

## 十二回連載 ワンポイントレッスン 第十一回

# 現場で使える 研磨加工の理論と計算手法

宇根篤暢(元 防衛大学校)、河西敏雄((株)河西研磨技術特別研究室)



### 1. 揺動速度制御型研磨機

小型工具を用いた揺動速度制御型研磨機は、大口径シリコンウエハを枚葉、かつ高能率で加工するために開発された研磨機であり、第十回で述べた小片工具を用いた滞留時間制御型研磨と異なり、工作物の1/2から2/3の大きさをもつ、回転する小型工具により工作物の形状を修正しつつ加工するものである。工具はコンピュータで制御されつつ工作物上を直線揺動し、工作物外周の加工量を増大させるために工作物からはみ出しが行われる。工作物は回転テーブル上に保持され、一定回転速度で回転する。

### 2. 揺動速度制御型研磨機の運動解析と相対速度

図11.1は直線揺動制御型の片面研磨機の模式図である。工具は工作物より小さく、工作物の上部に配置される。工作物全面を加工するために工具は工作物上を揺動し、工具と工作物は強制回転駆動される場合について考えてみる。

#### (1) 円形工作物

図11.2は、Y方向に等速度 $v_0$ で直線揺動している工具と工作物の位置関係、およびそれらの速度や相対速度ベクトルを示す図である。工作物、工具が同方向に回転している場合、工具上の任意の点Pにおける工具と工作物の相対速度 $V$ は式(11.1)で表すことができる。ここで、工具の揺動速度 $v_0$ は工作物や工具の速度 $v_w, v_t$ と比較し、きわめて小さいと仮定して無視すると、第七回で述べた修正輪形研磨機に対する一連の理論式(7.3)~(7.5)を参考にして、式(11.2)が得られる。

$$V^2 = v_t^2 + v_w^2 - 2v_t \cdot v_w \cdot \cos \alpha_w \quad (11.1)$$

$$V_w = \sqrt{\omega_t^2 d^2 + 2(\omega_w - \omega_t)\omega_t \cdot d \cdot R_w \cdot \cos \theta_w + (\omega_w - \omega_t)^2 R_w^2}$$

$$V_t = \sqrt{\omega_w^2 d^2 + 2(\omega_w - \omega_t)\omega_w \cdot d \cdot R_t \cdot \cos \theta_t + (\omega_w - \omega_t)^2 R_t^2} \quad (11.2)$$

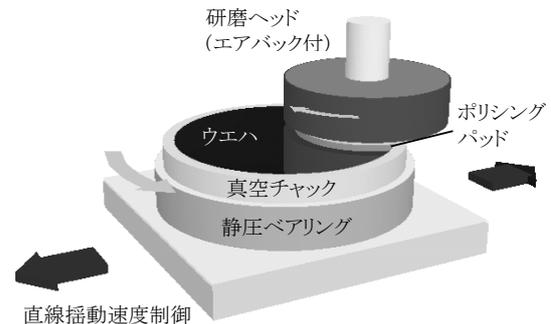


図11.1 揺動速度制御型研磨機

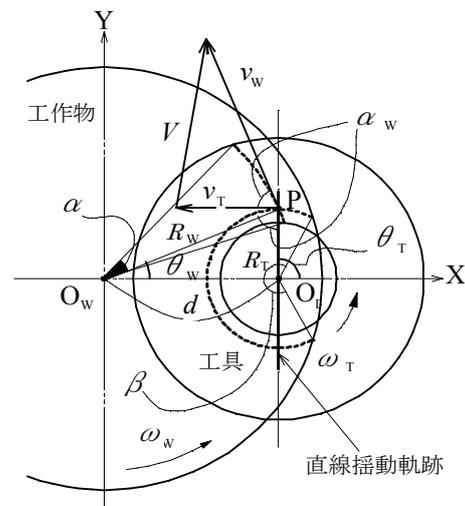


図11.2 揺動速度制御型研磨機における円板状工作物と工具の位置関係と相対速度

平均走行距離は、工具の工作物のはみ出しを考慮し、図11.2に示す太破線上の速度を平均化し、工具と工作物の接触率を掛け算して、式(11.3)で表せる。

$$\bar{S}_w = \bar{V}_w \cdot \frac{\alpha}{\pi} \quad \bar{S}_t = \bar{V}_t \cdot \frac{\beta}{2\pi} \quad (11.3)$$

#### (2) 矩形工作物

図11.3に示す半径 $R_t$ の円板状工具を用いて矩形工作物を直線揺動研磨する際の相対速度について考える。座標系は工

作物中心  $O_W$  を原点とする工作物座標系  $XY$  と工具中心  $O_T$  を原点とする工具座標系  $X'Y'$  を用いる。工具上の任意の点  $P(r_T, \theta_T)$  における相対速度は、工作物の回転速度ベクトル  $v_W$ 、工具の回転速度ベクトル  $v_T$  と  $X'$  軸方向への揺動速度ベクトル  $v_S$  のベクトル和  $v$  として式(11.4)で表される。

$$v = v_W - (v_T + v_S) \tag{11.4}$$

平均走行距離は矩形工作物についても円形工作物と同様にして計算することができるが、理論式については省略する。工作物が矩形のため、工作物と工具が互いに接触する角度  $\alpha$  や  $\beta$  が大きく変化するので注意が必要である。

