

影响细长轴加工精度的原因及改进措施

王占华

(中国石化北京燕化石油化工股份有限公司化工一厂, 北京, 102500)

摘要: 通过一滚筒件在加工过程中其加工精度受机床精度及切削力、切削热对机床、工件、刀具影响的分析, 总结出细长轴类零件的加工精度规律, 并提出改进措施。

关键词: 细长轴 加工精度 弹性变形 热变形 改进

机械加工精度是加工质量的重要组成部分。分析加工精度对保证加工质量、提高生产率和降低成本都有重要意义。

细长轴指长度与直径之比大于 20 的轴。细长轴类零件刚性差, 车削时由于切削力、切削热所引起的线膨胀、轴自重、工艺系统刚性等因素很容易引起轴弯曲变形、振动, 不易获得满意的加工精度。本工作以滚筒加工为例, 力求通过分析影响加工精度的各个工艺因素, 寻求精度规律, 从而控制加工精度。

1 刀具角度、切削量的选择及切削力的计算

滚筒件见图 1。可以看出: 工件较细长、壁薄, 刚性较差。下料尺寸为 $\phi 50 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ 无缝钢管。因外圆精度要求不高, 故可选 2 次粗车加工、1 次半精车加工。这里以半精车加工为例, 分析工件的加工状况。

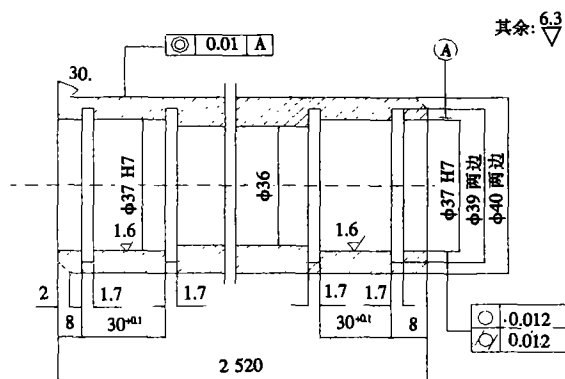


图 1 滚筒加工图

1.1 刀具角度的选择

刀具角度的选择如图 2 所示。

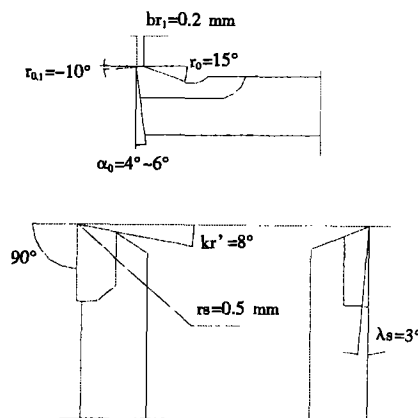


图 2 刀具角度的选择

(1)前角(γ_0):其大小直接影响切削力、切削温度和切削功率,影响刃区和刀头的强度与容热体积和导热面积及刀具的耐用度。由于工件的刚性较差,因此 γ_0 取 15° 。

(2)后角(α_0):主要功能为减小后刀面与加工表面之间的摩擦。它直接影响加工表面质量及刀具的耐用度。 α_0 选 $4^\circ \sim 6^\circ$ 。

(3)主偏角(K_r):它影响三维方向 3 个切削力

收稿日期: 2003-02-20。

修改稿收到日期: 2003-05-09。

作者简介: 王占华,工程师,本科学历。曾就职于北京建筑五金厂,参与设计了线材调直机、卷板机等。1995 年调入北京燕化公司化工一厂机修车间,在生产一线从事机加工 17 年。联系电话: 010-69343644。

的大小和比例关系。 K_r 增大可减小纵向切削力,减少震动。 K_r 选 90° ,副偏角(K'_r)选 8° 。

(4)刃倾角(λ_s):它影响切屑的流向、刀尖强度、切削的平稳性及 3 个切削力之间的比值。 λ_s 选 3° 。

(5)刀尖及副倒棱:为减小横向切削力,提高刀具耐用度,刀尖圆弧半径取 0.5 mm ,副倒棱取 0.2 mm 。

1.2 切削量的选择

由于是最后的半精车加工,所以取切削深度(a_p)为 0.5 mm ,进给量(f)为 0.3 mm/r ,切削速度(v)为 0.55 m/s 。

1.3 切削力的计算

加工细长轴类零件时,人们总是希望切削力(尤其是纵向切削力)越小越好。查出有关系数后,经计算(这里略去计算过程,只给出计算结果)得出横向切削力(F_x)为 334 N ,纵向切削力(F_y)为 161 N 。与一般车床加工比较,该切削力是比较小的,说明所选择的刀具角度和切削量基本上是比较好的。

