

基于 ANSYS 的细长轴车削加工分析

吴明明

(安徽三联学院 机械工程学院, 合肥 230601)

摘要:在对细长轴传统车削(正向)弯曲变形分析的基础上,提出细长轴逆向车削的加工方法,并对细长轴的逆向车削进行弯曲变形分析,再利用有限元法分别对两种车削方案的加工精度进行仿真,最后通过实验验证逆向车削可以在一定程度上提高细长轴类零件的车削加工精度。

关键词:细长轴;逆向车削;有限元法

中图分类号:TH161⁺.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-349X(2016)06-0044-04

DOI:10.16160/j.cnki.tsxyxb.2016.06.012

An ANSYS-Based Analysis of Slender Shaft Turning

WU Ming-ming

(School of Mechanical Engineering, Anhui Sanlian University, Hefei 230601, China)

Abstract: Based on the analysis of the bending and deformation in the traditional turning (positive) of slender shaft, the author of this paper has put forward the reverse turning method for slender shafts, analyzed the bending and deformation in the reverse turning, and simulated the turning precisions of the two methods with the finite element method. The results show that the reverse turning method can improve the machining accuracy for slender shafts.

Key Words: slender shaft; reverse turning; finite element

在机械加工中,把长径比大于 20 的轴类零件统称为细长轴。细长轴零件由于本身刚度原因,在车削时容易产生弯曲变形,从而改变车削刀具的实际走刀线路,车削加工精度低,很难获得理想的加工尺寸^[1],因此被认为是车削加工中的工艺难题。目前,国内外对提高细长轴车削加工精度的研究主要分为两类:一是改变工件装夹方式,将传统的卡盘一顶尖装夹改进为两顶尖装夹;二是改变切削力等加工工艺参数。本文在对细长轴传统车削方法进行力学建模和受力分析的基础上,提出逆向车削的加工方法,并建立逆向车削力学模型,以分析其加工特性。通过 ANSYS 有限元法^[2]对两种车削方法加工精度的仿真结果进行分析比较。

1 细长轴车削弯曲变形分析

1.1 正向车削弯曲变形分析

工件采用传统的卡盘一顶尖装夹方式装夹,这

种装夹方式可以简化为求解一次超静定梁问题^[3],其力学模型如图 1 所示。正向车削时,车刀从机床围座向卡盘方向进给,切削分力 F_x 使工件受压,细长轴会产生比较明显的弯曲变形; F_y 使工件产生弯曲,使工件加工产生误差。

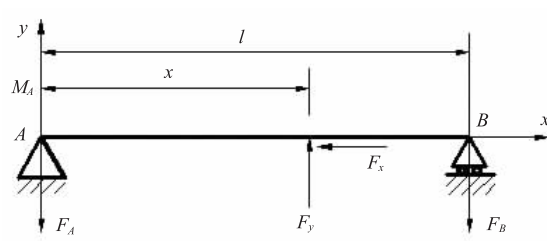


图 1 细长轴正向车削受力分析

根据材料力学基本理论, B 点支反力为:

$$F_B = \frac{F_y x^2}{2l^2} \left(3 - \frac{x}{l} \right)。$$

再根据力学平衡方程 $\sum Y=0$, 求得 A 点支反力为:

$$F_A = F_y - \frac{F_y x^2}{2l^2} \left(3 - \frac{x}{l}\right).$$

根据图1所设的坐标,绕度向下为负。因此,规定 F_x 使工件受压时为正,则可得到距 A 端距离为 x 的截面上的弯矩方程为:

$$M(x) = F_A x - F_x y, (0 \leq x \leq l/2).$$

挠曲线 $y(x)$ 的近似微分方程为:

$$y''(x) = d^2 y / dx^2 = M(x) / EI.$$

上式中, E 为材料弹性模量, I 为截面对 x 轴的惯性矩。整理得到:

$$EI y''(x) = \frac{F_y}{2l^2} (x^4 - 3lx^3 + 2l^2 x) - F_x y.$$

$$\text{令 } k^2 = \frac{F_x}{EI}, T = \frac{F_y}{2l^2 EI}, P = \frac{3F_y}{2l EI}, Q = \frac{lF_y}{EI}, \text{ 则}$$

$$y''(x) + k^2 y = Tx^4 - px^3 + Qx. \quad (1)$$

方程(1)的通解为:

$$y = C_1 \cos kx + C_2 \sin kx + \frac{T}{k^2} x^4 - \frac{p}{k^2} x^3 - \frac{12T}{k^4} x^2 + \left(\frac{6p}{k^4} + \frac{Q}{k^2}\right)x + \frac{24T}{k^6}.$$

