

砂帶研磨探討

2020/5/25

砂帶研磨示意圖

T_{cont} : 工件表面上某定點實際在研磨過程中與砂帶的接觸時間

v_{ROB} : 研磨點位的手臂移速

v_{SB} : 砂帶研磨速度

l : 接觸長度 ($l = v_{ROB} \cdot T_{cont}$)

w : 接觸寬度

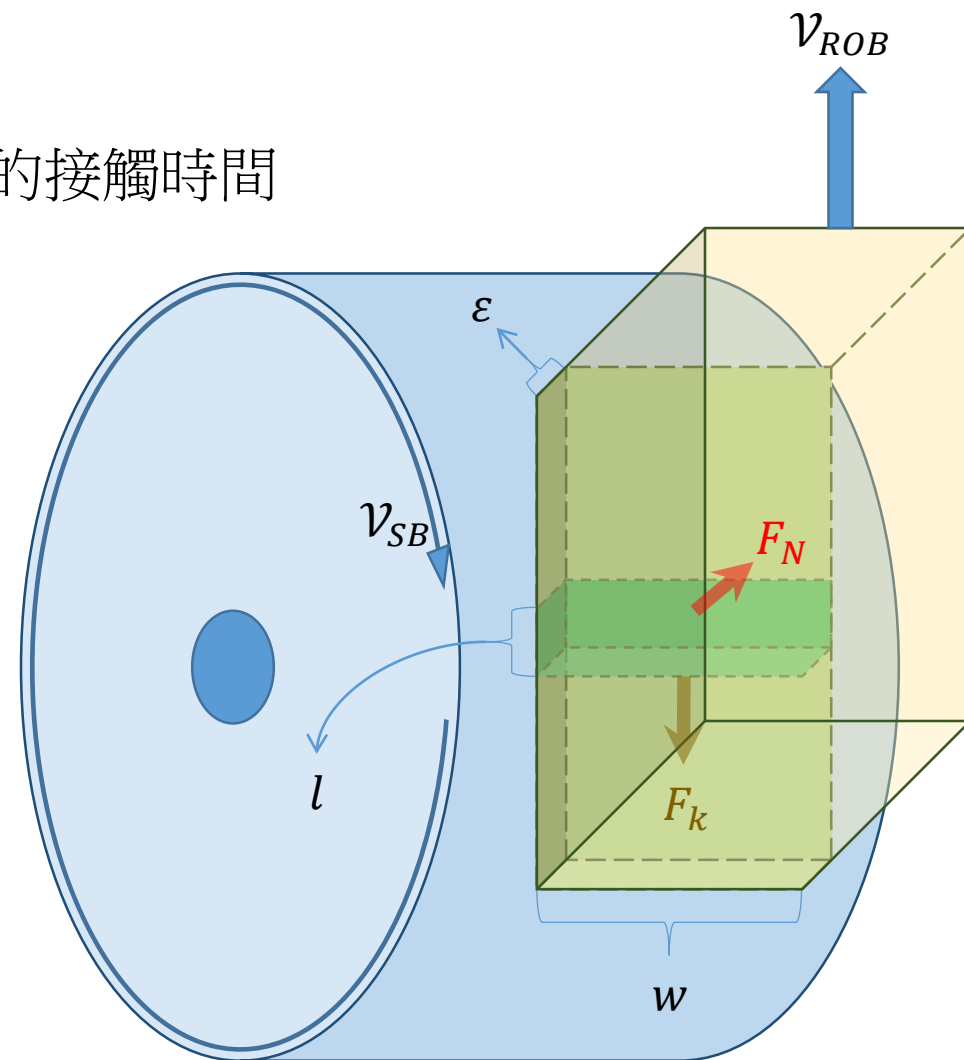
ε : 研磨深度

V : 研磨體積 ($V = l \cdot w \cdot \varepsilon$)

F_N : 相接觸所產生的正向力

F_k : 動摩擦力 ($F_k = \mu_k \cdot F_N$, μ_k : 動摩擦係數)

P : 壓力 ($P = \frac{F_N}{l \cdot w}$)



砂帶研磨特性

- 原理：

當工件與砂帶接觸的部位發生相對滑動運動(sliding motion)時，會產生動摩擦力，即研磨切線方向之力；運轉中的砂帶會對工件表面造成明顯的可觀測研磨量，並且隨著研磨速度提高而增加，但研磨能力會隨著砂帶磨耗而逐漸下降