2 机床的精度及磨损对加工细长轴的影响

2.1 主轴的回转精度

(1)径向跳动:指回转轴线绕平均轴线作平行公转运动。加工时,回转轴线相对于刀具的位置发生变化,从而使工件的半径发生变化,直接影响工件的圆度。因它主要是由主轴轴颈的磨损和轴承的精度造成的,所以需要修复主轴轴颈或更换轴承。

(2)轴向窜动:指回转轴线在轴向的位置变化。车削中,回转轴线的位置相对于刀具产生变化,影响内外圆对端面的垂直度。它主要是由于主轴后端推力轴承间隙过大或主轴滚动轴承滚道磨损太大造成的,这时需要调整主轴后端轴承间隙及更换滚动轴承。

(3)摆动:指回转轴线绕平均轴线作不平行的公转运动。车削时,回转轴线的位置在轴向和径向都相对刀具产生变化,从而影响工件的圆度和圆柱度。它也是由于主轴轴颈的磨损和轴承精度差造成的,这时需修复主轴轴颈和更换精度高的轴承。

2.2 车床导轨的几何精度

(1)导轨在垂面上的纵向平直度是指床身导轨与车床主轴在垂面上的平行度。它表现在刀具的

中心高度发生变化。如图 3 所示,当刀尖位置下降 h 时,工件在半径(R)上的尺寸会增大 ΔR 。可算出: ΔR 等于 $h^2/2R$,即 ΔR 与 h^2 成正比。

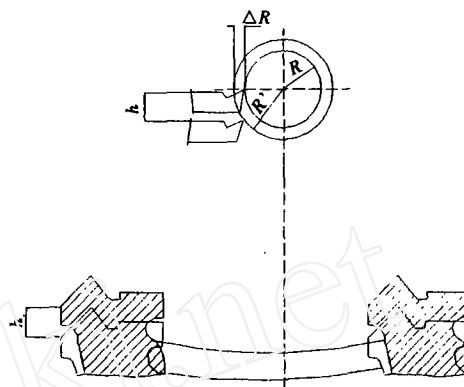


图 3 纵向平直度对加工精度的影响

在本例中 R 为 23 mm ,如果 h 为 0.2 mm ,则 ΔR 为 0.0008 mm ,因此导轨在垂面上的纵向平直度对加工精度的影响很小。

(2)导轨在垂面上的横向平直度是指床身前、后导轨不在同一水平上,从而使刀架产生倾斜。由于车床前导轨的负荷较大,因此磨损较快(如图 4 所示)。

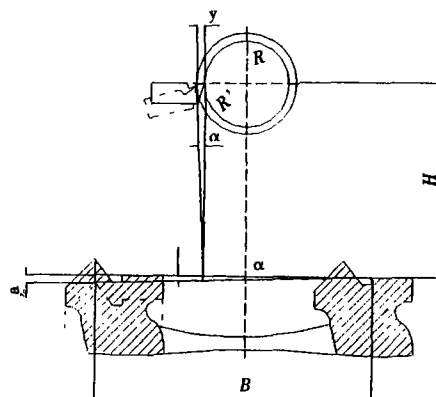


图 4 横向平直度对加工精度的影响

设床身前后导轨高度差为 a ,倾斜角为 α ,则由几何关系可得:

$$\operatorname{tg} \alpha = a/B \quad \sin \alpha = y/H$$

式中, B 为前、后导轨间的宽度, H 为中心高, y 为前、后导轨高度差使工件尺寸在半径尺寸上的变化值。

因 α 很小,可认为 $\operatorname{tg} \alpha$ 与 $\sin \alpha$ 相等,即 a/B 等于 y/H ,得 y 为 aH/B ,即 y 值与 a 值成正比。

