

回转形薄壁零件砂带磨削的参数选择及精度控制^{*}

戴 一帆

(国防科技大学机械电子工程与仪器系 长沙 410073)

摘 要 通过实验分析了带轮磨削过程中切削力和切削深度之间的关系, 从提高切削效率和强度出发, 选择优化切削参数, 建立了切削参数数学模型; 提出了控制回转形薄壁零件磨削精度的加工方法。

关键词 薄壁零件, 砂带磨削, 切削参数, 加工精度

分类号 TH161.5

The Parameter Selecting and Precision Controlling for the Belt Grinding of Rotary thin- Wall Parts

Dai Yifan

(Department of Mechatronics Engineering and Instrumentation, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract This paper analyses the relation between the cutting force and cutting depth in the course of belt grinding, builds the mathematics model of optimum cutting parameter to improve efficiency and intensity, and proposes the processing method for controlling grinding precision of rotary thin- wall parts.

Key words thin- wall parts, belt grinding, cutting parameter, processing precision

磨削薄壁零件时, 由于零件和工艺系统的弹性变形等原因, 实际切削深度和名义切深之间有较大差别, 加工精度难以保证。影响切削深度的根本因素是切削力, 选择优化的磨削参数, 并在此基础上建立反映磨削力和磨削深度关系的数学模型及实际零件的几何模型, 是保证磨削加工质量的关键。利用所建立的数学模型并选择优化加工参数, 根据毛坯切削余量的分布, 本文提出了制定合理的刀具加工轨迹的方法, 在实际加工中通过控制磨削力, 补偿刀具加工轨迹, 从而达到保证加工精度的目的。

1 切削参数的选择及数学模型的建立

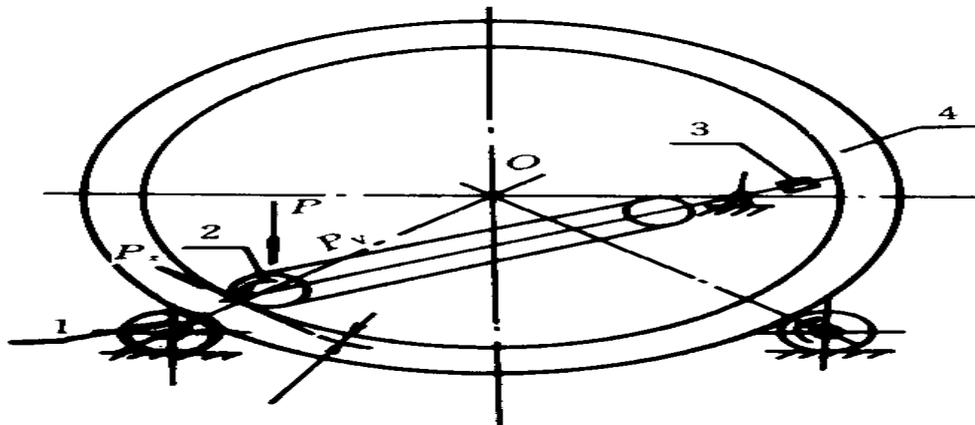
^{*} 校青年基金资助项目
1996 年 6 月 12 日收稿

在磨削过程中，由于薄壁零件的受力变形及机床的弹性变形等因素的影响，实际切削深度和名义值之间往往有较大差别。

如图 1 所示，用接触轮式砂带磨加工回转形薄壁零件，当磨轮以外力 P 压向被加工表面时，产生的径向分力是决定切削深度的基本过程参数。由 [1] 可知，在图 1 所示的条件下，金属实际切削效率 W_s 等于磨料刀具可能的切削效率 W_k 。金属实际切削效率 W_s 由下式表示：

$$W_s = tBv_g \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (1)$$

式中 t 表示一次走刀过程中切除金属的实际厚度(m)， B 表示一次走刀过程中实际磨削宽度(m)， v_g 表示工件速度(m/s)。带轮磨削的可能切削效率 W_k 用 [2] 中的实验方法确定。



1- 接触轮；2- 砂轮；3- 配重；4- 工件

图 1 砂带磨削薄壁零件示意图

图 2 所示为单位面积上切除的金属量和径向切削压强的关系曲线。被加工材料为 Cr18Ni9Ti，砂带型号分别为 40，32，25。应该指出，图 2 反映出当切削压强 P_{yg} 在区间 $49 \times 10^3 \sim 245 \times 10^3 \text{N/m}^2$ 上增长时， P_{yg} 和单位面积上金属切除量近似成正比关系。当 P_{yg} 继续增大，即 $P_{yg} \geq 245 \times 10^3 \text{N/m}^2$ ，且磨削速度大于 $25 \sim 30 \text{m/s}$ 时，金属去除量的增长速度下降，从而切削效率降低。分析各种切削速度下所获得的结果可以看到，当切削压强 P_{yg} 小于 $245 \times 10^3 \text{N/m}^2$ ，切削速度在 $15 \sim 35 \text{m/s}$ 内变化时，实际切削效率呈线性变化。从提高切削效率和强度的观点来看，对本文中给定的材料，优化的切削参数应为

