

十二回連載 ワンポイントレッシン 第八回

現場で使える

研磨加工の理論と計算手法



宇根憲暢(元 防衛大学校), 河西敏雄((株)河西研磨技術特別研究室)

前回に引き続いて修正輪形研磨機に関して、圧力解析の方法について述べる。

1. 修正輪形研磨機の圧力解析

工具と工作物、あるいは工具と修正輪間に生じる圧力分布は、工作物、修正輪への荷重、工具、工作物、修正輪の表面形状、および工作物、修正輪によって変形させられる工具の弾性変形特性によって決定される。ここでは、次の仮定のもとで理論式を導いてみる。

- ①工作物、修正輪は工具と完全密着している。
- ②工作物、修正輪は荷重によって変形しない剛体であり、工具は工作物、修正輪の加工面形状に従って変形する弾性体とする。
- ③圧力の大きさは、工具の弾性変形量に比例する。
- ④工作物、修正輪には自重の他に外力は働かない。

図8.1に示すように、二点鎖線で示すポリシングパッドを貼った凸状工具に対して、凸状工作物、凸状修正輪は、それらの間の形状に依存してそれぞれ  $\theta_{w0}$ 、 $\theta_{c0}$  だけ傾き、自重によりパッドを変形させ、工具中に実線で示す位置まで沈み込んで加工される場合について考える。一般に、加工によって工作物、修正輪、および工具の表面形状は中心対称になるものが多く、ポリシング前の初期形状を半径のみの関数で表しても、実用上問題は生じない。したがって、ここでは、二点鎖線で示す工具、工作物、修正輪の初期形状を半径の関数として  $S_T(R_T)$ 、 $S_W(R_W)$ 、 $S_C(R_C)$  で表すと、工作物座標上の点  $P_W(R_W, \theta_W)$  における工作物と工具間のすきま  $C_W(R_W, \theta_W)$ 、および修正輪座標上の  $P_C(R_C, \theta_C)$  における修正輪と工具間のすきま  $C_C(R_C, \theta_C)$  は、それぞれ式(8.1)、(8.2)で表すことができる。

$$C_W(R_W, \theta_W) = S_W(R_W) - S_T(R_T) \quad (8.1)$$

$$C_C(R_C, \theta_C) = S_C(R_C) - S_T(R_T) \quad (8.2)$$

次に、工具と工作物の形状、もしくは工具からはみ

出すことによって生じる偏心荷重に依存して波線で示すように工作物が  $\theta_{w0}$  だけ傾斜した状態を考える。このさいの最小すきま点  $P_{W0}$  の座標を  $(R_{W1}, \theta_{W1})$ 、最小すきま量を  $C_{W0}$ 、工具の弾性変位量を  $\delta_{w0}$  とすると、点  $P_W$  における圧力  $p_W$  は、③の仮定の下では、工具の弾性変形量  $\delta_w$  と工具の相対弾性定数  $E$  を乗じたもので表され、

$$p_W(R_W, \theta_W) = \delta_w \cdot E \\ = [(\delta_{w0} + C_{W0}) - \{C_W(R_W, \theta_W) - R_W \cos \theta_W \cdot \tan \theta_{w0}\}] E$$

で表せる。ここで、 $C_{W0} = C_W(R_{W1}, \theta_{W1}) - R_{W1} \cos \theta_{W1} \cdot \tan \theta_{w0}$  であるから、

$$p_W(R_W, \theta_W) = \{ \delta_{w0} - C_W(R_W, \theta_W) + C_W(R_{W1}, \theta_{W1}) \\ - (R_{W1} \cos \theta_{W1} - R_W \cos \theta_W) \tan \theta_{w0} \} E \quad (8.3)$$

となる。式(8.3)から圧力を求めるためには、未知数である最小すきま点の最大変位量である  $\delta_{w0}$  と、工具の傾斜  $\theta_{w0}$  を求めなければならない。

