

反馈磁场减小车削细长件鼓形误差的研究

谭云成 杨建东

(长春光机学院机械工程系)

摘要: 本文对反馈磁场减小车削细长杆时的鼓形误差进行了探讨。反馈磁场能明显的减小工件的鼓形误差, 增大反馈系统中功率放大器的放大倍数, 能提高反馈磁场的效果。并且还比较了加反馈磁场和加恒磁场时的不同效果和特性。

一、引言

在机械加工领域, 提高细长杆件的加工精度, 一直是引人注目的课题。细长杆件的径向刚度比较差, 在径向切削分力的作用下, 会产生弯曲变形, 从而带来较大的鼓形误差, 这个误差常常是影响工件精度的主要因素。因此, 人们试图以各种方式来减小这个误差, 如中心架、跟刀架、反向进刀等。但这些方法效果不甚显著, 装调麻烦, 有的还容易划伤已加工表面。因此, 采用加磁方法来减小细长件的鼓形误差^{[1]、[2]}。由于所加磁力与径向切削分力方向相反, 因此, 能减小或消除由径向切削分力所引起的鼓形误差。

以前, 有人用恒磁场来减小工件的鼓形误差。但恒磁场有其不足之处。本文探讨用反馈磁场来减小车削细长杆件时的鼓形误差。所谓反馈磁场, 就是通过传感器随时监视细长件产生的弯曲变形量, 并将一磁感应强度与这一变形量成正比的磁场加于工件之上, 使其变形减小。

二、实验装置及原理

试验装置如图1所示。将通电线圈套在刀杆上。采用灵敏度较高的电容式位移传感器, 固定在车床小溜板上, 位于工件的另一侧。在切削时, 传感器与刀具同时做纵向运动。当径向切削分力使工件产生弯曲变形时, 则工件与传感器间的间隙变小, 电容变大, 这一电容变化量经位移测量仪转变为电压信号输出。因为位移测量仪输出信号较弱, 不能直接带动线圈, 提供足够的磁场, 所以我们自己设计了一个直流功率放大器, 将这个弱信号放大后, 再驱动线圈。

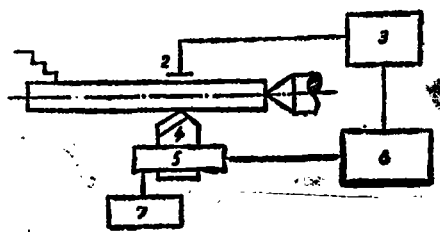


图1 实验装置示意图

1. 工件; 2. 位移传感器; 3. 位移测量仪;
4. 车刀; 5. 线圈; 6. 直流功率放大器;
7. 去磁装置

三、实验结果及分析

工件材料选为20号钢, 长390mm。刀具为机夹不重磨车刀, 材料为YT14, 前角14°, 后角6°, 刀尖圆弧半径0.4mm。

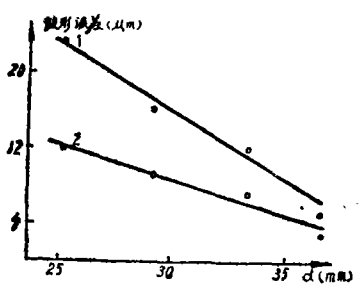


图2 加反馈磁场与不加磁时鼓形误差比较
实验条件: $n = 675 \text{rpm}$, $f = 0.2 \text{mm/rev}$, $a_p = 0.2 \text{mm}$
1. 无磁; 2. 有磁。

后角 6° , 主偏角 75° , 副偏角 15° , 刃倾角 -6° , 副后角 6° 。

首先固定其他参数, 只改变工件的直径, 进行加磁与不加磁对比实验, 测得各直径时的鼓形误差如图2所示。从图中, 可以看出, 反馈磁场能显著减小鼓形误差, 在工件较细时, 加磁效果更好。

然后, 固定其他参数, 而只分别改变走刀量和切削深度, 试验结果如图3、图4所示。从图中同样可以看到, 反馈磁场能减小鼓形误差。当切削深度、走刀量分别增大时, 磁场效果更好, 也就是说, 磁场减小鼓形误差的量, 与切削深度, 走刀量近似成线性。

在车削过程中, 径向切削分力对鼓形误差影响大, 而其他切削分力影响很小。因此, 我

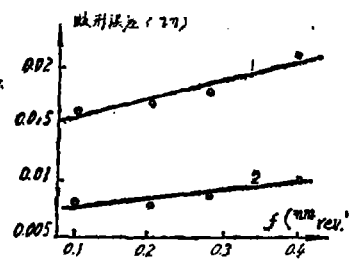


图3 走刀量对鼓形误差的影响
实验条件: $d = 30.1 \text{mm}$, $a_p = 0.2 \text{mm}$, $n = 675 \text{rpm}$