在 CW 6163 车床上, H 为 300 mm , B 为 500

mm, 如果 a 为 0.1 mm, 则 y 为 0.05 mm。可见, 导轨在垂直面上的横向平直度对加工精度的影响较大。

(3) 导轨在水平面上的平直度是指床身导轨与主轴轴心线在水平面上的平行度。此项精度在于工件的径向, 且直接影响加工精度, 不仅影响直径尺寸, 而且影响工件的轴向截面形状。导轨在水平面上的平直度对工件半径的影响是 1:1 的线性关系^[2], 因此影响较大。

总之, 车床导轨的精度主要与制造精度有关, 同时与车床的地基、安装调整也有密切的关系。导轨的磨损是使车床丧失精度的重要原因, 尤其车床导轨的不均匀磨损对加工影响更大。因此, 要定期对车床导轨进行检测, 发现问题及时修复。

3 刀具磨损对加工精度的影响

这里, 车床的精度及磨损被忽略不计, 只考虑刀具的磨损对工件受力及受热变形的影响。为了分析工件在加工过程中的精度情况, 将工件分为 6 个测试点(如图 5), 按各点计算出工件精度。

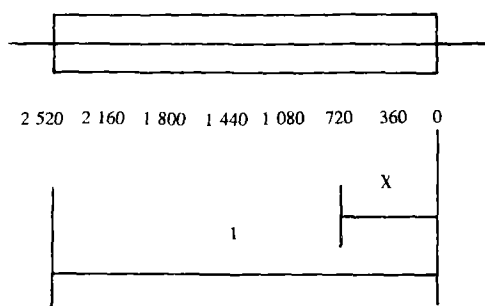


图 5 工件测试点的安排

3.1 计算刀具在各测试点的切削行程

刀具的切削行程(L)为^[2]

$$L = \pi DX / 1000f \quad (1)$$

式中, D 为工件直径(42 mm), X 为车刀走过的距离(mm)。

3.2 刀具的磨损

刀具尺寸磨损对加工精度有一定的影响, 当 L 小于起始磨损长度(L_1)时:

$$M = L \cdot u_B / L_1 \quad (2)$$

式中, M 为刀具磨损(μm), L_1 为 1 000 m, u_B 为起始磨损, 查得 u_B 为 10 μm 。

当 L 大于 L_1 且小于快速磨损阶段长度(L_2)时, 处于正常磨损阶段, 这时

$$M = u_B + (L - L_1) / 1\,000 u_0 \quad (3)$$

式中, u_0 为单位磨损, 查表取 u_0 为 8 μm , L_2 为 8 km。

计算各点 L 值分别代入式 (2), 得出磨损值 M , 刀具的磨损对精度的影响 $\Delta_{\text{刀磨}} = 2M(\mu\text{m})$ 。将计算出的 M 、 $\Delta_{\text{刀磨}}$ 值填入表 1, 可以看出刀具的磨损对工件精度的影响。

表 1 刀具尺寸磨损对加工精度的影响

X/mm	L/mm	磨损阶段	$M/\mu\text{m}$	$\Delta_{\text{刀磨}}/\mu\text{m}$
2 520	1 108	正磨	10.86	22.0
2 160	949	起始磨损	9.49	19.0
1 800	791	起始磨损	7.91	16.0
1 440	633	起始磨损	6.33	13.0
1 080	475	起始磨损	4.75	10.0
720	316	起始磨损	3.16	6.0
360	158	起始磨损	1.58	3.0
0	0	起始磨损	0	0

