

V1.0

SLC DI MC MTS APC

SINUMERIK 模具加工应用包

--水波纹/明暗纹处理办法

SINUMERIK 828D / 840D sl

模具加工中典型问题“水波纹”/“明暗纹”的分析与处理办法

目录

内容

1	问题概述	1
2	问题分析	2
3	处理流程	3
4	调试方法	4
5	案例举例	7
6	参考文献	16
7	作者/联系人	16
8	版本信息	16

免责声明

由于模具加工是个非常复杂和综合的问题，涉及控制系统，机床机械，程序，工艺，刀具等多方面因素。因此本文所列内容仅对部分遇到的典型问题进行分析，无法涉及所有问题。本文所涉及的加工问题均为日常工作中经验总结所得，仅供使用者参考借鉴。我们无法保证文中所介绍的方法和经验参数能百分之百解决您的问题，敬请谅解。

我们已对文章的内容进行检查。然而不排除存在偏差的可能性，因此我们不保证所有内容完全无误，必要的修正将包含在下一版本中。

版权声明

本文著作权归作者所有，转载本文请注明文章出处及作者信息。

以上声明内容最终解释权归西门子（中国）有限公司所有，如有变动，恕不事先通知

1 问题概述

模具加工对工件的表面质量要求较高，但在实际加工中我们经常遇到如下图所示的刀纹，沿着轮廓边缘出现一圈一圈的纹路，并逐渐衰减，我们一般称为“水波纹”，就如同一粒石子落入湖中，在平静的湖面上激起层层水波。