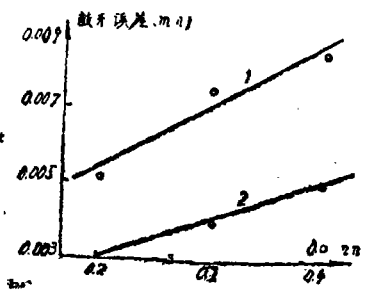


图4 切深对鼓形误差的影响
实验条件: $d = 36.7 \text{mm}$, $f = 0.2 \text{mm/rev}$, $n = 520 \text{rpm}$

们只讨论径向切削分力对工件的影响。

一般可将工件的卡盘端看做是插入端, 而尾座端看做是活动铰链支承。其受力可简化为图5所示。A端为卡盘端, B端为尾座端, P为径向切削分力, P_A 和 M_A 为卡盘作用于工件的支反力和反力矩, P_B 是尾顶尖作用于工件上的支反力。

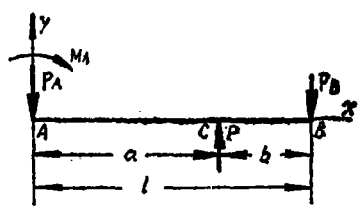


图5 工件车削受力分析

这时有:

$$y_c = \frac{P a^2 b^2}{12 E J l^3} [(2l + b)b - 3l^2] \quad (1)$$

令 $y_c = kP$

其中: $k = \frac{a^2 b^2}{12 E J l^3} [(2l + b)b - 3l^2]$

令 $k = \frac{c}{EJ} \quad (2)$

则 $c = \frac{a^2 b^2}{12 l^3} [(2l + b)b - 3l^2]$

如果工件采用两端顶尖定位, 则情况也类似, y_c 也与 P 成正比, k 与 EJ 成反比, 见附录。实验时用卡盘和顶尖定位, 所以, 计算用 k 和 c 值按上式选取。

在切削过程中, a 由 l 变为零, 所以当 a 取得某一值时, 必能使 y 达到最大值。这时的比例系数为 k_{max} , 所以最大变形 y_{max} 为

$$y_{max} = k_{max} P \quad (3)$$

由于 y_{max} 是产生鼓形误差的主要因素, 特别是, 当卡盘和尾座顶尖刚性比较大时, 鼓形误差 Δ 可近似的表示为:

$$\Delta = 2y_{max} \quad (4)$$

下面讨论加磁与不加磁时的 y_{max} 变化情况。

加反馈磁场切削时, 磁力与径向切削分力方向相反、在一定范围内又与工件弯曲变形量成线性变化关系, 磁力 P_M 为:

$$P_M = k y_e \quad (5)$$

k 是磁力与工件弯曲变形量的比例系数。

由于磁力的作用, 使得工件弯曲变形量发生变化, 加磁后的工件最大弯曲变形量 $y_{max磁}$ 为:

$$y_{max磁} = k_{max} (P - P_M) \quad (6)$$

将 (5) 式代入 (6) 式, 并整理得

$$y_{max磁} = \frac{k_{max} P}{1 + k_{max} k} \quad (7)$$

将 (3) 式代入得

$$y_{max磁} = \frac{y_{max}}{1 + k_{max} k} \quad (8)$$

因为: $k_{max} > 0$

$$k > 0$$

所以: $y_{max磁} < y_{max}$

这就是说, 加磁后产生的鼓形误差 $\Delta_{磁}$ 小于不加磁时产生的鼓形误差 Δ 。这一点从图 2、图 3 和图 4 可以清楚的看出。从图中还可以看出, 虽然反馈磁场能显著减小工件的鼓形误差, 但不能使其为零。即

$$y_{max磁} > 0 \quad (9)$$

这是因为在切削时 P 不等于零, k_{max} 是有限的。从 (7) 式看出, 只有 k 为无穷大时, $y_{max磁}$ 才能为零。但任何功率放大器的放大倍数不可能是无穷大, 因此, (9) 式成立。从 (8) 式也可看出, 随着 k 值加大, 磁场减小, 工件弯曲变形的效果更好。这就是说, 在加反馈磁场切削时, 在允许的条件下, 应尽可能提高功率放大器的放大倍数。