4 工艺系统受力变形对加工精度的影响

4.1 车床的弹性变形

车床切削有 3 个方向的切削分力: $P_x(F_x)$ 、 $P_y(F_y)$ 、 $P_z(F_z)$ 。车刀的后角使得 3 个力的作用结果互相影响, 其中 Y 向是尺寸敏感方向。在一般普通车床上加载, 当只有 P_y 力作用时, 刚度为 20 kN/mm; 当同时有 P_y 、 P_z 力作用时, 由于 P_z 力所产生的变形在 Y 向是负值, 故可以提高刚度值, 主轴箱刚度($K_{\text{主轴箱}}$)可达 50 kN/mm^[2]。再假设尾架刚度($K_{\text{尾架}}$)为 40 kN/mm, 刀架刚度($K_{\text{刀架}}$)为 30 kN/mm, 根据车床的静刚度计算公式:

$$y_{\text{车床}} = (x/L)^2 y_{\text{主轴箱}} + [(L-x)^2/L^2] y_{\text{尾架}} + y_{\text{刀架}} \quad (4)$$

式中, $y_{\text{主轴箱}}$ 为主轴箱的变形(mm), $y_{\text{尾架}}$ 为尾架的变形(mm), $y_{\text{刀架}}$ 为刀架的变形(mm), 由于 y 为 P_y/K , 代入式(4), 所以得车床在 P_y 作用下的变形为:

$$y_{\text{车床}} = P_y [(x/L)^2 / K_{\text{主轴箱}} + (L-x)^2 / K_{\text{尾架}} / L^2 + 1 / K_{\text{刀架}}] \quad (5)$$

将工件分为 7 段共 8 个点, 点距 360 mm, 按各点计算出 $y_{\text{车床}}$ 。机床的受力变形($\Delta_{\text{机床}}$)对工件直径的影响是 2 倍关系, 即 $\Delta_{\text{机床}}$ 为 2 $y_{\text{车床}}$, 由此可得出机床的受力变形对工件的影响(见表 2)。

4.2 工件纵向截面的受力变形

工件在 P_y 力作用下的变形为^[2]:

$$y_{\text{工件}} = P_y L^3 (x/L)^2 [(L-x)/L] / 3EI \quad (6)$$

式中, E 为钢件的弹性模数, 查得值为 2×10^{11} Pa; I 为圆环截面的惯性矩, 算出值为 71 604 mm⁴; 工

表 2 机床受力变形对加工精度的影响

X/mm	y _{机床} /μm	Δ _{机床} /μm
2 520	8.6	17.2
2 160	7.8	15.7
1 800	7.3	14.6
1 440	7.2	14.4
1 080	7.3	14.6
720	7.8	15.6
360	8.3	16.6
0	8.6	17.2

件受力变形(Δ_{工件})等于 2y_{工件}。由此计算出各点的工件变形见表 3。

表 3 工件受力及热变形对加工精度的影响

X/mm	Δ _{工件} /μm	Δ _总 /μm
2 520	0	-190
2 160	159.8	-162
1 800	499.5	-135
1 440	719.3	-108
1 080	719.3	-81
720	499.5	-54
360	179.8	-27
0	0	0

5 切削热对加工精度的影响

5.1 工件热变形的影响

切削时间(t_i)等于 L/nf, 其中 n 为转速(r/min), f 为进给量(mm/r)。

工件体积(V)等于 π(D²-d²)L/4, 其中 d 为工件内径。已算出 P_z 为 417 N。根据公式:

$$\Delta t = P_z v t_i K_a / (419 c \cdot \rho \cdot V) \quad (7)$$

式中, Δt 为工件温升(K), c 为工件材料的比热容[钢件 c 为 460.548 J/(kg·K)], ρ 为工件密度(钢件 ρ 为 7 890 kg/m³), v 为切削速度(m/s), K_a 为切削

传给工件的比例数(查得 K_a 为 30%), V 为工件体积(m³), 代入式(7)计算出 Δt 为 411.8 (K)。

工件在长度上的热伸长(ΔL)等于 αLΔt, 在直径上的热膨胀(ΔD_{热工})等于 αdΔt。其中, α 为工件材料的线膨胀系数(钢件 α 为 1.1×10⁻⁵),

假设工件在加工中受热均匀, 变形也均匀, 那么, 把工件分为 8 个测算点, 其变形分布如表 3 所示。可见, 工件在长度上的热伸长是相当大的, 加工时必须予以考虑。

