屑对切削的影响

切屑堆积对高速加工有很严重的影响，由于旋转刀具和切屑的碰撞容易产生震颤、粘连甚至断刀，而切屑不及时排出就相当于切削热没有及时排出，从而导致积屑瘤和切削热变形。

在加工开敞性差结构的时候要特别注意排屑的影响，这一点在工装夹具设计上也应当考虑到。

为了排屑更加方便，大型高速加工中心往往采用卧式结构。



上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

切削参数的选择

过去对高速加工切削参数有两种选择观念，一种是小切削量、高进给速度；另一种则是相对低的进给速度，而切削量则较大。

更为先进的理念是在综合考虑机床的性能、刀具的性能、刀具的固有振动频率等因素的基础上，通过切削试验来寻找切削量和进给速度的平衡点，从而获得最大的切削效率。



上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

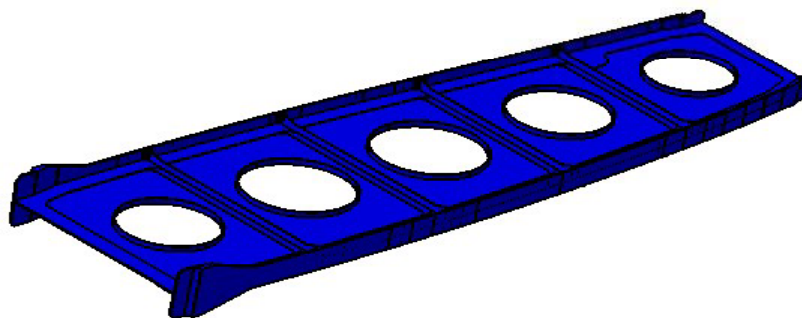
高速加工实例介绍

某零件原材料长**1145毫米**、宽**355毫米**、厚**85.1毫米**。

腹板、缘条面均为薄壁结构，最薄处**0.97毫米**。

材料去除率**95%以上**。

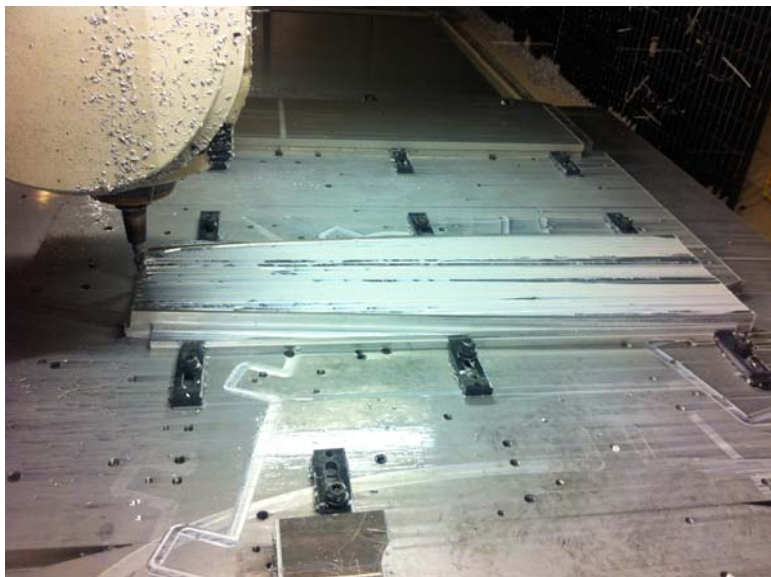
采用高速加工，最高转速**26000转**，整个零件加工完成时间仅不到**3小时**，而且无需多工位加工消除变形，仅两面分别加工后即达到尺寸要求，且通过三坐标测试，也达到了轮廓度要求。



上海飞机制造有限公司

Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

高速加工实例介绍



该零件在五坐标高速加工中心上加工示意。



配合真空夹具对薄壁底面进行加工示意。



上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

结语

高速加工近几年在国内的发展非常迅速，但真正要将这项技术应用好并不容易，整个系统的方方面面并非几句话就能全部说清楚。

企业可以从机床供应商、刀具供应商和一些技术咨询机构获得很多技术信息，但更重要的是自身对先进的加工方法进行探索和经验积累，有时候并不能一步到达最先进的程度，但关键在于我们有不断发展的眼光和学习钻研的动力。



上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.

谢谢大家



上海飞机制造有限公司
Shanghai Aircraft Manufacturing Co.,Ltd.