$$P_{yg} \leq 245 \times 10^3 \text{N/m}^2; \quad v = 15 \sim 35 \text{m/s}$$

由实验数据求 $W_k = f(P_{yg})$ ，得如下经验公式

$$W_k = b_k P_{yg}^n$$

其中 P_{yg} 的取值区间为 $49 \times 10^3 \sim 245 \times 10^3 \text{N/m}^2$ ，切削速度取 $15 \sim 35 \text{m/s}$ ，对于不同型号的砂带，衰减系数 b_k 值和阶数 n 列于表 1

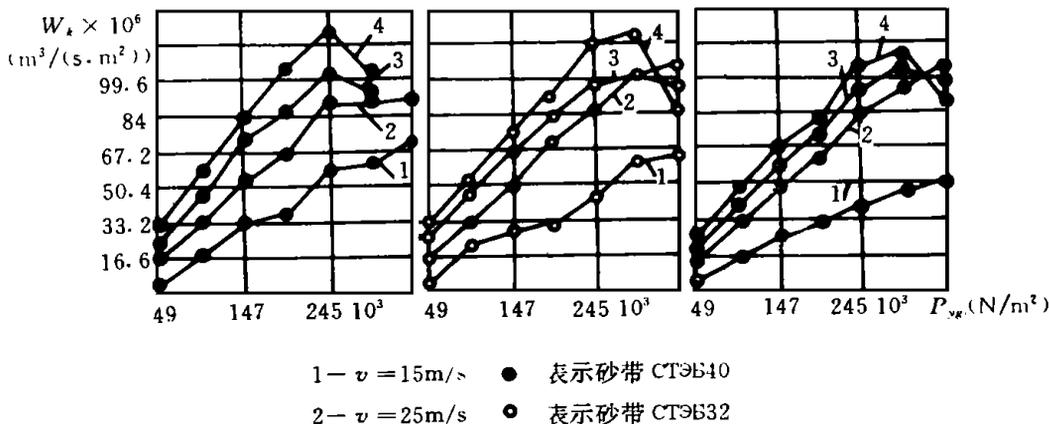


图 2 金属切除量和径向切削压力的关系

表 1

| 砂带型号 | 40 | | | | 32 | | | | 25 | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| v_i (m/s) | 15 | 25 | 30 | 35 | 15 | 25 | 30 | 35 | 15 | 25 | 30 | 35 |
| n | 1.15 | 1.05 | 0.94 | 0.9 | 0.95 | 1.01 | 0.95 | 0.9 | 0.93 | 0.97 | 0.92 | 0.9 |
| $b_i \times 10^{13}$ | 2295 | 3570 | 4541 | 5548 | 2040 | 3570 | 4539 | 4820 | 1785 | 3315 | 4029 | 4522 |
| $k_i = \frac{b_i}{v_i} 10^{13}$ | 153 | 143 | 155 | 159 | 136 | 143 | 151 | 138 | 119 | 133 | 134 | 129 |
| $k_{ep} \times 10^{13}$ | 152 | | | | 141 | | | | 128 | | | |

由表中的数值可见, n 对于不同型号的砂带都近似于 1, 系数 b_i 和相应的切削速度的比值(设为 k_i) 对不同的金属 - 砂带, 其变化幅度相对平均值 k_{ep} 来说不超过 9%。因而在—阶近似时可以将 k_i 看成不取决于切削速度和径向压力的常数。当 P_{yg} 和 v 在优化区间内选值时, 带轮磨削可能的磨削效率 W_k 用下式表示:

$$W_k = k P_{yg} v F_k \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2)$$

