

十二回連載 ワンポイントレッスン 第九回

# 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. レンズ研磨機

オスカー式レンズ研磨機は、回転ろくろに取り付けた工作物に、工具を手で往復させながら擦りつける研磨法を単純に機械化したもののように見受けられる。この研磨機をうまく使いこなすためには、高度で複雑とも言える技能や経験が作業者に要求される。

## 2. レンズ研磨機の運動解析と相対速度

図 9.1 は現在も使用されているオスカー式のレンズ研磨機である。オスカー式研磨機の特徴はてこ・クランク機構をもつことであり、クランクが回転し、てこが往復角運動する機構により回転運動を円弧揺動運動に変え、上皿を往復運動させている。加工レンズを貼り付けた下皿は動力源によって強制的に回転させられ、その面に工具である上皿(研磨皿)を対向させるように載せ、上皿の中心をピボット軸で押さえて圧力をかけている。

ここでは、図 9.2 のような幾何学的関係にある工作物と研磨皿である工具によって平面ポリシングされる際の相対速度を取り扱う。工具は工作物の回転に従動して一定速度で回転し、てこ・クランク機構により揺動する。工作物は、点  $O_w$  を中心に回転する。工作物の直径は、工具の直径より大きく、工具が揺動半径  $R_0$  で A 点を中心に揺動する場合について説明する。

工具上の任意の点  $P_T(R_T, \theta_T)$  における工作物、工具の回転速度と工具の揺動速度をそれぞれ  $v_w, v_T, v_0$  とし、それぞれの X 方向、Y 方向のベクトル速度を  $x, y$  のサフィックスをつけて表すと、以下の式が成立する。

$$v_{wx} = R_w \cdot \omega_w \cdot \cos\theta_w \quad v_{wy} = R_w \cdot \omega_w \cdot \sin\theta_w \quad (9.1)$$

$$v_{Tx} = R_T \cdot \omega_T \cdot \cos\theta_T \quad v_{Ty} = R_T \cdot \omega_T \cdot \sin\theta_T \quad (9.2)$$

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos\theta_0 \quad v_{0y} = v_0 \cdot \sin\theta_0 \quad (9.3)$$

$$v_0 = R_0 \cdot \omega_0 \quad (9.4)$$

ここで、 $(R_w, \theta_w)$  は工作物の回転中心  $O_w$  を原点とす

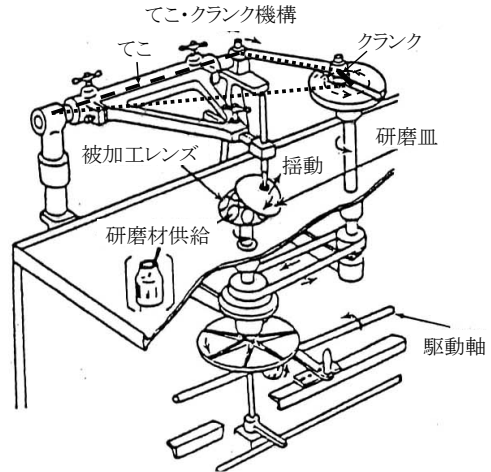


図 9.1 てこ・クランク機構をもつレンズ研磨機

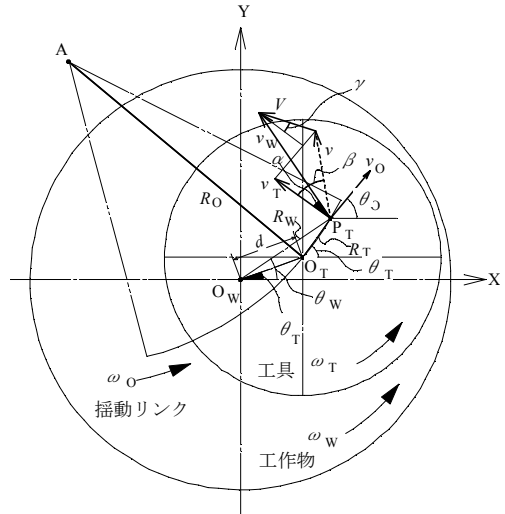


図 9.2 レンズ研磨機における工作物と工具の位置関係と相対速度

る点  $P_w$  の極座標値、 $(R_T, \theta_T)$  は工具の回転中心  $O_T$  を原点とする点  $P_T$  の極座標値、 $\theta_0$  は揺動速度ベクトルの X 軸に対する傾き、 $\omega_w, \omega_T, \omega_0$  は工作物、工具、および揺動リンク(てこ)の角速度である。d は工具と工作物の中心間距離、 $R_0$  は揺動リンクの長さ(揺動中心 A 点から工具中心までの距離)である。この時、工作物と工具間の相対速度  $V$  は式(9.5)で表すことが

できる。

$$V^2=(v_{Tx}+v_{Ox}-v_{Wx})^2+(v_{Ty}+v_{Oy}-v_{Wy})^2 \quad (9.5)$$

また、揺動角速度  $\omega_0$  は、てこ・クランク機構において、長さ  $R_0$  のてこの角速度であり、長さ  $r_c$  のクランクの角速度  $\omega_c$  を用いて式(9.6)で表すことができる。

$$\omega_0 = \frac{r_c \cdot \sin(\theta_c - \theta_B)}{r_A \cdot \sin(\theta_A - \theta_B)} \cdot \omega_c \quad (9.6)$$