工作物の自重を  $F_W$  とすると、合力の釣り合いから式(8.4)が成立する。

$$F_W = 2 \int_0^{R_{W0}} \int_0^\pi p_W(R_W, \theta_W) R_W d\theta dR_W \quad (8.4)$$

次に、モーメントの釣り合いを考えると式(8.5)が成立する。

$$2 \int_0^{R_{W0}} \int_0^\pi R_W \cos \theta_W \cdot p_W(R_W, \theta_W) d\theta dR_W = 0 \quad (8.5)$$

さらに式(8.4)、(8.5)に式(8.3)を代入して整理すると、

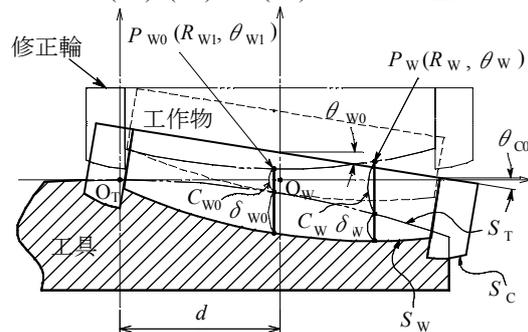


図8.1 ポリシングパッドを貼った工具の変形と圧力

$$\delta_{w0} = \frac{1}{\pi R_{w0}^2} \left\{ \frac{F_w}{E} + 2 \int_0^{R_{w0}} \int_0^\pi C_w(R_w, \theta_w) R_w d\theta_w dR_w \right. \\ \left. - C_w(R_{w1}, \theta_{w1}) + R_{w1} \cos \theta_{w1} \cdot \tan \theta_{w0} \right\} \quad (8.6)$$

$$\tan \theta_{w0} = \frac{8}{\pi R_{w0}^4} \left\{ \int_0^{R_{w0}} \int_0^\pi C_w(R_w, \theta_w) R_w \cdot \cos \theta_w d\theta_w dR_w \right\} \quad (8.7)$$

が成立する。未知数であった傾斜  $\theta_{w0}$  と最大変位量  $\delta_{w0}$  は 2 重積分を数値積分に置き換えて算出できるので、各座標点における圧力  $p_w$  を算出することが可能になる。任意の工作物半径  $R_w$  の円上における工作物と工具間の平均圧力  $p_w$  は、平均相対速度の計算の場合と同様に、その円上の圧力を積分し単位角度当たりの平均圧力として求めることができる。同様にして任意の修正輪半径  $R_c$  の円弧状における修正輪と工具間の平均圧力  $p_c$  を求められるが、ここでは省略する。

### 2. 工具摩耗量と加工量の計算

微小加工時間  $\Delta t$  における工具摩耗量  $W_T$  と工作物加工量  $W_w$  を求める。Preston や河西の式によれば、摩耗量、加工量は相対速度、圧力と時間の積に比例する。従って、これらが実際に接触している時間を考慮すると以下の式で表すことができる。

$$W_T(R_T) = \left[ \frac{(\eta_{TW} \cdot \bar{V}_{TW} \cdot \bar{p}_{TW}) \theta_{T0}}{\pi} + \frac{(\eta_{TC} \cdot \bar{V}_{TC} \cdot \bar{p}_{TC}) (\theta_{T0} - \theta_{C1})}{\pi} \right] \Delta t \quad (8.8)$$

$$W_w(R_w) = (\eta_w \cdot \bar{U}_w \cdot \bar{p}_w) \Delta t = (\eta_w \cdot \bar{V}_w \cdot \bar{p}_w) \Delta t \quad (8.9)$$

$$W_c(R_c) = \eta_c \cdot \bar{U}_c \cdot \bar{p}_c \cdot \Delta t = \frac{(\eta_c \cdot \bar{V}_c \cdot \bar{p}_c) (\theta_{c2} - \theta_{c1})}{\pi} \Delta t \quad (8.10)$$