### 3. 揺動速度制御型研磨機での圧力分布

修正輪形研磨機の場合と同様にして、Preston や河西の式を利用して圧力分布を算出する。工具が工作物を揺動しながら工作物からはみ出すので、微小時間毎に工具と工作物の位置関係が変化することや、はみ出しにより大きな偏心荷重が生じ、大きく圧力分布が変化することを考慮して理論解析することが必要になる。したがって、すべての計算は揺動位置毎に計算される。相対弾性定数  $E$  が工具半径の関数として表される場合、積分の外に出すことができない。この時、第八回の修正輪形研磨機の時に説明した最小すきま点の最大変位量である  $\delta_{W0}$  と、工具傾斜  $\theta_{W0}$  は、式(11.4)で表せる。

$$\delta_{\max} = \frac{F_T + \int_{R_{T0}}^{R_{T10}} \int_{\theta_{T2}}^{\pi} E \cdot C_T(R_T, \theta_T) R_T d\theta_T dR_T - \tan \theta_0 \int_{R_{T0}}^{R_{T10}} \int_{\theta_{T2}}^{\pi} E \cdot R_T^2 \cos \theta_T d\theta_T dR_T}{\int_{R_{T0}}^{R_{T10}} \int_{\theta_{T2}}^{\pi} E \cdot R_T d\theta_T dR_T}$$

$$\tan \theta_0 = \frac{2}{\pi \int_{R_{T0}}^{R_{T10}} E \cdot R_T^3 dR_T} \int_{R_{T0}}^{R_{T10}} \int_{\theta_{T2}}^{\pi} C_T(R_T, \theta_T) E \cdot R_T^2 \cos \theta_T d\theta_T dR_T \tag{11.4}$$

以後は、修正輪形研磨機の場合と同様にして加工量や工具摩耗量の理論式を導出できる。

### 4. 解析例

図 11.4 は揺動速度制御の有無による工作物半径上における走行距離の不均一性  $\pm$  (加工量の最大値-最小値)/平均加工量/2) を計算した例である。揺動速度制御のない等速揺動時には  $\pm 42\%$  と大きいのが、揺動範囲を 80~140mm に変更するだけで、 $\pm 17\%$  に減じることができる。さらに、図中に示す簡単な揺動制御を行うだけで  $\pm 4\%$  に、最適揺動速度制御により  $\pm 1.4\%$  まで低減することが可能になる。図 11.5 に揺動速度制御の有無による加工量の工作物半径内不均一性について示す。図中に示す最適揺動速度制御により加工量の不均一性は  $\pm 17\%$  から  $\pm 1\%$  以下に向上する。

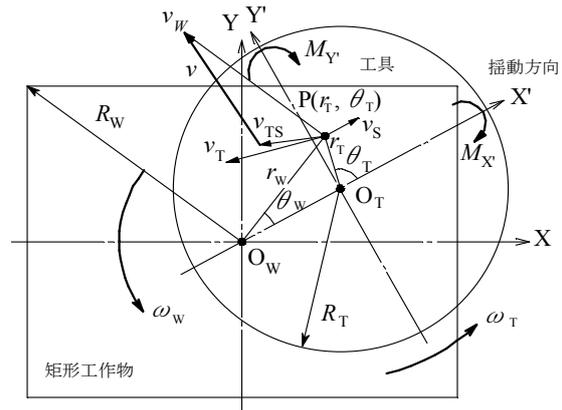


図 11.3 揺動速度制御型研磨機における矩形工作物と工具の位置関係と相対速度

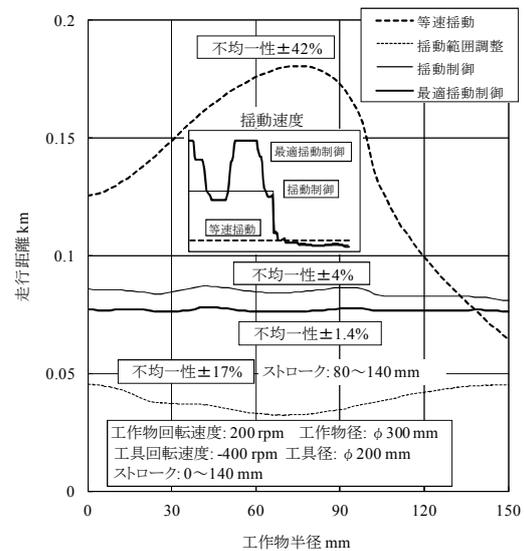


図 11.4 揺動速度制御による走行距離の均一化

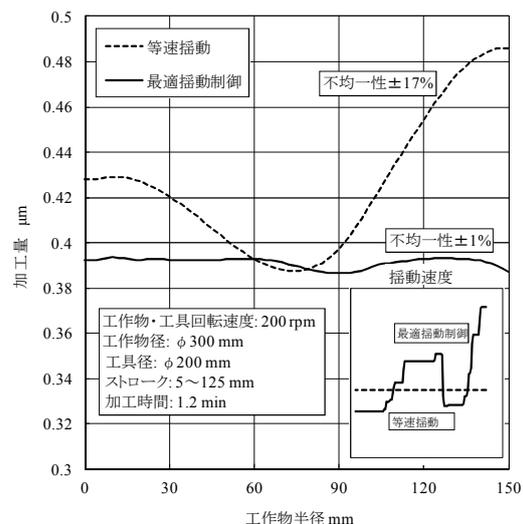


図 11.5 揺動速度制御による加工量の均一化

◆研磨シミュレーション講座を9月、10月に開催します。  
<http://park.saitama-u.ac.jp/~kasai-aipt-lab/>