ここで、 $\theta_A$  は固定リンクに対するてこの角度、 $\theta_B$  は連結リンクの角度、 $\theta_c$  はクランクの角度である。

次に、工具の従動回転速度  $\omega_T$  の解析を、次の仮定のもとで進めてゆく。

- ① 工作物と工具は完全平面であり、それらの間の接触は工具が工作物上からはみ出さない限り均一であって、圧力分布は一様とする。
- ② 工作物と工具間の摩擦係数は、それらの間の位置や相対速度に無関係に一定である。

工作物と工具間に働く摩擦力は相対速度  $V(R_T, \theta_T)$  の方向に発生するので、工作物と工具の接触部の圧力を  $p(R_T, \theta_T)$ 、摩擦係数を  $\mu$  とすると、工具に生じる回転モーメント  $M$  は、式(9.7)で表すことができる。

$$M = \int \int_A \mu \cdot u \cdot p \cdot R_T^2 \cdot d\theta_T \cdot dR_T \quad (9.7)$$

ここで、 $u$  は点  $P_T(R_T, \theta_T)$  における[摩擦力の工具回転モーメント方向成分]であり、式(9.8)で表すことができる。

$$u = \cos\gamma = \frac{v_W \cdot \cos\alpha - v \cdot \cos\beta}{V} \quad (9.8)$$

この式で、 $\gamma$  は相対速度  $V$  と工具の速度  $v_T$  のベクトル間のなす角、 $\alpha$  は工作物と工具の速度  $v_W$  と  $v_T$  のベクトル間のなす角、 $\beta$  は工具の速度  $v_T$  と揺動速度  $v_0$  による合速度  $v$  と、工具の速度  $v_T$  のベクトル間のなす角である。合速度  $v$ 、角度  $\alpha$  と  $\beta$  は以下の式で求められる。

$$v^2 = (v_{Tx} + v_{Ox})^2 + (v_{Ty} + v_{Oy})^2 \quad (9.9)$$

$$\cos\alpha = \frac{R_T^2 + R_W^2 - d^2}{2R_T \cdot R_W} \quad (9.10)$$

$$\cos\beta = \frac{v_T^2 + v^2 - v_0^2}{2v_T \cdot v} \quad (9.11)$$

したがって、式(9.7)において、 $M=0$  とおいた時の  $\omega_T$  の値を、前述の式を用いて算出すれば、工作物の安定回転数を求めることができる。

通常、式(9.7)を解析的に解くことは難しく、数値計算が必要となる。揺動速度が、工作物、工具の回転速度と比較して無視できる程小さく、工作物と工具が

同一方向に等回転速度で従動回転すると仮定しているので、 $v_0=0$ 、 $v=v_T$  が成立する。この時、

$$u = \frac{R_W^2 - R_T^2 - d^2}{2R_T \cdot d} = \cos(\theta_T - \theta) \quad (9.12)$$

となる。すなわち、工作物と工具が全面で均一な圧力分布で接触している場合、工作物が工具に等しい回転速度で従動回転する状態がもっとも安定な条件となる。一方、加工により工作物の形状や工具の形状が平面ではなくなり、凹や凸形状になった場合、工具の従動回転数は工作物の回転数からずれてゆることが考えられる。

### 3. 揺動角速度の解析例

図9.3はクランクリンク長さの揺動角速度への影響を計算した結果である。往路を太実線で、復路を細実線で示す。クランクリンク長さ200mmの場合、揺動方向が反転する揺動角度において揺動角速度の急激な立ち上がり立ち下がりを生じている。この揺動条件では、装置へ振動を生じさせ、最悪の場合には機構を破壊することも考えられるので、実用上使用が難しい。反転時において揺動速度が滑らかに変化し、往復路の揺動速度分布がほぼ同じとなるのは、てこ長さ、連結リンク長さ、クランクリンク長さ、固定リンク長さの比が、3:4:1:5の場合である。揺動角速度に対してもっとも大きな影響を与えるのはクランクリンク長さであり、これに比例して揺動角速度は増大する。

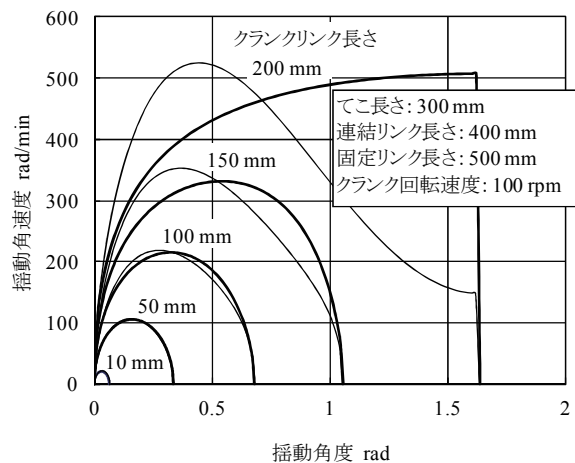


図9.3 レンズ研磨機におけるクランクリンク長さの揺動角速度への影響

◆研磨シミュレーション講座を9月3日(月)と10月3日(水)に開催します。

<http://park.saitama-u.ac.jp/~kasai-aipt-lab/>