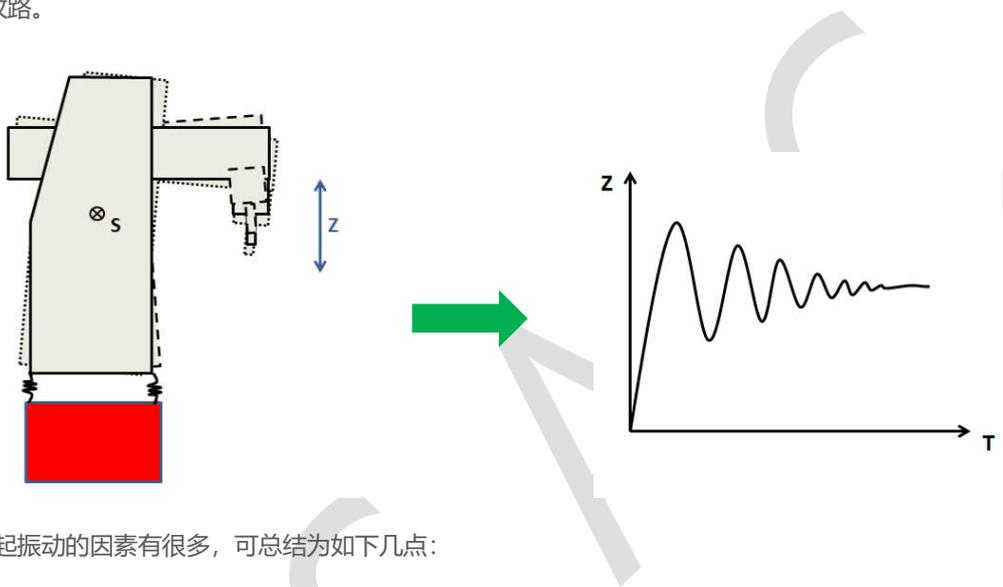


这些纹路之间看上去会有颜色深浅的差别，呈明暗感，故也有人称其为“明暗纹”。



2 问题分析

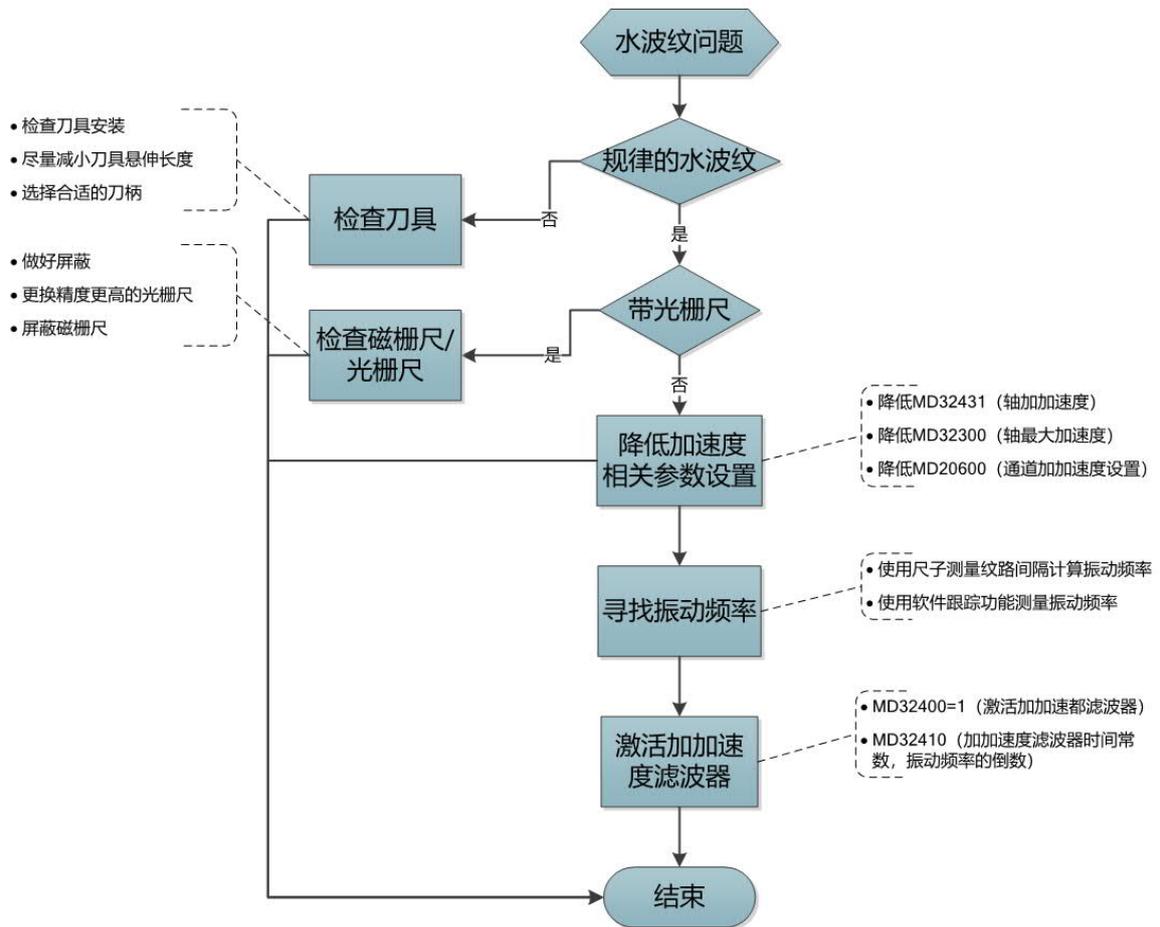
模具加工中所出现的“水波纹”一般都由振动引起，经常出现在以 C 型机结构为主的立式加工中心当中。尤其是当工件表面轮廓高低变化时，Z 轴上下运动进行定位引起机床振动，如下图所示（从微观上看），该振动会随着时间的推移逐渐衰减并趋于稳定，从而在工件表面沿着轮廓形成逐渐衰减的水波型纹路。



引起振动的因素有很多，可总结为如下几点：

原因	影响因素	分析	处理办法
振动	参数	加速度/加加速度参数设置过大，导致机床运动中产生振动	<ul style="list-style-type: none"> 降低轴加加速度 MD32431/MD32432 降低轴最大加速度 MD32300 减低通道加加速度 MD20600
	机械	机械结构引起的共振	找到共振频率，激活加加速滤波器以抑制振动
	光/磁栅尺	由于光/磁栅尺反馈信号受到干扰或磁栅尺本身精度较低等原因，导致轴轻微摆动	<ul style="list-style-type: none"> 做好屏蔽，反馈信号电缆远离干扰源 更换精度更高的光栅尺 屏蔽光/磁栅尺
其他	刀具	刀具装夹问题导致刚性不足，在加工时产生让刀现象，不正常切削产生的类似水波纹	<ul style="list-style-type: none"> 正确装夹刀具 减小刀具悬伸长度以增加刚性 选择正确的刀柄

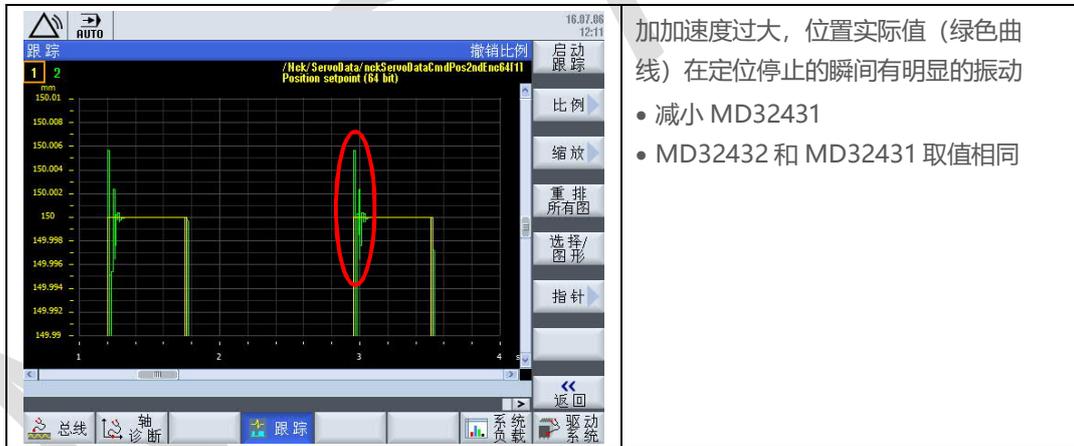
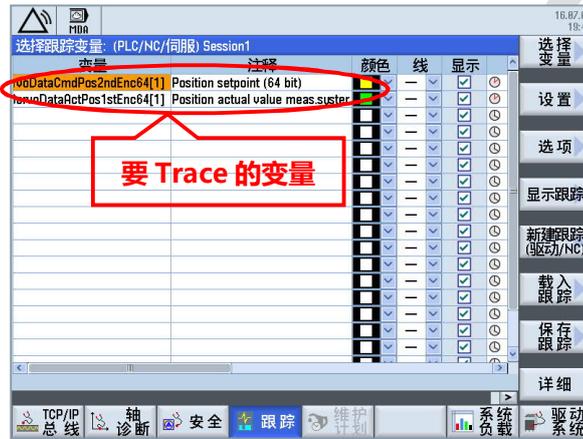
3 处理流程