- 壓力與研磨深度正相關：

壓力增加，表示單位接觸面積所受的正向力增加，動摩擦力也就跟著增加，進而使該單位面積的研磨量在單位時間內變化增加，反之亦然；而單位面積的研磨量即為研磨深度，與壓力正相關

研磨量的時變率 C

觀察砂帶的研磨特性，研磨量的時變率 C 滿足以下關係：

$$\begin{cases} C \propto F_k = \mu_k \cdot F_N \\ C \propto \mathcal{V}_{rel} \end{cases}, \begin{cases} \mathcal{V}_{rel} = \mathcal{V}_{SB} + \mathcal{V}_{ROB}, \text{逆刀} \\ \mathcal{V}_{rel} = |\mathcal{V}_{SB} - \mathcal{V}_{ROB}|, \text{順刀} \end{cases}$$

$$\rightarrow \text{定義：} C = \lambda \cdot F_N \cdot \mathcal{V}_{rel} = \begin{cases} \lambda \cdot F_N \cdot (\mathcal{V}_{SB} + \mathcal{V}_{ROB}), \text{逆刀} \\ \lambda \cdot F_N \cdot |\mathcal{V}_{SB} - \mathcal{V}_{ROB}|, \text{順刀} \end{cases}$$

(研磨能力係數 $\lambda \propto \mu_k$)

研磨量的時變率 C

- 研磨能力係數 λ ：

因次分析可得 $[\lambda] = \frac{L^3}{T} \cdot [F]^{-1} \cdot [\mathcal{V}]^{-1}$ ， λ 可理解為研磨量的時變率因子，會將單位正向力與單位相對速度轉換成研磨量的時變率，與砂帶的品質、粗細番數、長寬尺寸、磨耗程度與鋁屑黏附量相關

- 正向力 F_N ：

當工件壓向砂帶的進刀量(Δx)超過砂帶機浮動力開始作用的閾值時， $F_N =$ 浮動力，低於閾值則可簡單比作包膠輪在彈性範圍內的彈力 $F_N = -k \cdot \Delta x$

- 相對速度 \mathcal{V}_{rel} ：

砂帶研磨速度與機械手臂移速之間的相對速度，順逆刀研磨要分開討論

推導研磨深度 ε

工件與砂帶接觸部位的研磨量 = 減少的體積

$$\rightarrow \int_0^{T_{cont}} C \, dt = V \quad (C \text{ 在接觸時間短的情況下可視為定值})$$

$$\rightarrow \int_0^{T_{cont}} \lambda \cdot F_N \cdot \mathcal{V}_{rel} \, dt = l \cdot w \cdot \varepsilon$$

$$\rightarrow \lambda \cdot F_N \cdot \mathcal{V}_{rel} \cdot T_{cont} = l \cdot w \cdot \varepsilon$$

$$\rightarrow \varepsilon = \frac{\lambda \cdot F_N \cdot \mathcal{V}_{rel}}{l \cdot w} \cdot T_{cont}$$

推導研磨深度 ε

根據 $l = v_{ROB} \cdot T_{cont}$

$$\rightarrow \varepsilon = \frac{\lambda \cdot F_N \cdot v_{rel}}{\cancel{l} \cdot w} \cdot \left(\frac{\cancel{l}}{v_{ROB}} \right)$$

$$\rightarrow \varepsilon = \frac{\lambda \cdot F_N}{w} \cdot \left(\frac{v_{rel}}{v_{ROB}} \right) = \begin{cases} \frac{\lambda \cdot F_N}{w} \cdot \left(\frac{v_{SB}}{v_{ROB}} + 1 \right), & \text{逆刀} \\ \frac{\lambda \cdot F_N}{w} \cdot \left| \frac{v_{SB}}{v_{ROB}} - 1 \right|, & \text{順刀} \end{cases}$$

※ $v_{SB} = r_{DW} \cdot \omega_{DW}$ (主動輪半徑 × 主動輪轉速)

髮絲紋控制變數

1. 控制 \mathcal{V}_{SB} ：主動輪轉速 ω_{DW}
2. 控制 T_{cont} ：研磨點位的手臂移速 \mathcal{V}_{ROB}
3. 控制 F_N ：工件壓向砂帶的進刀量 Δx
4. 研磨路徑的迴圈次數
5. 研磨方向 (順刀或逆刀)



