多轴加工进给率精确控制后置处理研究

■ 西安航天动力机械厂 （西安 710025） 王宏刚

摘要： 本文介绍了加工进给率如何控制机床运动，根据具体加工情况介绍了多轴加工进给率调整方法，解决了进给率突变问题，保证了加工质量和加工效率，并介绍了在实际加工中的应用情况。



进给率对于数控加工至关重要，不但直接影响加工效率，还影响刀具损耗以及加工质量。在三轴加工中进给率只控制刀具移动速度，但在五轴加工中由于工作台和刀头的转动，进给率不但控制线速度而且还控制角速度。五轴加工中刀具相对于工件的线速度会经常发生突变，刀具、产品、机床都会不断受到冲击，这给加工带来很大的安全隐患。以往

管也单列出为一个策略。随着需求的增加，算法的改进，以后还会衍生出更多的这种特征的集成策略，但是这有出现了一个新的问题，策略数量种类增多，不太符合简化种类的要求。

叶轮、弯管是特征非常明显的一类零件，实际中那只是一小部分，还有海量的特征不明显的零件需求，如何应对这个需求？

更高级的方法，就是定制一类加工模板工艺，导入数模，无需人工干预，生产刀路。目前这种模板的定制，只有极少数专业工程师可以完成（见图8），虽然不普及，但也是一个发展方向。

5. 结语

智能化CAM是必然方向，目前遇到的技术瓶颈，商业、利益环境的制约，未来会克服。

但是，传统制造的减量加工过程，而增量3D打印制造手段正在蓬勃兴起，与之配合的软件

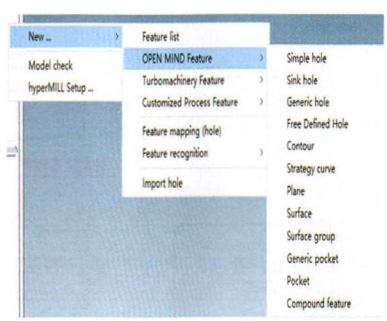


图8 特征的自动识别

会是另一种理念。3D打印在制造领域会逐步增加，替代某些复杂加工（如，密闭型腔整体加工等），或许未来两者会并存。

注：本文得到德国OPENMIND[奥奔麦贸易（上海）有限公司]李俊杰工程师的技术支持。

参考文献：

[1] OPEN MIND Technology AG 公司. HyperMILL 使用说明 OPEN MIND THE CAM FORCE[E]. OPEN MIND Technology AG 公司，2013.

MW （收稿日期：20170216）

为降低冲击对加工造成的影响往往采用降低进给率的方法，但此方法不但降低了加工效率而且不能完全消除冲击。为了消除冲击唯一的方法是刀具在加工中保持平稳的切削速度。在后置处理时通过精确计算出刀具在每个位置实际加工速度，再进行控制调节保持整个加工过程进给率一致，可以有效改善加工状态。

1. 工作台单独转动进给率优化控制

工作台单独转动时实际进给率f与加工位置有关，实际进给率与编程进给率对于关系如图1所示。

在数控加工时编程切削速度F既控制位移运动又控制角速度，在控制角速度时，实际刀具进给速度f变为

$$F=\pi rF/180$$

实际进给速率与加工半径有关，要使实际进给速度保持平稳就要对编程进给率进行修正，修正后的进给率F_0为

$$F_0=180F/\pi r$$

2. 五轴联动进给速度优化

在五轴联动加工方式下，机床对进给率解释为：在一定时间ΔT各运动轴必须准确到达指定位置。

$$\Delta T=\Delta S/F$$

$$\Delta S=(\Delta X^2+\Delta Z^2+\Delta B^2+\Delta C^2)^{1/2}$$

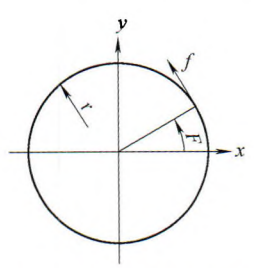


图1　角速度与线速度关系

式中，ΔS为相对运动距离当量，ΔX为X轴相对运动距离，ΔY为Y轴相对运动距离，ΔZ为Z轴相对运动距离，ΔB为B轴刀头相对摆动角度，ΔC为C轴工作台相对转动角度。

由于ΔS在计算时是将直线运动距离和角度混合在一起计算，所以其单位是无法确定的，所以其值只是对相对移动距离的一个描述，是一个当量。实际进给刀具速度f为

$$f=\Delta S/\Delta T$$

由于ΔS并不能准确反映出相对运动距离，所以实际进给速度误差会很大，直接影响加工时进给率的稳定性，这就要对ΔS进行修正，修正方法为：在进行后处理时计算出刀具轨迹文件中的Δd，用Δd替换ΔS进行计算