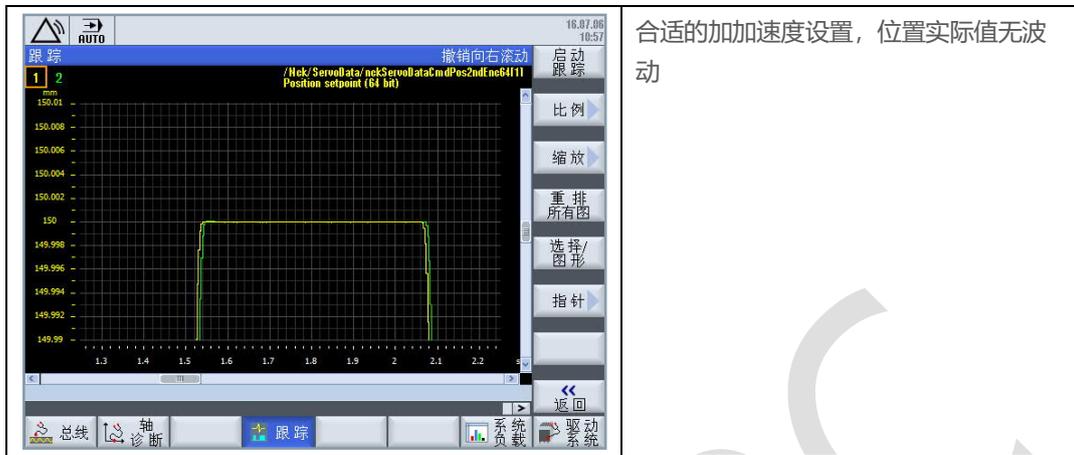
4 调试方法

对于规律的水波纹，一般为振动引起，我们可以先通过降低机床的加速度相关参数设置来降低机床振动。

- 对于精加工，建议轴的加加速度 MD32431[4]* ≤ 20；轴的最大加速度 MD32300[4] ≤ 1。
- 对于以上参数如何精准设置，可以通过 HMI 上的跟踪功能或调试软件 SINUMERIK commissioning 来监控如下变量来确认参数设置是否合适。



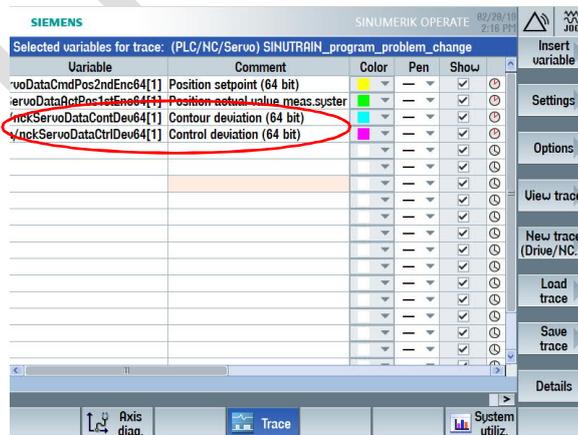
* [4]对应精优曲面/臻优曲面精加工的参数组



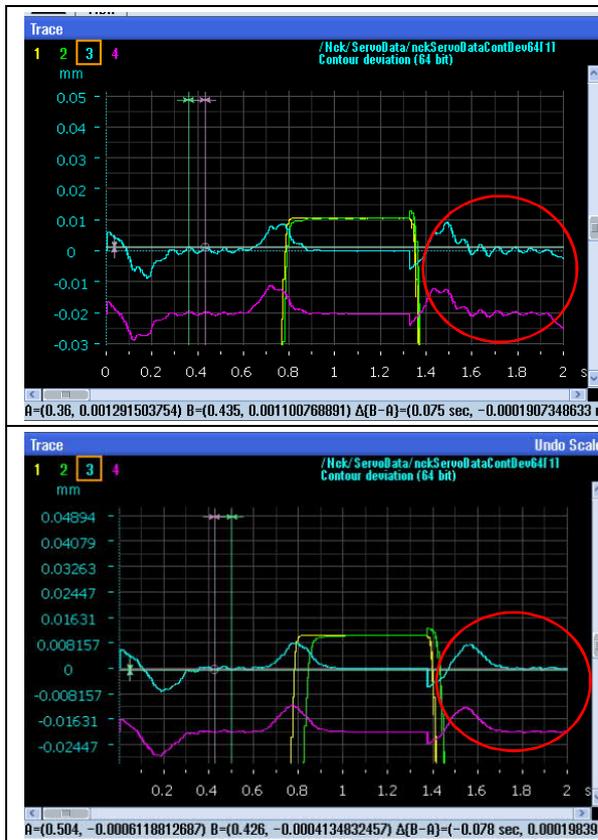
参数号	含义
MD32431*	路径运动轴最大加加速度。
MD32432*	连续路径模式中程序段转换的轴最大加加速度，此参数可将不同曲率的轮廓在程序段转换时的加加速度控制在设定的参数值以内。
MD32300*	轴能达到的最大加速度，但实际加速度性能受加加速度影响
MD20600*	通道插补路径的加加速度限制，当 SOFT 指令激活时生效