控制髮絲紋質感

1. 過磨會失去光澤感、易霧化
 - 接觸時間要短，所以手臂移速要快
2. 接觸時間短，需提高單位時間研磨量讓表面產生均勻髮絲紋
 - 轉速提高、重複研磨或增加進刀量，但不可過磨
3. 順刀研磨會產生短絲紋，且鋁屑會殘留工件表面
 - 需逆刀研磨且進刀量不可過大
4. 工件承靠物太硬會對進刀量敏感。進刀量偏高會產生顫紋(波紋)，且單位時間磨耗量會增加太多，縮短砂帶使用壽命；偏低則研磨不平均，研磨穩定性也不夠
 - 工件承靠物須兼具彈性與韌性，壓縮後產生的彈力作為承靠力可達到緩衝避震的效果
5. 表面如有鋁屑，研磨時易產生特殊紋路
 - 提升排屑效果：轉速提高或更換排屑效果好的砂帶
 - 減少鋁屑產生：減少接觸時間與避免進刀量太大



控制髮絲紋質感

6. 影響髮絲紋深淺的因素：新舊砂帶、砂帶的粗細番數

7. 根據逆刀研磨的式子 $\varepsilon = \frac{\lambda \cdot F_N}{w} \cdot \left(\frac{v_{SB}}{v_{ROB}} + 1 \right)$, $v_{SB} = r_{DW} \cdot \omega_{DW}$

➤ 隨著砂帶持續磨耗，當 λ 衰減至影響髮絲紋深淺時，可藉由降低研磨點位的手臂移速($v_{ROB} \downarrow$)、提高主動輪轉速($\omega_{DW} \uparrow$)、增加正向力($F_N \uparrow$)或更換新砂帶($\lambda \uparrow$)來維持研磨品質。另外 $\varepsilon \propto \frac{1}{w}$ 可解釋為何在相同砂帶機浮動力的作用下，Logo面拉絲的深度會淺於圓孔面與方孔面。

砂帶使用成本

目前雖已能藉由調整一些控制變數來讓手臂磨出接近人工拉絲的質感，但缺乏有效的控制系統以確保輸出品質的穩定性，這會產生一個問題：「隨著砂帶持續磨耗，同一套變數磨出來的效果會每況愈下，導致頻頻更換砂帶，使用成本偏高。」為降低成本，要讓同一條砂帶磨出盡可能多的外觀符合要求的工件才行。



目前解法

減少控制變數，傾向固定正向力與主動輪轉速，僅單一調整手臂移速來改變研磨接觸時間。新砂帶是研磨能力最好的時候，接觸時間短，可減少多餘的磨耗；當磨耗程度隨著時間增加，研磨能力逐漸衰弱，接觸時間則要跟著增加，以確保研磨品質。

所以可以合理假設，磨耗程度與時線性遞增。而為了控制接觸時間也線性遞增，須調整手臂移速線性遞減，直至研磨外觀無法接受(髮絲紋過淺)為止，再更換新的砂帶。

程式功能需求

1. 砂帶研磨計數器
2. 機械手臂移速隨研磨計數遞減
3. 計數器達目標值時：
 - 1) 警報響起並通知更換砂帶
 - 2) 計數器要自動歸零

調整機械手臂移速

$$v_{ROB}(n) = v_{ROB}(0) \cdot \left[1 - \left(\frac{n}{N} \right) \cdot \left(1 - \frac{v_{ROB}(N)}{v_{ROB}(0)} \right) \right]$$

N ：砂帶的平均研磨總數(建議量產後逐條統計取平均)

n ：砂帶當前的研磨個數(計數達 N 時需歸零)

$v_{ROB}(N)$ ：能使外觀符合要求又不過磨的手臂最低移速(舊砂帶)

$v_{ROB}(0)$ ：能使外觀符合要求又不過磨的手臂最高移速(新砂帶)

調整機械手臂移速(2020/5/18 MP測試)

$$v_{ROB}(n) = v_{ROB}(0) \cdot \left[1 - \left(\frac{n}{N} \right) \cdot \left(1 - \frac{v_{ROB}(N)}{v_{ROB}(0)} \right) \right]$$

N : 設定**1000 pcs**

n : 不管是正常製程或重工製程均計數

```
VAR num v_max_A:=600;  
VAR num v_min_A:=500;  
VAR num v_max_B2:=600;  
VAR num v_min_B2:=500;  
VAR num v_max_B_c:=500;  
VAR num v_min_B_c:=200;  
VAR num v_max_B_s:=500;  
VAR num v_min_B_s:=200;
```