

ER ゲルを用いた電場援用研磨加工

Electric field-assisted fine finishing using ER gel

80716778 竹澤慎吾 (Shingo Takezawa)

Supervisor : 青山藤詞郎 (Tojiro Aoyama)

1. 緒論

先端分野で使用される精密部品や光学素子には高度な加工技術が要求されている。特に最終工程である研磨加工に対する要求は高く、自動化、新規技術開発が望まれている。これを実現する研磨加工技術として、場援用研磨加工(Field-assisted Fine Finishing: FFF)と呼ばれる電磁場などを従来の研磨加工プロセスに援用した研磨加工法が提案されている。

本研究では電場により表面の粘着特性が変化する ER ゲル (Electro-Rheological Gel :以下 ERG)⁽¹⁾を用いた研磨パッドを開発し、電場の調整により研磨特性が調節可能であることを確認した。ここではガラス基板を電場援用研磨に適用した成果について報告する。

2. ERG を用いた電場援用研磨

2.1 電気粘着効果

ERG とは滑り特性の高い ER 粒子をシリコンゲルに分散した構造の複合材料である。無電場時には ER 粒子が表面に突出しているが、電場印加時には ER 粒子が誘電分極し、表面に突出していた粒子はゲル内部に引き込まれ、それに伴い表面に粘着性の高いゲルが出現する。そのため ERG 表面とこれに接する材料間の粘着力が著しく増加する。この粘着特性変化を電気粘着効果と呼び、これを研磨加工に適用した。

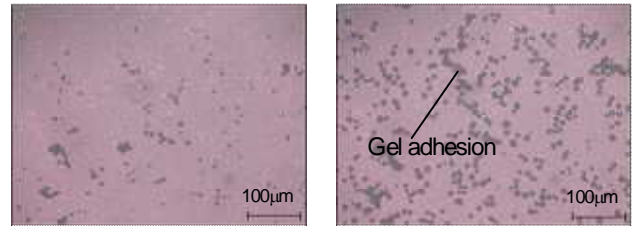
図 1 に工作物の代わりに用いたカバーガラスを ERG 研磨パッドの上に乗せ、表面の粘着を観察した様子を示す。電場印加時にゲルの粘着面積が増加していることが確認できる。

2.2 ERG 電場援用研磨の研磨特性変化メカニズム

図 2 に ERG 電場援用研磨の研磨特性変化メカニズムを示す。厚さ数ミリメートルの ERG を研磨工具端面に成形した研磨パッドと、工作物表面の間に砥粒を介在させ、回転台上に固定された工作物を回転させ研磨を行う。ERG 研磨パッドの電極構造は絶縁材料に対しても電気粘着効果を発現できる片側電極を採用した⁽²⁾。これに電場を印加しない場合、砥粒は固定されずに工作物表面と ERG 表面の間で遊離砥粒として作用するため研磨効率が低い。一方、電場を印加することで砥粒はゲルの粘着により拘束され、固定砥粒として作用することで無電場時に比べ研磨効率が向上する。

3. 研磨加工装置

図 3 に研磨装置の構成を示す。研磨工具先端に装着した ERG 研磨パッドと回転台上に固定された工作物の間に研磨剤を供給して加工を行う。片側電極を適用した ERG 研磨パッドを図 4 に示す。この研磨パッドの電極構造は、陽極と陰極が櫛歯状に配置されており、その電極間に電位差を与えることで、電極表面にアーチ状の電場分布を形成することができる。過去の研究⁽²⁾より、櫛歯部分の電極幅、間隔をそれぞれ 0.5mm、そして厚さ 0.3mm の ERG を用いることで電気粘着効果を最大に発揮できることが確認されているので、これを採用した。