如果通过降低加速度相关参数，依旧不能减小振动，我们则需要找到相应的振源以及振动频率，并激活加加速度滤波器来抑制振动。

- 通过 HMI 上的跟踪功能或调试软件 SINUMERIK commissioning 监控轴的轮廓偏差 (contour deviation) 和控制偏差 (control deviation)，从而找到振动频率。



* 参数组[0]~[4]对应精优曲面/臻优曲面不同加工精度,[0]不激活精优曲面, [2]粗加工, [3]半精加工, [4]精加工。



- 从轮廓偏差曲线（浅蓝色）和控制偏差曲线（紫色）都可看出在轴加减速过程中存在明显的振动。
- 使用软件中的标尺测量，可得到振动周期为 0.075 秒，通过计算可得振动频率为 13.33Hz

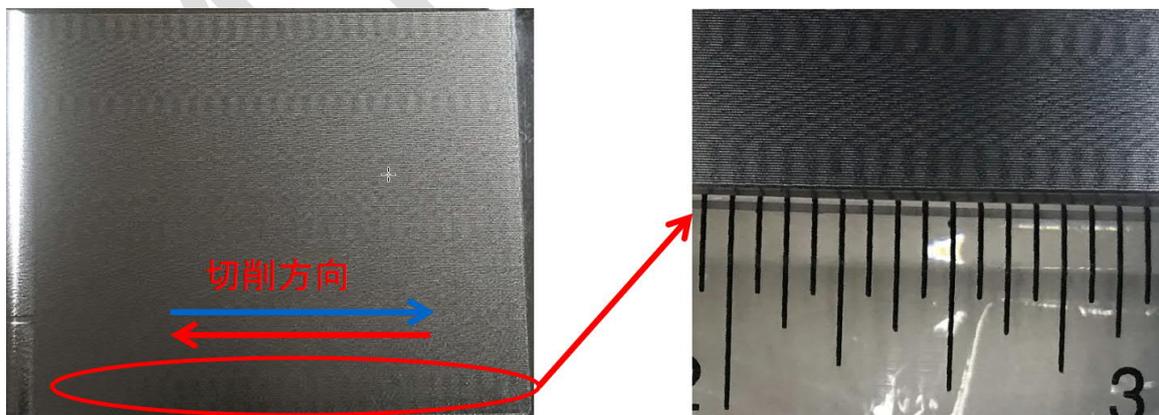
修改参数：

- MD32400=1，激活加减速滤波器
- MD32431=0.075，设入测出的振动周期时间

添加该滤波器后，可看出振动得到了明显抑制。

- 我们还可以通过测量工件表面水波纹之间的间距来算出振动频率

如下图所示，我们可用尺子测出水波纹的间距为 0.9mm，切削参数为：主轴转速 12000rpm，进给速度为 2000mm/min。



通过如下公式可算出振动频率（振动周期）：

$$0.9\text{mm}/(2000\text{mm}/\text{min}/60)=0.027\text{s}$$

5 案例举例

5.1 加速度过大

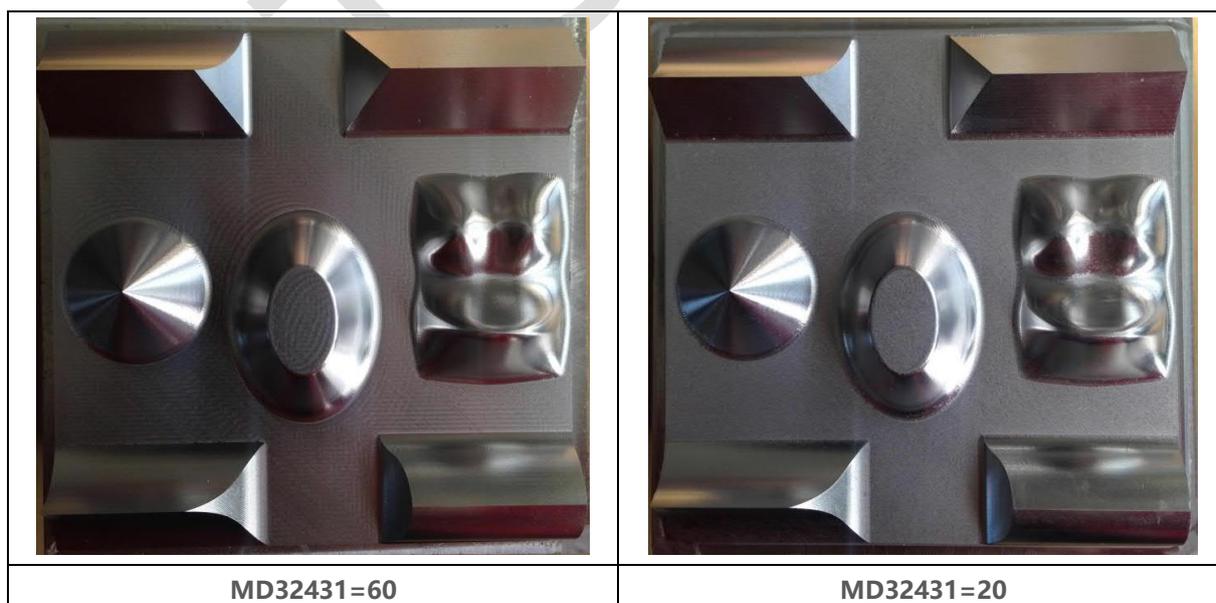
例 1:

如下图所示，在工件表面有类似“水波纹”的纹路，尤其是在凸台周围，沿着凸台轮廓像水波一样散开的纹路。



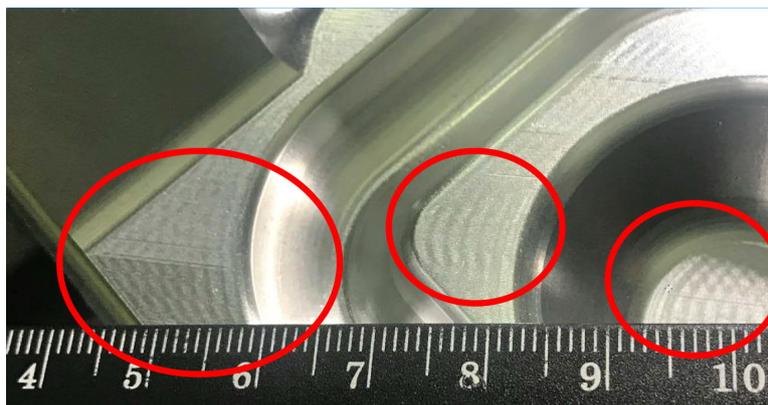
分析原因：机床加速度相关参数设置过大，导致机床在加工过程中产生振动，尤其是 Z 轴在上下运动中产生振荡，从而产生“水波纹”。

解决办法：降低 MD32431/MD32432 参数设置。对于精加工，MD32431[4]建议小于 20，机床振动越厉害此值设置应越小。



例 2:

奔驰测试件加工，在工件表面有如下图所示的“水波纹”。该工件采用两刃的 D6R3 球铣刀加工，主轴转速为 15000RPM，进给速度为 2000mm/min。加工时长为 4H30M。



分析:

1. 从上图红圈中的纹路判断为水波纹，应由振动引起。
2. 将三轴的加加速度参数 MD32431 从 10 降低到 5，有所改善但并未消除。
3. 使用尺子测量水波纹的间隔，大概为 0.9mm，使用如下公式可知，频率约为 37Hz，而主轴旋转的频率为 250Hz，刀具的频率为 500Hz。由此可判断该纹路不是正常切削所产生的纹路，也不是主轴振动所致。

$$2000\text{mm}/\text{min}/60/0.9\text{mm}\approx 37$$

$$15000\text{RPM}/60=250\text{Hz}$$

解决办法:

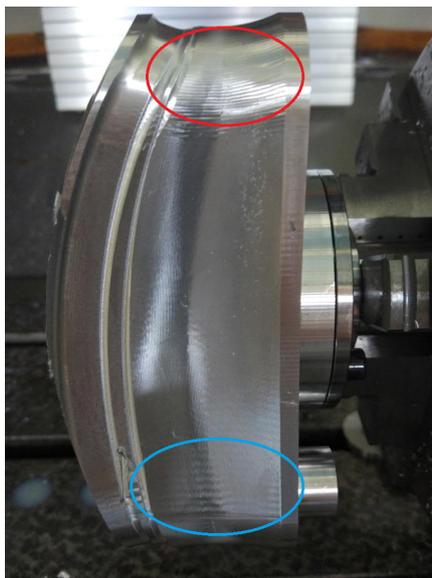
- 激活加加速滤波器，MD32400=1；设置滤波器时间常数，MD32410=0.027

