

十二回連載 ワンポイントレッスン 第四回

現場で使える 研磨加工の理論と計測手法

河西敏雄((株)河西研磨技術特別研究室), 宇根篤暢(防衛大学校)



平面研磨シミュレーションで必要になるパラメータ、比研磨量・圧力比 η_w 、比工具摩耗量・圧力比 η_t 、弾性変形定数 ζ に関しては、言うまでもなく実際の研磨に近い条件下で求め、計算結果を実験結果に対比させることが理想的である。ここでは、加工量と工具摩耗量と研磨速度、圧力、時間が比例関係にあることを前提にして話を進めていく。

1. 比研磨量・圧力比 η_w の測定

光学ガラスの機械的性質や加工特性を表わすものとして、古くは「光学硝子工業会規格(昭和41年2月17日設定)」にヌープ硬さと摩耗度の測定方法の詳細とデータが示されている。これらは、ガラスの材料比較に用いることができるが、ポリシングにおける平面研磨の理論解析に取り込めるものではない。現実には理論的扱いを行う場合には、研磨で得られるプレストン定数あるいは筆者らが提案した比研磨量・圧力比 η_w などが利用できる。

比研磨量・圧力比 η_w は、式(2.1)より、 $\eta_w = h_w / (v \cdot p \cdot t)$ であるから、正確な速度、圧力、時間の下で研磨量を測定すれば容易に算出できる。平面研磨条件が長く維持できる図3.1に示す小型修正輪形研磨機を用いて加工量等の測定を行っている。

η_w のほかに η_t や ζ を求める際の研磨の注意事項として、1)加工量などのデータ取りは、上記の比例条件下で行う。2)工作物と工具は密着した状態にあり、3)ポリシャの全ての面が研磨に寄与している。4)その際に研磨剤の適量供給が行われていて、5)温度をはじめ研磨環境が安定した状態にあることなどをあげることができる。

このような注意のもとでポリシングを進めるこ

とになるが、加工量 h_w は、通常、小さな値を示すので長時間にわたる実験が行われる。わずかな加工量の測定には高感度の電気マイクロメータなどを用いるが、測定機の安定性やメータ支持系の熱膨張などにも注意しなければならない。一つとして工作物にエッチングなどで溝を形成しておいて、研磨によるその溝の深さの変化を触針式表面粗さ測定機で測定する方法がある。その際に試料が凹状や凸状になるような条件の研磨を避け、平面状に研磨が進行しているときにデータをとることが重要である。そのほか重量測定で加工量を測定することも可能であり、 h_w は換算式 $h_w = m_w / \rho \cdot S_w$ で与えられる。 m_w は工作物の重量変化、 ρ は比重、 S_w は面積である。

2. 比工具摩耗量・圧力比 η_t の測定

比工具摩耗量・圧力比 η_t は、工具摩耗を対象にした値であり、比研磨量・圧力比 η_w と同様に $\eta_t = h_t / (v \cdot p \cdot t)$ の関係にある。ただし粘弾性体である工具の摩耗量 h_t の測定では、剛体の工作物の加工量に比べて多少の工夫が要る。小型修正輪形研磨機を用いるピッチポリシングでは、リング状のピッチポリシャの中央部に $\phi 5 \sim \phi 8$ の孔をあけ、底のプラテン面とピッチ面の高さ変化を1/1000mmのダイヤルゲージで測定して工具摩耗量 h_t を測定することが行われる。その際、ダイヤルゲージの測定圧によるピッチ面の変形を抑えるため、厚さ1mm~2mmのゲージブロックあるいは同一寸法の平行平面ガラス板を用いて孔を跨ぐようにピッチ面にすり合わせ、密着させて測定する。このほかリング状のプラテン側にガラスなどの工作物を貼り付け、小径円板の方をピッチ

などの工具に置き換え、通常の逆の形の研磨を進め、工具摩耗 h_t を測定することもある。なお、研磨を行いつつ測定される工具摩耗量 h_t には、多少の塑性流動分が含まれると思われるが、塑性流動が速度、圧力、時間に比例するようであれば特に問題はない。