从 (8) 式还可看出, 对于较大的 k_{max} , 加磁效果显著。而 k_{max} 又与工件材料的弹性模量 E 、工件抗弯截面模量 J 成反比。

圆柱截面抗弯模量 J 为

$$J = \frac{\pi d^4}{64}$$

所以由 (2) 式有:

$$k_{max} = \frac{64c}{E\pi d^4} \quad (10)$$

这就是说, 对于直径比较小, 强度比较低的工件, k_{max} 值大, 加磁效果好。反馈磁场适

合于细杆件加工。为更清楚表明这一点，将 $\Delta_{磁}$ 与 Δ 之比 G 随工件直径 d 变化情况示于图6中。从图中看出，随着 d 的减小， G 也减小。这就表明加磁效果变好。此外，还做了小直径工件的加磁与不加磁实验，结果如图7所示。其 G 值可达0.346，可见效果显著。

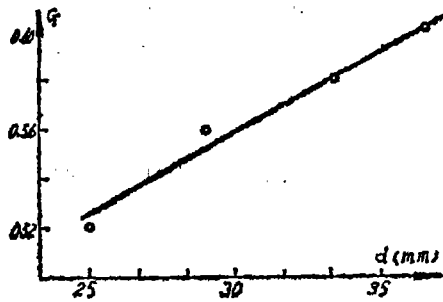


图6. G 与 d 的关系

实验条件: $n = 675 \text{rpm}$, $f = 0.2 \text{mm/rev}$
 $a_p = 0.2 \text{mm}$

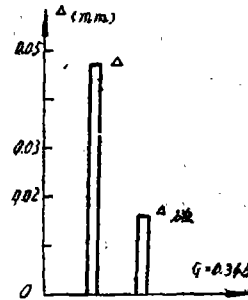


图7 小 d 时加磁效果

实验条件: $d = 17.7 \text{mm}$, $a_p = 0.1 \text{mm}$
 $f = 0.2 \text{mm/rev}$ $n = 980 \text{rpm}$

分别计算 G 随走刀量和切削深度的变化，发现 G 变化不明显。这是因为走刀量和切削深度对(8)式中的 k_{max} 和 k 没有影响。因此， y_{max} 与 y_{max} 应成线性关系。即加磁切削的鼓形误差与不加磁切削的鼓形误差成线性。正如在图3和图4中所看到的。

四、反馈磁场与恒磁场的比较

加恒磁场切削，就是在切削过程中，施加一个磁感应强度不变的磁场，这相当于加上一个与径向切削分力方向相反的恒定外力 P_{Md} ，这时工件的弯曲变形 y_{max} 为：

$$y_{max} = k_{max}(P - P_{Md}) \quad (11)$$

如果在切削过程中，切削比较平稳，使得 P 与 P_{Md} 基本不变，则选择合适的磁感应强度，磁场产生的磁力，就可以与 P 相等，

即 $P_{Md} = P$

则 $y_{max} = 0$ 。

这一优点是反馈磁场所不具备的。但是，在实际生产中，其切削条件、切削用量以及刀具几何参数等，都是千变万化的。而在每一情况下，都存在着最佳磁感应强度的磁场。要想找到这些最佳值，须做大量的实验，给出必要的实验数据，这是很困难的。在有些切削条件下，磁场的磁感应强度，不可能达到最大值，其最大磁感应强度往往仍小于最佳值。见资料^[1]。

如果加反馈磁场，其磁感应强度与工件的弯曲变形量成正比，这就不需做大量实验寻求最佳值。它虽不能彻底消除鼓形误差，但能显著减小鼓形误差，达到工程上的要求。

由(11)式得

$$y_{max} = k_{max}P - k_{max}P_{Md} \quad (12)$$

将(12)式、(3)式、(7)式分别对 P 求导得：

$$\left. \frac{dy_{max}}{dP} \right|_p = k_{max}$$

$$\left. \frac{dy_{max}}{dP} \right|_p = k_{max}$$

$$y_{max磁} \Big|_p = \frac{k_{max}}{1 + k_{max}k}$$

因为 $k_{max} > \frac{k_{max}}{1 + k_{max}k}$

所以 $y_{max磁} \Big|_p < y_{max} \Big|_p = y_{max鼓形} \Big|_p$

如果 k 和 k_{max} 较大,

则 $y_{max磁} \Big|_p \ll y_{max} \Big|_p = y_{max鼓形} \Big|_p$

这就是说,加恒磁场时工件的弯曲变形量随径向切削分力的变化比较敏感,与不加磁时一样。而加反馈磁场时,工件的弯曲变形量随径向切削分力变化比较迟钝。

在实际生产中,工件、刀具、机床都会引起切削力的变化,这势必要使工件的弯曲变形量发生变化,设力的变化量为 ΔP ,弯曲变化的变化量为 Δy ,加恒磁场切削时,弯曲变形的变化量为 $\Delta y_{鼓形}$,加反馈磁场时弯曲变形的变化量为 $\Delta y_{磁}$,那么有