(a) No electric field (b) Applied 2kV

Fig.1 Observation of ERG surface

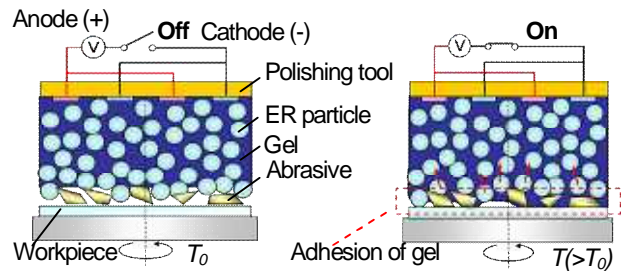


Fig.2 Mechanism of electric field assisted polishing using ERG Pad

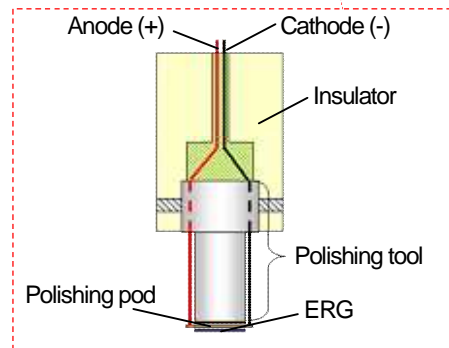
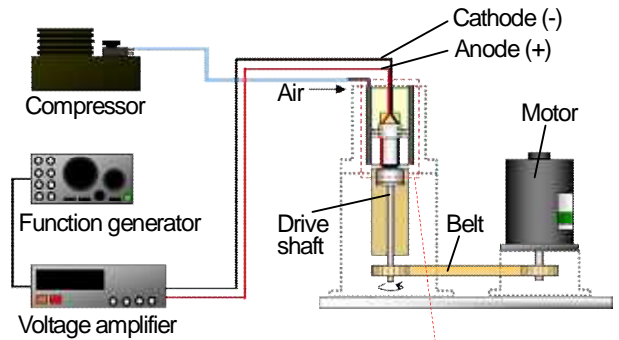


Fig.3 Schematic of ERG polishing machine

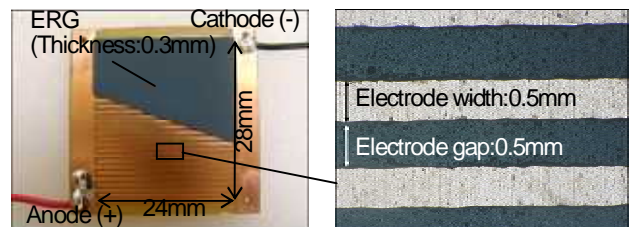


Fig.4 ERG polishing pad with one-sided electrodes

4. 研磨特性評価

4.1 ERG 研磨パッドとシリコンゲル研磨パッドの研磨特性

ERG 電場援用研磨の有効性を検証するため、ERG と電気粘着効果を示さないシリコンゲルの研磨パッドを用いて、それぞれ研磨加工を行った。工作物には青板ガラスを用いた。

研磨加工条件を表 1 に示す。研磨剤、加工面圧及び工具回転数は以降全ての実験で一定とした 図 5 に加工試験結果を示す。電場援用研磨加工 10 分間でシリコンゲル研磨パッドでは加工の進行が見られないが、ERG 研磨パッドでは表面粗さの著しい向上が確認できる。電気粘着効果により、砥粒の把持と着脱を繰り返すことで高い研磨作用を誘起したものと考えられる。以上より ERG 電場援用研磨はガラスなどの絶縁材料の研磨に適用可能であることがわかった。

4.2 静・動的電場印加における研磨特性

印加電場波形の影響を調べるため、ERG 研磨パッド表面に静電場(定電圧 1kV)、動的電場(正弦波電圧 0-1kV, 1Hz)を分布させ研磨試験を行った。

図 6 より、静・動的電場援用時ともに表面粗さが向上することがわかる。加工物表面の観察を行ったところ、静電場援用した加工物表面において、初期傷から派生したスクラッチが確認された(図 7)。一方、動的電場を援用した際には全く確認されなかった。静電場援用研磨では砥粒が電気粘着効果によりゲルに把持され、固定砥粒としてのみ加工面に作用したことが原因であるとされる。

4.3 印加電場周波数の影響

次に、印加電場周波数による研磨特性を評価するため、ERG 研磨パッドに周波数 1Hz, 5Hz, 20Hz の正弦波電圧 0-1kV を与え、その研磨特性を調べた。

図 8 に加工試験結果を示す。電場周波数 20Hz, 1Hz, 5Hz の順に加工面粗さが向上することが確認できる。過去の研究より、ERG 研磨パッドの電気粘着効果は 5Hz で最も顕著に現れ、それをピークに減少することがわかっている。電気粘着効果の周波数応答性と電場援用研磨特性に相関があることから、電場周波数により研磨特性を調整可能である。