$$\Delta d=(\Delta X^2+\Delta Y2+\Delta Z^2)^{1/2}$$

式中，ΔX、ΔY 和ΔZ为刀具轨迹文件中的位移量。

由于在五轴编程时，都是采用直线段来拟合型面，为了降低拟合误差，直线段一般取得很小，在进行后处理时工作台或刀头的转动角度会很小，所以用Δd来替代真实的运动距离是完全合理的。对编程进给速度进行修正后的结果为

$$F_0=(\Delta X^2+\Delta Y2+\Delta Z^2+\Delta B^2+\Delta C^2)^{1/2}\cdot F/(\Delta X^2+\Delta Y2+\Delta Z^2)^{1/2}$$

3. 编制后处理程序

有了算法就可以通过编制后处理程序，将算法写入到后处理中。本成果是以Pro/E自带的G-poSt为开发平台，以FIL（faCtorY interfaCe language）语言进行后处理二次开发，部分开发程序如下：

```
（读入一行指令）
T3=POSTF(14)
DO/R1,N=1,10000
DMY=POSTF(20)
SEQNO/OFF
DMY=POSTF(21)
B1=POSTF(7,1)
CLS=POSTF(7,3)
CLT=POSTF(7,2)
CLL=POSTF(7,5)
B4=POSTF(7,4)
（处理一条刀具轨迹文件）
T3=POSTF（13）
（建立临时文件）
T1=POSTF（25,0）
（写入临时文件）
T1=TEXT/READ,PUNCH
```

4. 实际加工效果

（1）四轴工作台转位加工。刀路如图2所示。

此产品在DMG125P上加工，加工中工作台C转动切削。编程设定加工进给率F=2 000mm/min，加工最大直径192mm，在未经过进给速度优化时C轴在转动时，实际加工速度f根据公式计算为

$$f=(\pi/180)\times 92\times 2\,000=3\,351$$

实际进给速度大大超出了期望的进给速度，进给率突变非常严重，对刀具、产品冲击很大，加工表面质量很差，对刀具损耗很大，所以在进行后处理时必须

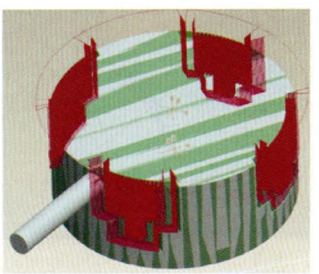


图2　四轴加工刀路图

对进给率进行修正，修正后的进给率F_0为

$$F_0=(180/\pi)\times(2\,000/92)$$
$$=1\,245.56$$

优化后的程序如图3所示。进给率经过修正后，产品表面质量非常好，而且一把刀具加工完两件产品后未发现明显磨损，还可以继续使用。

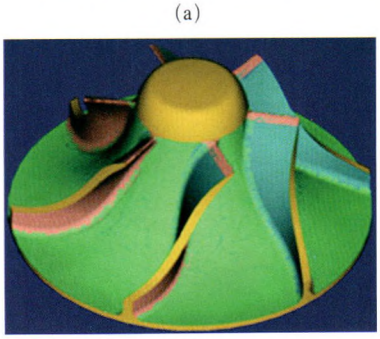
（2）五轴联动加工。在加工整体叶轮时通过以上方式对进给率进行优化，实现了平稳加工。图4所示为编程刀路轨迹及加工仿真结果，图5所示为优化前和优化后进给率对比，图6所示为实际加工结果，图7所示为三维扫描检测报告，检测结果满足设计要求。

```
1 L X-10.000 Y+114.560 Z+0.000
2 L Y+96.600 F MAX
3 L Y+95.600 F2000
4 L Z-39.000
5 L X-6.600 C+165.570 F1111
6 L X-3.290 C+168.620 F1113
7 L X-0.020 C+171.630 F1113
8 L X-10.000 C+171.650 F1108
9 L Z-59.500 F2000
10 L X-4.800 C+177.420 F1020
11 L X+0.300 C+183.050 F1021
12 L X+5.390 C+188.670 F1020
13 L X+10.000 C+193.780 F1017
14 L Z-39.000 F2000
15 L X-0.000
16 L X+3.530 C+197.210 F1113
17 L X+7.090 C+200.670 F1111
```

图3　进给率优化后程序



(a)