$$\Delta y = k_{max} \Delta P$$

$$\Delta y_{鼓形} = k_{max} \Delta P$$

$$\Delta y_{磁} = \frac{k_{max}}{1 + k_{max}k} \Delta P$$

将 (10) 式代入上式

$$\Delta y = \frac{64c}{\pi E d^4} \Delta P$$

$$\Delta y_{鼓形} = \frac{64c}{\pi E d^4} \Delta P$$

$$\Delta y_{磁} = \frac{64c}{\pi E d^4 + 64ck} \Delta P$$

令 $E d^4 \rightarrow 0$

则 $\Delta y \rightarrow \infty$

$$\Delta y_{鼓形} \rightarrow \infty$$

$$\Delta y_{磁} \rightarrow \frac{1}{k} \Delta P$$

从这几个式子可以看出,在材料强度低、直径小的情况下,普通切削与加恒磁场的切削,其鼓形误差容易受干扰力的影响。而加反馈磁场时,其鼓形误差受干扰力的影响较小。 $E d^4$ 大时,工件刚性好,不易发生弯曲变形,鼓形误差不是影响工件精度的主要因素。 $E d^4$ 小时,工件弯曲变形大,鼓形误差大,它可能是影响工件精度的主要因素。这时,恒磁场的效果变差,所以,在这种情况下,反馈磁场与之相比,则显得好一些。因此,用反馈磁场来减小细长杆的鼓形误差更为合适。

反馈磁场对工件的引力与工件的弯曲变形量成正比,这相当于在工件后面加上一个支承弹簧。普通跟刀架对工件的反力也是与工件弯曲变形量成正比,它们在受力性质上是一样的,目的又相同,所以,可以将反馈磁场称之为磁力跟刀架。由于反馈磁场是非接触式的跟刀架它能克服接触式跟刀架的一些缺点。

五、结 论

通过实验结果和理论分析, 可以得出以下结论:

1. 反馈磁场在车削细长杆件时, 能显著的减小工件的鼓形误差。它是一个值得进一步研究和完善的减小鼓形误差的新方法。

2. 反馈系统中功率放大器的放大倍数对反馈磁场的效果有直接的影响。放大倍数愈高, 效果愈好。所以, 应尽可能提高功率放大器的放大倍数。

3. 反馈磁场能减小外界干扰力所引起的工件附加变形。对减小较细工件的鼓形误差效果更为显著。因此, 更适合加工较细工件。但反馈磁场不能彻底消除工件的鼓形误差。

附 录

工件采用两顶尖支承时, 相当于一端是固定铰链, 另一端是活动铰链。如图 8 所示。弯矩时的 y_c 为:

$$y_c = \frac{abP}{6EJl} (l^2 - a^2 - b^2)$$

同样令 $y_c = k_1 P$

$$\text{则 } k_1 = \frac{ab}{6EJl} (l^2 - a^2 - b^2)$$

$$\text{令 } k_1 = \frac{c_1}{EJ}$$

$$\text{则 } c_1 = \frac{ab}{6l} (l^2 - a^2 - b^2)$$

即: y_c 与 P 成正比, k 与 EJ 成反比。

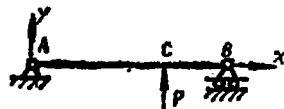


图 8 两顶尖支承受力分析

参 考 文 献

[1] 谭云成, 光学精密机械学报, 1987. (1)

[2] 杨建东, 光学精密机械学报, 1983. (4)

Effect of Feed-back Magnetic Field on Barrel Error of Slender Rod in Turning

Tan Yuncheng Yang Jiandong

Abstract

The influence of feed-back magnetic field on barrel error of slender rods in turning is reported in this paper. It is discovered that the feed-back magnetic field can reduce barrel error of slender rods obviously. It increases the amplification of the amplidyne in the feed-back system and the feed-back magnetic field is suitable for thin rods turning. The effect and characteristic of feed-back and stationary magnetic field are properly compared.