3. 弾性変形定数 ζ の測定

見かけ上の研磨圧力は、付加荷重を工作物面積で除した値である。しかし、現実には工作物に作用する研磨圧力は、工作物と工具の凹凸形状に従って工具側が変形して発生する反力である。弾性変形定数 ζ は、変形量と圧力の関係を示す値である。

ポリシング工具には様々なものがある。特にピッチポリシヤには、多くの場合、糸の太さ 1mm、ピッチ 3~4mm の網による基盤目状の網目が付いてあり、網目部分は網目なしの部分よりも弾性的、塑性的に変形しやすく、それが研磨中に工作物と工具がよく密着する「なじみ現象」の助けになっている。また、研磨時の温度上昇や砥粒の埋め込みも生じている。このような状態のピッチポリシヤの弾性変形定数 ζ については、前報の図 3.1 の異種材料のポリシングモデルと式 (3.3)、式 (3.4)、式 (3.5) より、既知の η_{w1} と η_{w2} をもつ二種類の工作物を同時研磨したときの、

$$\zeta = \delta / (p_1 - p_2) = \delta / p_1 (1 - \eta_{w1} / \eta_{w2}) \quad (4.1)$$

で表すことができる。また、研磨実験で ζ を簡単に求める場合、(η_{w1})側の面積 S_1 に比べて (η_{w2})側の面積 S_2 をできるだけ小さくすると、圧力 p_1 は付加荷重 P_w を S_1 で担う値に近づくので、

$$p_1 = P_w / S_1 \quad (4.2)$$

を用いればよい。

このほか円板工作物とリング工具による実際の研磨で、両者が平面の初期状態から研磨時間 t の間に生じる平面度変化、すなわち工作物の中心部と外周部の加工量差からも簡易に弾性変形定数 ζ を求めることも可能である。これについては後述の研磨理論の方で扱う。複雑な挙動を示す研磨の実情、現場に即した弾性変形定数 ζ の求め方を示した。単位は比研磨量・圧力比 η_w などの「 $\mu\text{m} \cdot \text{km}^{-1} / \text{Pa}$ 」に合わせて「 $\mu\text{m} / \text{Pa}$ 」とした。

4. 相対弾性率 E の測定

ピッチポリシヤやウレタンパッドの変形量と圧力の関係に関しては、図 4.2 のような Maxwell モデルと Voigt モデルが直結した粘弾性体の変形挙動で説明できる。そのうち応力 σ を厚さ T のパッドに与えたときの変位 γ_1 と相対弾性定数 E_1 の間に、

$$\gamma_1 = \sigma T / E_1 \quad (4.3)$$

の関係がある。相対弾性定数 E_1 は、図 4.3 のような測定装置を用い、単純な静的測定ではなく研磨に近い動的測定で荷重の付加と除去を 1 秒ごとに繰り返す条件で求めている。工具材料特性に注目した測定になる。相対弾性定数 E_1 は $1/\zeta$ に相当し、その単位は「 $\text{Pa} / \mu\text{m}$ 」である。

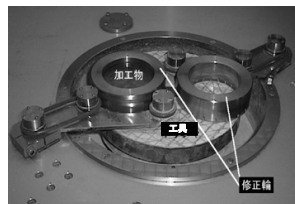


図 4.1 小型修正輪形研磨機

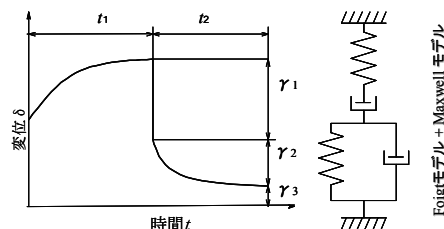


図 4.2 粘弾性モデルと 4 要素モデル

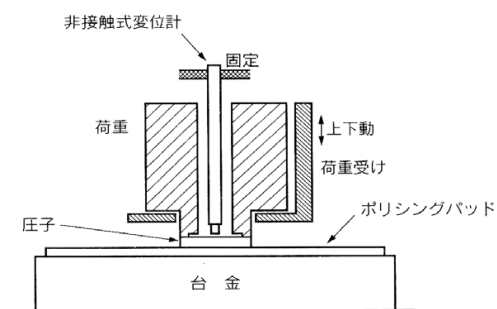


図 4.3 粘弾性変形特性測定装置