代入边界条件:

$$\text{当 } x=0, y=0 \text{ 时}, C_1 = -24T/k^6;$$

$$\text{当 } x=l, y=0 \text{ 时}, C_2 = \frac{1}{\sin kl} \left[-\frac{T}{k^2} l^4 + \frac{p}{k^2} l^3 + \frac{24T}{k^4} l^2 - \left(\frac{6p}{k^4} + \frac{Q}{k^2}\right)l - \frac{24T}{k^6} + \frac{24T}{k^6} \cos kl \right].$$

故方程(2)的特解为:

$$y(x) = -\frac{24T}{k^6} \cos kx + \frac{1}{\sin kl} \left[-\frac{T}{k^2} l^4 + \frac{p}{k^2} l^3 + \frac{24T}{k^4} l^2 - \left(\frac{6p}{k^4} + \frac{Q}{k^2}\right)l - \frac{24T}{k^6} + \frac{24T}{k^6} \cos kl \right] \times \sin kx + \frac{T}{k^2} x^4 - \frac{p}{k^2} x^3 - \frac{12T}{k^4} x^2 + \left(\frac{6p}{k^4} + \frac{Q}{k^2}\right)x + \frac{24T}{k^6}, (0 \leq x \leq l/2).$$

1.2 逆向车削弯曲变形分析

细长轴逆向车削的力学模型如图2所示。逆向车削时,车刀从机床卡盘向尾座方向进给,此时走刀方向切削力 F_x 使工件受拉,不会产生径向弯曲变形,此时工件的弯曲变形可看作仅仅是由 F_y 所引起的,可得到工件挠曲线方程为:

$$y = \frac{F_y}{2l^2 EI} \left(\frac{x^6}{30} - \frac{3l}{20} x^5 + \frac{l^3}{3} x^3 \right) - \frac{13F_y l^3}{120 EI} x, (0 \leq x \leq l/2).$$

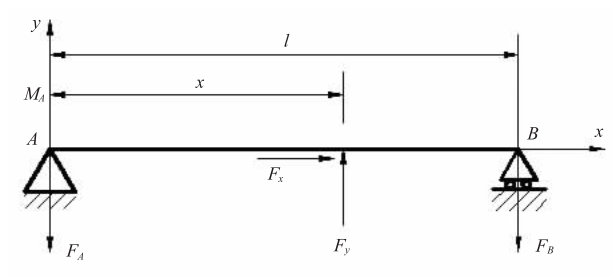
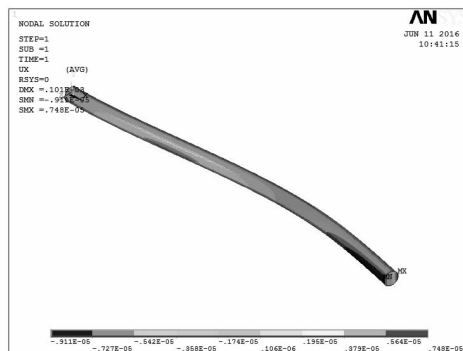


图2 细长轴逆向车削受力分析

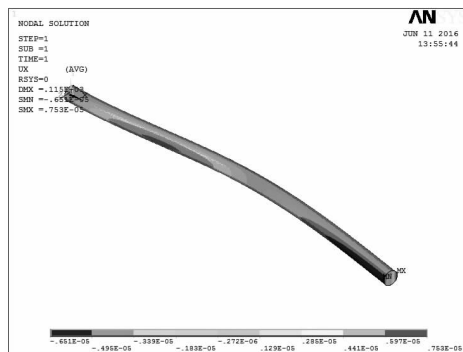
2 细长轴车削的有限元分析

已知条件:工件长为 800 mm,直径为 30 mm,长径比为 26.67(长径比大于 20,工件属于细长轴)。工件材料为 45 号钢,密度为 7 800 kg/m³,泊松比为 0.3,弹性模量 $E=210$ GPa。本次仿真分析中,将细长轴沿轴向离散成 80 个节点,利用 ANSYS 软件,分别对正向切削时刀具作用在细长轴 1/4,1/2,3/4 处的受力进行分析^[4],得到的细长轴弯曲变形图,如图3所示。

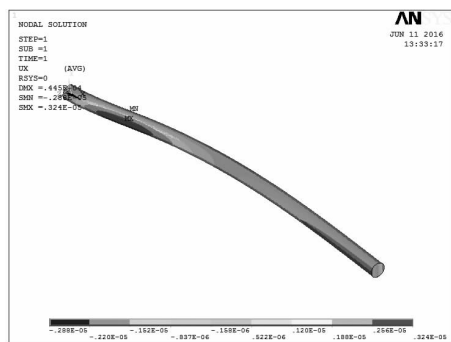
使用相同的方法利用 ANSYS 软件对细长轴进行逆向车削分析,得到细长轴逆向车削弯曲变形图,如图4所示。