5.2 刀具热变形的影响

这里设加工过程中刀具连续工作, 这时, 刀具的热变形为

$$\Delta_{刀热} = 2\xi_{\max} [1 - \exp(-\tau/4)] \quad (8)$$

式中, ξ_{max} 连续为刀具连续工作达到热平衡的最大伸长(m), τ 为切削 X 长度所对应的切削时间(min), 通过计算(计算过程略), ξ_{max} 连续为 20 m。将数据代入式(8), 计算出各点的刀具受热变形见表 4。

表 4 刀具受热变形对加工精度的影响

X/mm	τ/min	Δ _{刀热} /μm
2 520	33.5	-40.0
2 160	28.7	-40.0
1 800	23.9	-40.0
1 440	19.2	-39.6
1 080	14.4	-38.8
720	9.6	-36.4
360	4.8	-28.0
0	0	0

由表 4 看出, 刀具受热伸长使工件尺寸变小, 故 Δ_{刀热} 为负值。当 X 超过 1 800 mm 时, 刀具达到平衡。

6 精度分析

从表 1~4 可以看出: (1) 由于工件壁薄、细长, 刚性较差, 因此, P_y 对工件的加工精度影响最大。(2) 切削热对工件精度的影响也很大。因此, 一定要改善切削状态, 在加工中要对刀具和工件用冷却液充分冷却, 使工件尺寸的变化控制在许可范围内。(3) 刀具的磨损使工件尺寸增大, 它正好与切削热的影响相反。因此, 只要合理控制好 Δ_{刀磨} 和 Δ_{刀热}, 刀具的磨损是有益的。(4) 车床的受力变形上下波动很小, 可以通过调整刀具尺寸以减小车床受力变形对加工精度的影响。

7 改进措施

7.1 装夹方式的改进

加工轴类零件的装夹通常是一端用卡盘夹住, 另一端用顶尖。但是, 顶尖顶得太紧, 工件切削时受热伸长受阻, 将引起轴变形弯曲; 顶尖顶得较松, 则稳定性差。另外, 顶尖孔与装夹基面往往不同轴, 会形成装夹的过定位而使工件弯曲。其改善的方法: 可在三爪卡盘与工件间垫入一个钢丝圈, 使工件和卡爪成线接触, 能起到方向调节作用, 不会产生内应力; 还可采用弹性顶尖, 使工件受热伸长时不受阻^[3]。其装夹如图 6 所示。

7.2 跟刀架的改进

普通跟刀架的 2 个支撑块与工件接触面小、

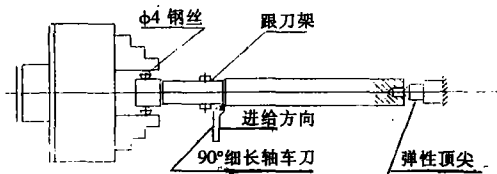


图6 装夹与进给示意图

刚性差,不能满足车削细长轴的要求。采用图7所示的跟刀架,三支撑间隔 90° ,支撑块材料为HT 200,轴向宽度为50~60 mm。每次进给完毕,支撑面圆弧进行径向调整,并对加工面进行修磨,使两者接触面积超过支撑弧总面积的90%。采用此跟刀架,工件被夹持在刀具和3个支撑块之间,上下、左右的变形均受限制,不易晃动。

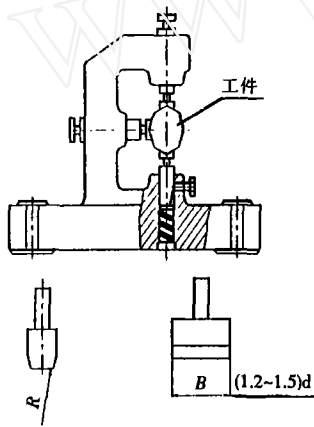


图7 跟刀架结构

为避免因工件自重下垂造成的弯曲变形,除使用跟刀架外,还应在加工的中间部分垫上可移动的木垫,木垫与工件接触部位可凿成半圆弧面,运转时加机油润滑,既可防止工件下垂,又有减震作用^[4]。

7.3 选择合理的切削方法

采取反向进给车削,可使 P_x 把细长轴拉紧,并向弹性顶尖方向压缩,以减小车削变形^[5]。

7.4 选择合理的几何角度

为减小工件的弯曲,要求 P_x 越小越好,而刀具的前角和主偏角是影响 P_x 的主要因素。在不影响刀具强度的情况下,可以把前角再放大些,如 γ_0 取 20° ,主偏角取 90° ,刃倾角取 3° 。