5. 結論

本研究では ERG を用いた電場援用研磨を青板ガラスの精密研磨に適用し、ERG 研磨パッドの静・動的電場に対する研磨特性を実験的に明らかにした。得られた結果を以下に示す。

- 1) 片側電極を適用した ERG 研磨パッドを用いることで、絶縁体である青板ガラスを加工することができた。
- 2) 静電場を援用すると加工物表面にスクラッチが発生するが、動電場を援用することでこれを抑制できる。
- 3) 粘着効果が顕著に生じる動的電場 5Hz を印加することで、最も高い研磨効率を示した。

参考文献

- 1) 柿沼康弘他：ゲル構造電気粘性流体の開発とその基礎特性解析，精密工学会誌，第 50 巻 12 号，p1538-p1543，2004
- 2) 田中将之他：ER ゲルにおける対向絶縁型片側電極の最適決定，日本フルードパワーシステム講演会春季講演論文集，p28-p30，2007
- 3) 柿沼康弘，竹澤慎吾他：ER ゲルを用いた電場援用研磨法の開発，砥粒加工学会誌，第 52 巻 12 号，p712-p717，2008

Table.1 Polishing condition

Polishing pad	a)ERG pad b)Silicon gel pad
Applied voltage	Sine 0-1kV, 1Hz
Abrasive	Water+CeO ₂ (#12000):5wt%
Rotational speed	100min ⁻¹
Polishing pressure	0.72g/mm ²
Workpiece	Blue glass

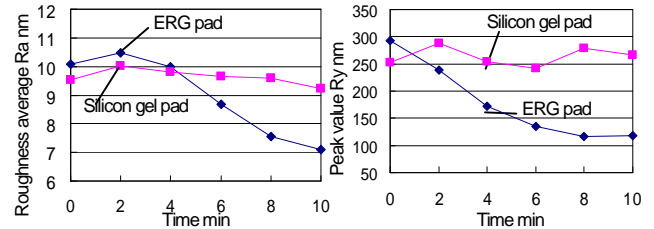


Fig.5 Comparison between ERG pad and silicon gel pad

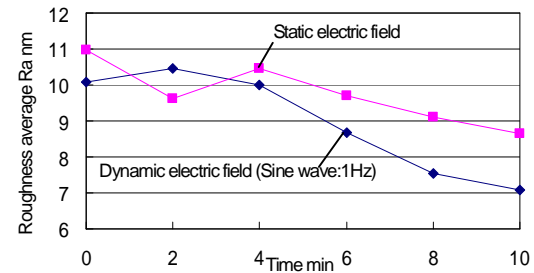


Fig.6 Influence of applying static and dynamic electric field

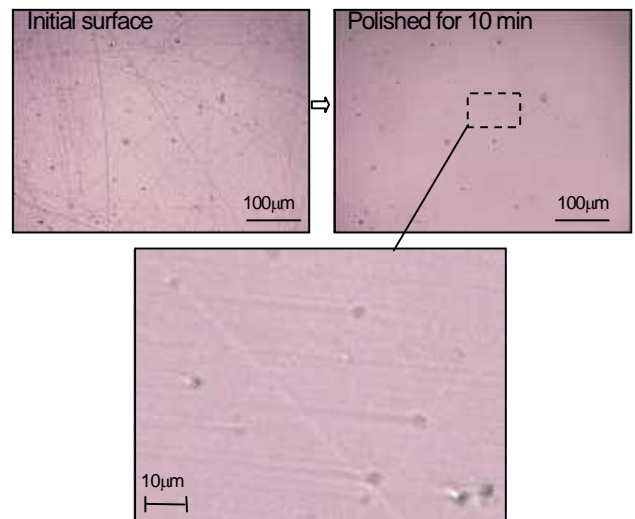


Fig.7 Polished surface under applied static electric field

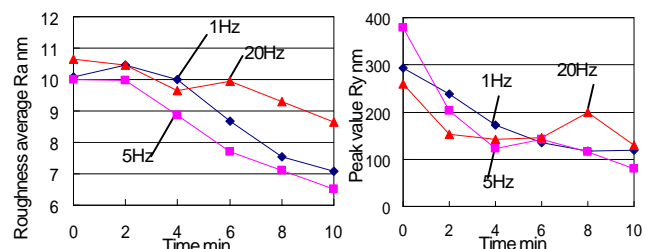


Fig.8 Influence of the frequencies of dynamic electric field on the polishing performance