式中 F_k 表示切削刀具和工件的接触面积。

取 $P_{yg} = \frac{P_y}{F_k}$, 则 $W_k = k P_y v \quad (\text{m}^3/\text{s})$

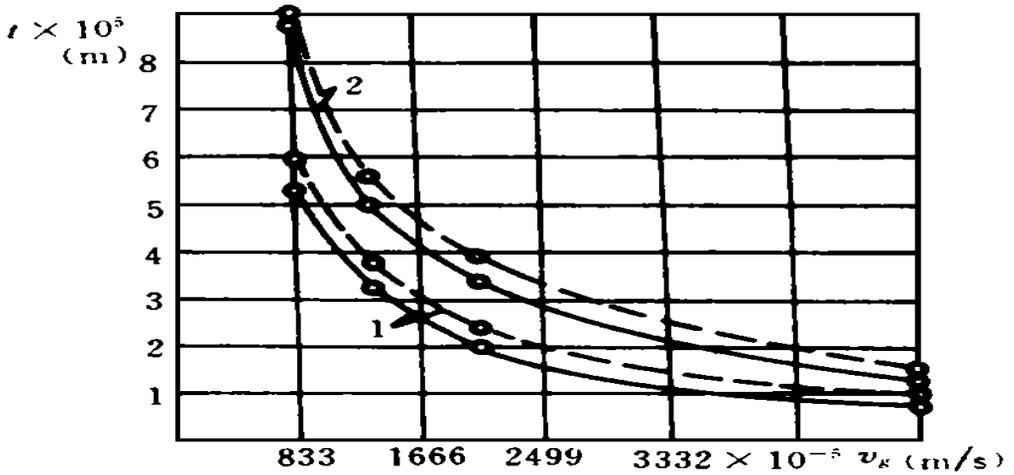
又因 $W_k = W_s$

$$t B v_g = k P_y v$$

所以

$$t = \frac{k P_y v}{B v_g} \quad (\text{m}) \quad (3)$$

通过实验对公式 (3) 进行验证, 从图 3 给出的结果看, 实验值和理论值十分逼近。



虚线表示计算值，实线表示实验值，用砂带 32 磨削

$$v = 25\text{m/s}, B = 42 \times 10^3$$

$$1 - P_y = 58.5\text{N}, 2 - P_y = 88.2\text{N}$$

图 3 实验值和理论值比较

2 零件几何模型的建立

毛坯几何形状数学模型的建立是确定加工余量场分布和刀具加工轨迹的基础，根据回转形薄壁零件的几何特征，我们选用了三次 B 样条算法，利用测量所得的离散点插值获得毛坯立体几何形状的数学模型。

三次 B 样条的基函数表示如下：

$$\begin{aligned}
 & [N_{0,4}(u), N_{1,4}(u), N_{2,4}(u), N_{3,4}(u)] \\
 & = [1, u, u^2, u^3] \frac{1}{3!} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 1 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ 1 & 3 & -3 & 1 \end{bmatrix} \quad (4) \\
 & = [1, u, u^2, u^3] M_b
 \end{aligned}$$

B 样条曲面表示如下：

$$r(u, w) = [1, u, u^2, u^3] M_b V M_b^t [1 \quad w \quad w^2 \quad w^3]^t \quad (5)$$

式中 V 表示控制顶点， u, w 表示表面上的坐标参量。

研究指出，测量时在没有拐点的曲线段上，采 6 ~ 8 个点就足够了；在有拐点的曲线段上，拐点间测量 6 ~ 8 个点也足够。

利用上述数学模型，在加工各环节采样毛坯表面的离散点，计算机可迅速建立起数学模型。该模型不仅能给出毛坯本身的形状误差，而且能分析由于装夹所带来的变形，这为提高薄壁零件加工精度打下了基础。

3 保障加工精度的方法

保证零件加工精度的方法中应包含两个工序：¹ 毛坯装夹到夹具上后的识别工序；
 ④ 加工精度控制工序。在工序¹ 中测量并用 B 样条算法建立毛坯的几何数学模型，利用 [3] 中提出的回转形零件中心轴重合误差分析法，分析毛坯的几何误差及变形，得出加工余量分布，为制定加工刀具轨迹提供信息。如加工飞机发动机尾喷时，为保证其母线的准确形状，结合加工余量沿母线的分布和切削参数的优化区间，制定加工时刀具的轨迹。在加工精度控制工序中，通过控制加工状态参数（主要是切削力）的变化，在加工参数的优化区间内，根据公式（3）提供的切削力和切削深度的解析关系（在优化切削参数区间内它们呈线性关系）补偿加工时刀具的轨迹，保证按工序¹ 中选定的切削深度加工，从而保证加工精度。这里一次走刀过程中切削深度 t 是位置坐标 (x, y) 的函数，相应 P_y 表示如下：

$$P_y(x, y) = \frac{Bv_g}{kv} t(x, y) \quad (6)$$

4 结论

以上讨论了用接触式砂带磨削的方法加工回转形薄壁零件时，优化切削参数的选择及切削力和切削深度关系的数学模型，提供了建立零件几何模型及其精度分析的算法，提供了控制磨削加工切削深度的方法。这项技术可用于优化薄壁零件磨削加工工序，提高磨削效率和加工精度。

参 考 文 献

- 1 ШОАнци, П.И. Математическое моделирование и оптимизация параметров шлифобработки. // В сб. "Математическое моделирование и оптимизация параметров шлифобработки". М.: Машиностроение, 1982. С. 140.
- 2 ШОАнци, П.И. Математическое моделирование и оптимизация параметров шлифобработки. // В сб. "Математическое моделирование и оптимизация параметров шлифобработки". М.: Машиностроение, 1981. С. 120.
- 3 ШОАнци, П.И. Математическое моделирование и оптимизация параметров шлифобработки. // В сб. "Математическое моделирование и оптимизация параметров шлифобработки". М.: Машиностроение, 1995.

(责任编辑 卢天贶)