添加滤波器后，该振动被有效抑制，表面的水波纹消失。



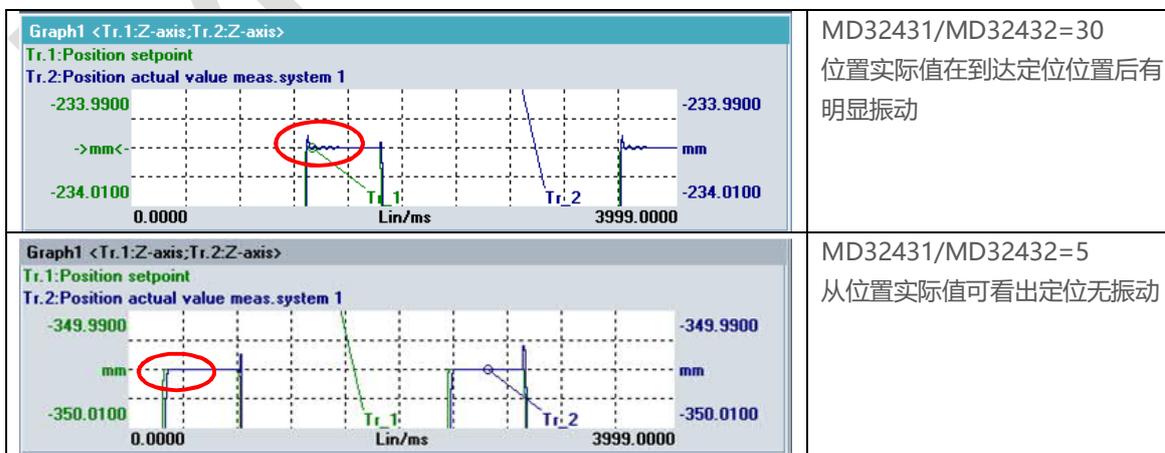
5.2 机械结构引起振动

下图为一个四轴加工中心所加工出的模具件，在工件表面质量很差。红圈处有明显的棱，用手可以摸出；蓝圈处可见明显的纹路。

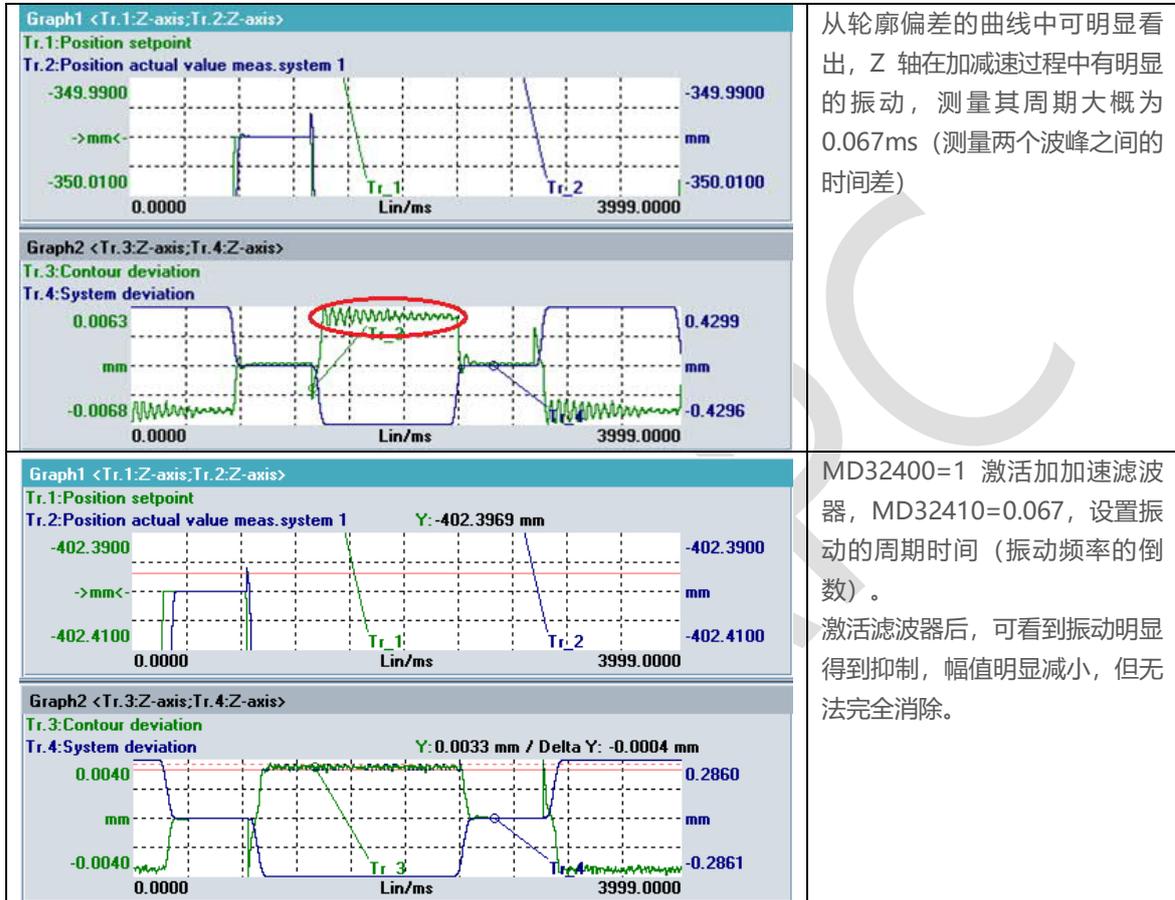


分析：

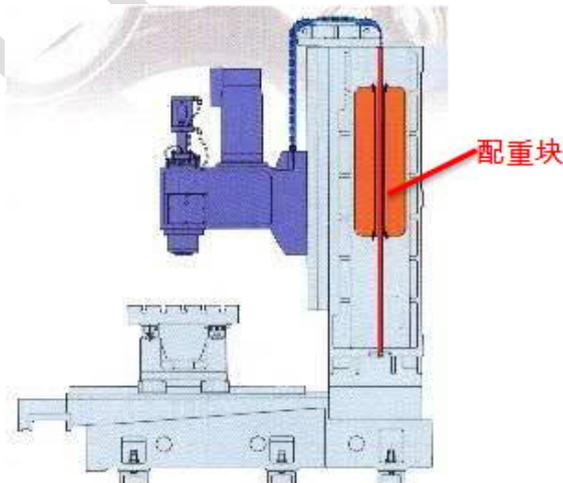
1. 该工件由四轴插补加工完成，从工件纹路上可基本判断为“水波纹”，且纹路与刀具加工路径垂直。红圈里纹路非常重，可用手摸出明显的棱。由此判断跟振动直接相关，从工件加工路径分析可知与参与插补的 Z 轴和 A 轴直接相关。
2. 检查 Z 轴和 A 轴加功速度相关设置参数 MD32431/MD32432，并使用 startup-tool 软件跟踪 Z 轴位置设定值(Position setpoint)和位置实际值(Position actual value meas. System 1)，发现原先的参数设置偏大，在 Z 轴定位可监测到振动。