(a) 1/4 处弯曲变形图

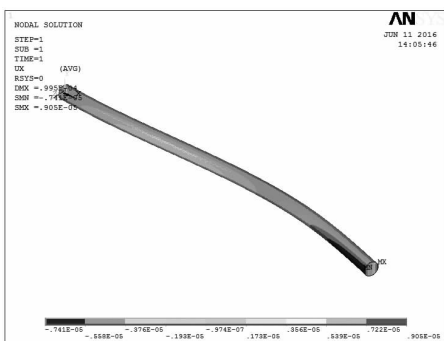


(b) 1/2 处弯曲变形图

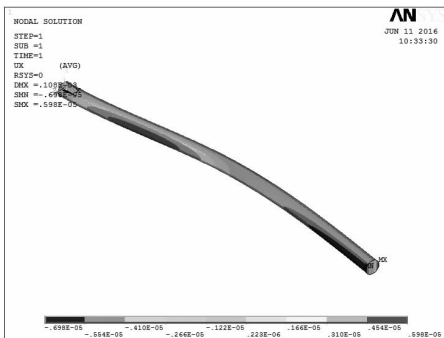


(c) 3/4 处弯曲变形图

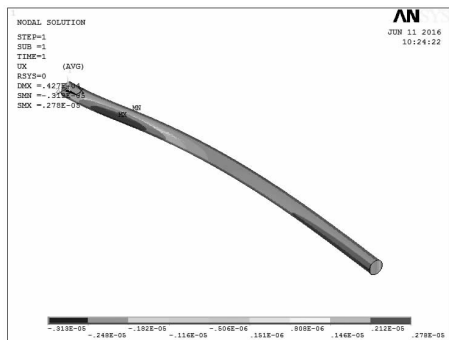
图 3 细长轴正向车削时弯曲变形图



(a) 1/4 处弯曲变形图



(b) 1/2 处弯曲变形图



(c) 3/4 处弯曲变形图

图 4 细长轴逆向车削时弯曲变形图

将上述仿真结果进行分析统计,得到细长轴正向、逆向车削弯曲变形参数表,详见表 1。

表 1 细长轴正向、逆向车削弯曲变形参数

走刀方向	不同位置弯曲变形量/mm		
	1/4 处	1/2 处	3/4 处
正向车削	0.101	0.115	0.044 5
逆向车削	0.099 5	0.108	0.042 7

由表 1 看出,不论正向车削或是逆向车削,细长轴最大弯曲变形量都出现在轴长的 1/2 附近^[5];比较正向、逆向参数发现,不论在细长轴长的 1/4 处、1/2 处还是 3/4 处,逆向车削相比正向车削的弯曲变形量都要小约 5%,可见逆向车削方案能在一定程度上提高细长轴车削的加工精度。

3 实验论证

3.1 实验条件

机床:CK360;试件:45 号钢,工件尺寸 $\Phi 32 \times 800$ mm;车刀:硬质合金钢 YT15;测量工具:V 型铁、百分表、磁力架等。

3.2 实验参数

装夹方式:卡盘一顶尖安装;主轴转速:600 r/min;背吃刀量:1 mm;进给速度:80 mm/min。为了消除正反向车削时由手动进给速度差异造成的误差,实验采用同一台数控车床,均使用相同的切削参数完成对细长轴的车削加工。

3.3 实验结果测量

- (1)测量时,将轴颈两端支承在 V 型铁上;
- (2)将轴沿着长度方向等分为 4 测量段,测量点表面必须选在没有毛刺、麻点、鼓包、凹坑的光滑轴段或机加工面;
- (3)将轴端面分成 8 等份作为测量点,起始“1”为轴上键槽等的标志点;
- (4)将百分表装在轴向长度各测量位置上,测量杆要垂直于轴表面,其中心通过轴心,将百分表小指针调整到量程中间,大指针调到“0”,将轴缓慢转动 1 周,各百分表指针应回到起始值;
- (5)逐点测量并记录各百分表读数。根据记录,计算同一断面内轴的晃动值,并取其 1/2 值为断面的弯曲值,测量结果见表 2。