ここで、 $\eta_{TW}$  は工作物による、 $\eta_{TC}$  は修正輪による工具の比摩耗量・圧力比、 $\eta_w$ 、 $\eta_c$  は工作物、修正輪の比加工量・圧力比で、単位はいずれも  $(\mu\text{m}/\text{km})/(\text{kPa})$  である。微小加工時間  $\Delta t$  毎にこれらの値を次々に計算することによって、工作物と工具に生じる形状生成過程をシミュレートできる。

### 3. 加工による形状変化

図 8.2 に修正輪を用いて加工した際の工具摩耗形状の変化を示す。0.1cm と極めて幅の狭い修正輪を用いても、工作物平面度は大きく向上する。これは、修正輪によって工具の最内外周部を平坦に研磨する効果が大きいからである。さらに、点線で示す 6.7cm と幅の大きな修正輪を用いれば、すり鉢状の工具形状の傾斜量も大きく減少し、工作物平面度は飛躍的に向上する。

図 8.3 は上面に連続発泡ポリウレタンパッド(商品名: Politec Supreme) を貼り付けた傾斜角度  $10'41''$  のすり鉢状工具と傾斜角度  $9'4''$  の円錐状工具、および平面工具を用いて平面工作物を研磨したさいの工作物の形状変化であり、シミュレーション結果とともに示す。いずれの工具を用いた場合も、実験値は太実線で示す理論平面度より凸側に移行する。この原

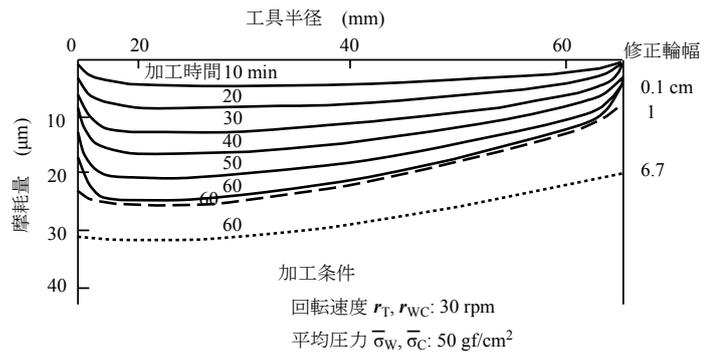


図 8.2 修正輪幅による工具摩耗形状への影響

因は工具のポリシ抵抗によって生じる重心の高い工作物が傾斜することによってポリシングパッドがスクイジングされ、ポリシングパッドの中央部が大きく粘性変形するなどして、工具形状が当初の平面から凹状に大きく変化したことによるものと考えられる。このように重心の高い工作物の場合、実験とシミュレーションが一致しないことが起こり得る。

次回から各種実用研磨機について取り扱う。

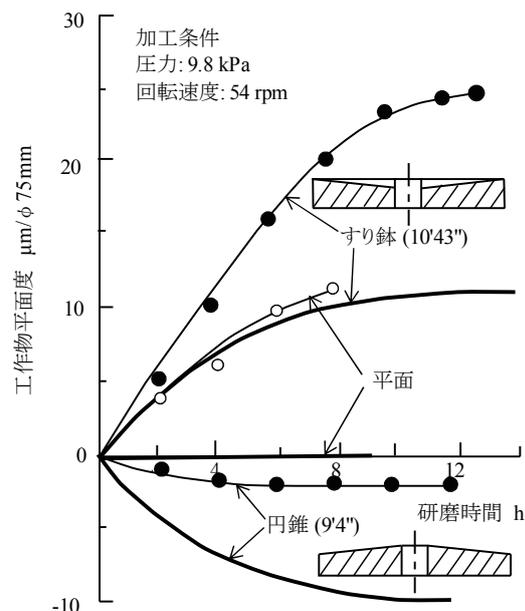


図 8.3 修正輪幅による工具摩耗形状への影響