7.5 选择合适的切削量

为降低切削力,可以增加走刀次数,2次粗车 a_p 分别为2.5, 2.0 mm,半精车为0.5 mm。

7.6 调整车床

(1)调整尾座位置,使工件轴线与床身导轨平行。调整后平行度误差在0.03‰以内。(2)调整尾座位置,使工件轴线与尾座孔同心,以清除锥度误差。(3)加工前,调整小刀架、横刀架、溜板间隙,以防止中途扎刀。

7.7 供足冷却润滑油

以上措施主要为了改善切削力对加工精度的影响。从表3看出,切削热对加工精度的影响也是很大的。为了减小热变形的误差,应供足冷却润滑油,使冷却充足,以降低切削温度,减小误差,且有利于提高刀具耐用度。

8 结语

1)在影响细长轴加工精度的各种因素中,切削力是主要因素, P_y 使工件发生梁的弯曲, P_x 使工件受压发生柱的弯曲。为减小切削力所引起的变形,就要选好跟刀架,以增强其刚性,减小变形;还要选择合理的几何角度以减小 P_y ;改变走刀方向,把 P_x 变为对工件的拉力。

2)切削热的影响。要努力改善切削状态,充分冷却,并且使用可伸缩的弹性后顶尖。改善装夹方法,使轴能自由伸长。

3)刀具的耐用度也要充分考虑,不能使前角、后角过大,而使其耐用度下降。

参 考 文 献

- 1 周泽华.金属切削原理.上海:上海科学技术出版社,1984.60~69
- 2 王先逵.机械制造工艺学.北京:清华大学出版社,1989.226~296
- 3 机械加工技术手册编写组.机械加工技术手册.北京:北京出版社,1989.334~365
- 4 上海机械制造学校.机械制造基础.上海:上海人民教育出版社,1987.277~279
- 5 上海市金属切削技术协会.金属切削手册.上海:上海科学技术出版社,1984.103~106

(编辑:刘枫阁)

Effect of Machine Cut Precision on Slim Macroaxis and Improving Measures

Wang Zhanhua

(Chemical works No.1 of Beijing Yanshan Petrochemical Co., Ltd., SIONPEC, 102500)

Abstract

The reasons that the machine cut precision affected by machine tool and that of machine tool, work piece and cutter by cutting force and cutting heating were analyzed in the clinder machine cut process. The principal of machine precision for slim shaft work piece was summarized. A reasonable improving proposal was put forward as well.

Keywords: slim macroaxis, machine precision, elastic defomiation, heat deformation, improvement, machine cut

(上接第 10 页)

4 结论

1) 荆门分公司 2[#] 催化装置应用 MGD 技术增产柴油和增加柴汽比效果明显, 符合催化裂化适应未来发动机燃料发展的方向, 中国石油化工股份有限公司正在大力推广该项新工艺。

2) 提升管底部加工低辛烷值汽油对生产柴油和液化气有利, 转化了大量低辛烷值汽油, 降低了成本。

3) 如果装置掺渣率较高, 原料较重, 在保证 MGD 工艺效果的基础上, 可以考虑采用重油转化能力较强的催化剂品种。

参 考 文 献

- 1 崔淑新. 石油炼制与化工, 2002, 32 (2): 17~19

(编辑: 孙彤彤)

Application of MGD Technology in the FCC Unit

Wan Shenglin and Luo Yong

(Jingmen Petrochemical Co., Ltd., SINOPEC, Jingmen, 448002)

Abstract

The maximizing gas and diesel (MGD) technology applied in the No.2 fluid catalytic cracking (FCC) unit of Jinmen Petrochemical Co., Ltd., SINOPEC, was introduced. The product distribution before tranformation and after that was compared. The result of industrial application shows that the effects of MGD technology on increasing the yield of diesel and ratio between diesel and gasoline are obvious.

Keywords: technology, application, fluid catalytic cracking

欢 迎 订 阅

欢 迎 投 稿