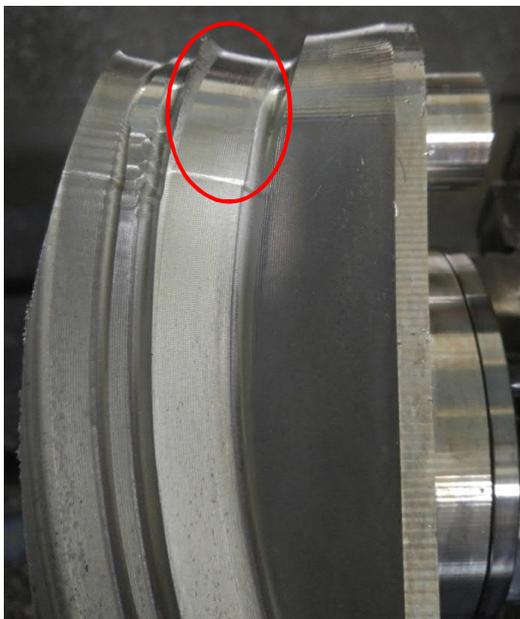
3. 进行加工测试，虽然有所好转，但问题依然存在。再次跟踪轮廓偏差(contour deviation)和控制偏差(system/control deviation)



4. 检查机床结构发现，该机床的 Z 轴采用重锤配重设计。当机床 Z 轴上下运动尤其是加速运动时配重块（重锤）就会跟随 Z 轴牵引的链条上下运动从而引发振动。由于机械结构限制，导致振动无法完全消除。



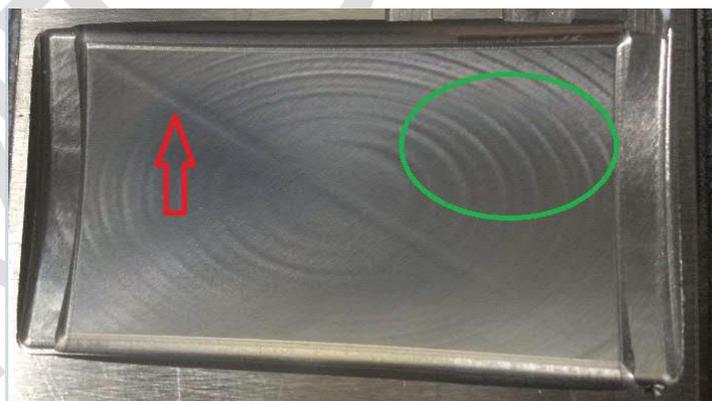
5. 再次进行实际加工，工件表面质量明显提升，“水波纹”和棱消失。(为了提高解决问题的效率，故反复在同一位置上切削，所以只看中间部分就好)



5.3 外部测量系统引起的振动

例 1:

如下图所示，45 度方向走刀（工件对角线），在工件表面出现环形纹路，明暗相隔，似“水波”状。



分析:

1. 从明暗间隔的纹路可判断为振动引起。测量纹路间隔约为 5mm，估算频率约为 6Hz，属于低频振动，一般不会来自于机床加速度过大或结构带来的振动。
2. 由于客户采用磁栅尺作为第二测量系统，且该磁栅尺的精度较低，怀疑与磁栅尺有关。

解决办法:

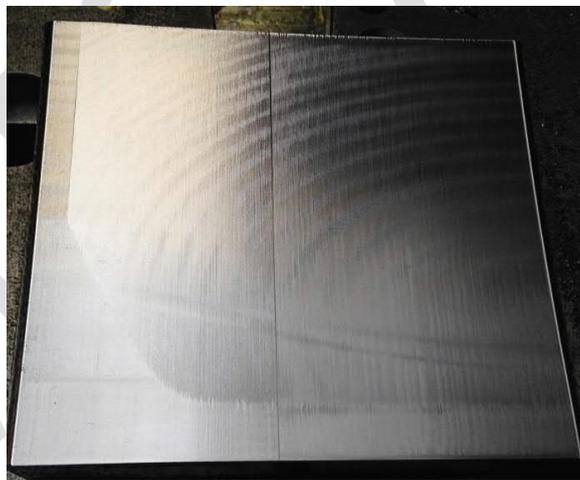
- 选择精度更高的磁栅尺或光栅尺
- 屏蔽磁栅尺, 使用电机编码器的第一测量系统。

屏蔽磁栅尺后重新加工, 之前的环形纹路消失。



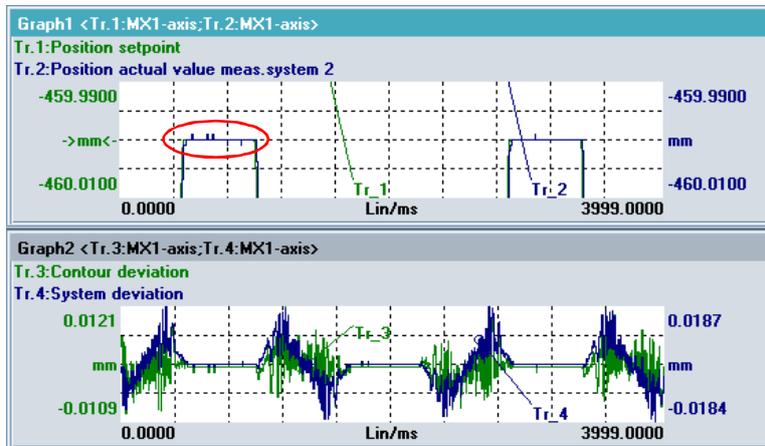
例 2:

龙门式加工中心, 90 度走刀加工如下图所示工件, 表面出现圆弧型明暗间隔的纹路。

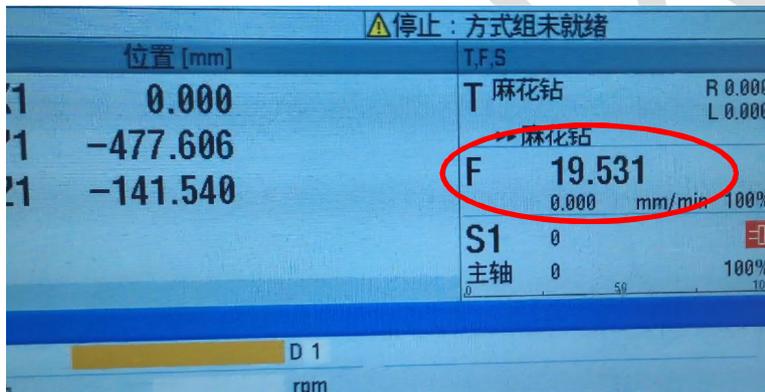


分析:

1. 从间隔的纹路看, 怀疑与振动有关, 但该纹路间隔较大且并非由于轮廓高低变化而沿着轮廓逐渐散开。
2. 使用 startup-tool 软件跟踪 3 个轴的位置设定值和位置实际值, 发现在定位时从磁栅尺反馈的位置实际值存在微小跳动, 如下图所示:



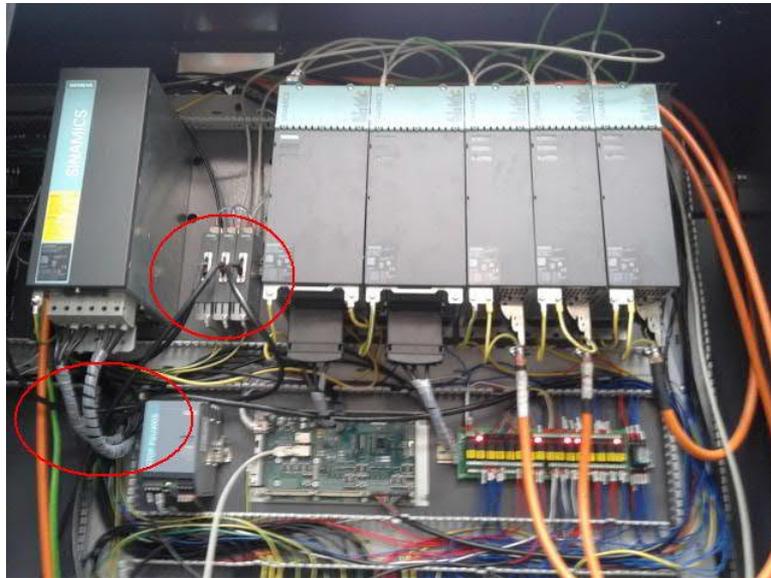
3. 拍下急停进行测试，偶然发现速度命令值为 0，但速度实际值不为 0，说明有轴在动，如下图：



4. 在系统诊断界面里查看，发现第二测量系统的反馈值间歇性的在 $\pm 1 \sim 2 \mu\text{m}$ 跳动，如下图：

信号	值	单位
跟踪误差	0.002	mm
控制偏差	0.002	mm
轮廓偏差 (单轴)	0.002	mm
增益系数 (计算出的值)	0.000	1000/min
有效测量系统	2	
测量系统1测出的位置实际值	-16583.767	mm
测量系统2测出的位置实际值	-477.608	mm
位置设定值	-477.606	mm
测量系统1绝对补偿值	0.000	mm
测量系统2绝对补偿值	0.000	mm
垂度补偿 + 温度补偿	0.000	mm
有效编码器测出的转速实际值	0.065	%
驱动器的转速设定值	0.000	%

5. 检查电柜，发现三轴磁栅尺的信号接口模块装在了电源模块与 AIM 模块中间，且反馈信号电缆没有屏蔽，由此判断该问题由磁栅尺反馈信号受到干扰所致。



解决办法:

- 重新安装磁栅尺反馈信号模块并做好屏蔽
- 屏蔽磁栅尺, 使用电机编码器进行加工

本例将磁栅尺屏蔽后再加工, 该纹路消失。



5.4 刀具因素引起的“水波纹”

如下图所示, 轮毂铣削加工, 在辐条内侧出现类似水波的纹路。



分析：

1. 从工件的纹路上看，虽看起来像水波状，但其纹路并不规律，与常见的“水波纹”不太一样。
2. 仔细观察纹路表面，发现表面纹理与刀具正常切削出来的纹理不同，怀疑与刀具有关。
3. 检查刀具，发现刀具在安装时，刀柄与主轴存在间隙，导致机械刚性变差，从而在切削时尤其是在工件拐角处（吃刀面积增大）产生让刀现象，表面并非正常切削形成，故产生了类似水波的纹路。且为了加工轮毂辐条，刀具悬伸很长，也加重了让刀现象，故越是工件底部，水波纹路越是明显。

解决办法：

- 重新装夹刀具，消除与主轴之间的间隙。
- 在不发生干涉的情况下，尽量缩短刀具悬伸长度，增加机械刚性，降低振动。

重新装夹刀具后再加工，轮毂辐条拐角处的纹路消失，恢复正常。



6 参考文献

- 《加工问题分析总结 V2.0》— 石璇, 2018.07
- 《金属加工明暗纹处理案例》— 赵伟, 2018.12
- 《模具加工问题分析汇总》— 王荣新, 2018.04

7 作者/联系人

Shi Xuan
2019.2.14

8 版本信息

版本	日期	修改内容
V1.0	2019.02.14	第一版