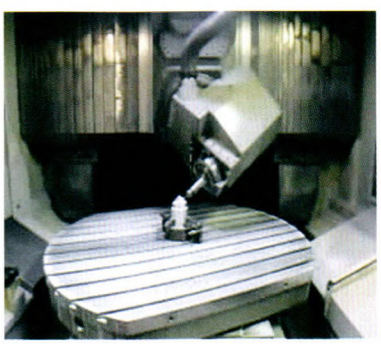


(b)

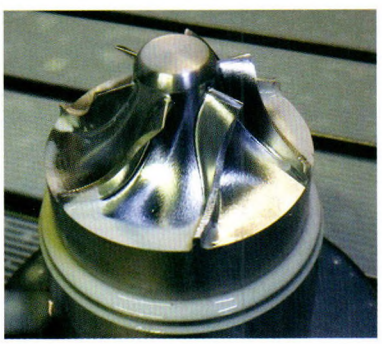
图4　加工编程刀路及仿真结果

5. 结语

通过进给率精确控制方法成功了解决了进给率突变问题，保证了以往难加工产品顺利加工，减少了刀具损耗提高了加工效率。



(a)



(b)

图5　实际加工效果

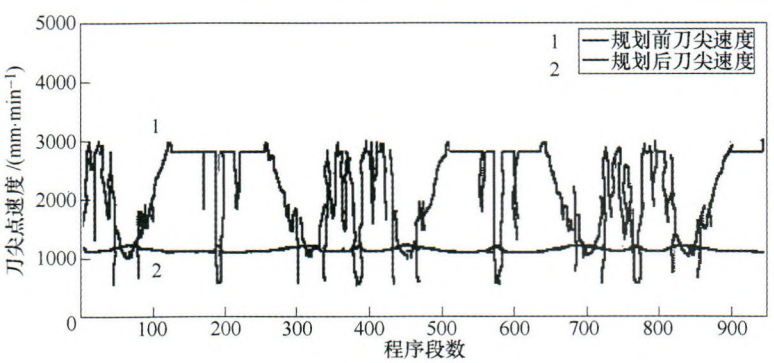
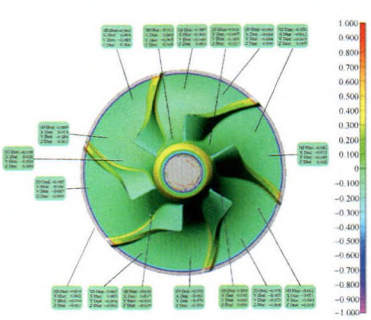


图6　进给率优化前后对比



Index	Nom(x)	Nom(y)	Nom(z)	Dev(x)	Dev(y)	Dev(z)	Dev(3D)
1	-35.271	15.498	-16.756	0.014	-0.088	0.007	-0.089
2	-23.188	15.134	-34.805	0.004	-0.081	0.006	-0.081
3	0.628	15.492	-39.313	-0.000	-0.049	0.009	-0.049
4	18.296	15.257	-36.375	-0.004	-0.084	0.009	-0.084
5	33.084	15.669	-19.102	-0.012	-0.069	0.007	-0.070
6	39.524	15.311	-7.987	-0.012	-0.081	0.002	-0.082
7	34.407	15.715	16.165	-0.011	-0.060	-0.005	-0.062
8	26.579	15.337	30.126	-0.007	-0.077	-0.008	-0.078
9	3.339	15.439	39.384	-0.001	-0.070	-0.010	-0.070
10	-18.983	15.188	36.951	0.003	-0.054	-0.006	-0.055
11	-38.662	14.953	22.663	0.002	-0.054	-0.001	-0.054
12	-43.163	14.981	6.348	0.006	-0.087	-0.001	-0.087
13	-20.865	24.902	-529	0.028	-0.024	0.008	-0.038
14	-4.761	32.867	-16.280	0.013	-0.005	0.011	-0.013
15	12.208	30.303	-13.435	-0.007	-0.005	0.007	-0.011
16	17.339	29.077	7.405	0.015	-0.009	0.006	-0.018
17	-12.408	28.525	14.550	0.017	-0.016	-0.019	-0.030

图7　加工检测结果

参考文献：

[1] 刘伟雄. 数控加工理论与编程技术[M]. 北京：机械工业出版社，2001.

[2] 丁国富，江磊，朱绍维，等. 五轴数控加工精度建模、分析及控制技术[M]. 北京：科学出版社，2016.

[3] 张建刚，胡大泽. 数控技术[M]. 武汉：华中科技大学出版社，2000.

MW（收稿日期：20170208）