通过实验测量数据对比可知,细长轴逆向车削能取得更好的加工精度,与有限元分析结果基本一致。

3.4 实验结果分析

通过实验测量数据对比可知,细长轴逆向车削能取得更好的加工精度,与有限元分析结果基本一致。

表 2 实验测量结果

	1/4 处		1/2 处		3/4 处	
	正向车削	反向车削	正向车削	反向车削	正向车削	反向车削
1	0	0	0	0	0	0
2	6	5	6	5	3	2
3	11	10	12	11	6	5
4	17	15	18	16	9	7
5	23	21	24	22	11	10
6	16	15	18	17	8	7
7	11	10	12	11	5	5
8	6	5	6	5	3	2
晃动值	0.23	0.21	0.24	0.22	0.11	0.10
弯曲值	0.115	0.105	0.120	0.110	0.055	0.050

4 结论

仿真及实验结果表明,逆向车削加工细长轴的方法能在一定程度上提高细长轴的车削加工精度。

(上接第 33 页)

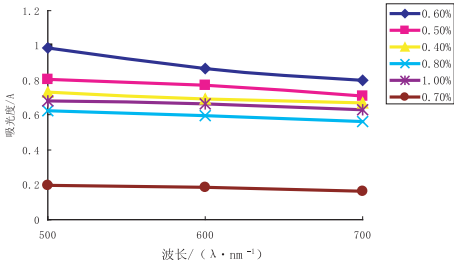


图 5 羟乙基纤维素用量对凝胶色粒透射率的影响

2.4 涂层性能测定

根据相关国家标准对制得的水性多彩涂料成品进行检测,结果如表 3 所示,成品指标满足国标对于水性多彩涂料性能的要求,可用于外墙涂装。

表 3 水性多彩涂料性能指标

检测项目	检测方法	评价标准	检测标准
容器中状态	搅拌	正常	正常
低温稳定性	GB/T9268-2008 中的 A 法	不变质	不变质
表干时间	GB/T1728-1979 中的乙法	≤4 h	2.5 h
涂膜外观	目测	正常	正常
耐碱性	48 h	无异常	无异常
耐水性	96 h	无异常	无异常
耐沾污性/级	GB/T9780-2013《建筑涂料 涂层耐沾污性试验方法》	≤2	2
涂膜亲水性	水接触角检测仪	亲水性/憎水性	亲水
涂膜附着力/级	GB/T9286-1998《色漆和清漆漆膜的划格试验》	通过/不通过	通过
涂膜硬度	GB/T6739-2006《色漆和清漆铅笔法测定漆膜硬度》	9 B-9 H	4 H

这为细长轴的逆向车削提供了理论依据,也验证了有限元法在细长轴车削分析中的可靠性。

参考文献:

[1] 吴能章. 轴类零件加工的鼓形误差预报与补偿[J]. 西华大学学报:自然科学版,2005,24(1):41-44.
[2] 李娅. 有限元网格自动剖分及优化方法[J]. 西华大学学报:自然科学版,2003,22(3):106-108.
[3] 刘洪文. 材料力学[M]. 北京:人民教育出版社,1979.
[4] 杨红义. 基于 ANSYS 的细长轴车削过程中的模态分析[J]. 辽宁工业大学学报,2008,28(4):242-245.
[5] 郭建亮. 基于切削力测量的细长轴加工误差在线补偿[J]. 机床与液压,2009,37(12):66-67.

(责任编辑:夏玉玲)

3 结论

本文通过研究水性多彩涂料制备过程中的乳液用量、保护胶种类、分散剂的用量、羟乙基纤维素用量对凝胶彩色粒渗色性的影响,分析得到最适合制备水性多彩涂料的条件为:分散相中纯丙乳液的用量控制在 25%~35%之间;选用 8%明胶作为保护胶溶液,在保护胶溶液中十二烷基磺酸钠的用量为 1.5 g;分散相中羟乙基纤维素的用量控制在 0.7%~1.0%。

参考文献:

[1] 秦明明. 水性多彩涂料的研究与制备[D]. 北京:北京化工大学,2009.
[2] 陈燕,周佳伟,刘通,等. 分散相的组成对水性多彩涂料凝胶彩粒的影响[J]. 贵州化工,2012,37(5):4-7.
[3] 官仕龙. 涂料化学与工艺学[M]. 北京:化学工业出版社,2013:43-45.
[4] 叶云飞,李萍,常学贵,等. 以 S-482 为保护胶的水性多彩涂料的制备研究[J]. 上海涂料,2015,53(3):5-9.
[5] 李广军,董立志,薛小倩. GTS 保护胶在水性多彩涂料中的应用[J]. 上海涂料,2015,53(3):17-20.

(责任编辑:李秀荣)