

ノート

CVD ダイヤモンド膜の共擦り研磨法の評価

平野 康之^{*1)} 中村 健太^{*2)} 藤巻 研吾^{*3)}
 春日井 雅登^{*4)} 前場 宜^{*4)} 林 佑樹^{*4)}

Evaluation of mutual abrasion polishing method for CVD diamond films

Yasuyuki Hirano^{*1)}, Kenta Nakamura^{*2)}, Kengo Fujimaki^{*3)}, Masato Kasugai^{*4)}, Noburu Maeba^{*4)}, Yuki Hayashi^{*4)}

キーワード: 研磨, CVD ダイヤモンド, 共擦り

Keywords: Polishing, CVD diamond, Mutual abrasion

1. はじめに

熱交換器等で用いられる金属パイプは、塑性加工用工具によって加工されている。図 1 に示すパイプの拡管、引抜加工は、工具（プラグ）の摩耗が大きく、ダイヤモンド被覆による耐摩耗性などの向上が求められている。しかし、ダイヤモンド膜は、成膜後の表面粗さが大きく工具自体の研磨工程を要し、製品化の障害となっている。

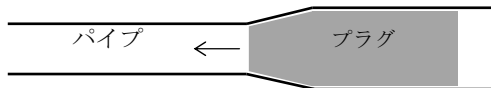


図 1. プラグを用いたパイプの拡管加工

曲面状のダイヤモンドの研磨は、様々な装置が提案されているが、高価格であり、生産現場においては、ダイヤモンド砥粒の共擦りによる手研磨が広く行われている。しかも、ダイヤモンドの共擦り研磨は、経験的なものであり、短時間化等の効果的な研磨方法の研究報告例も少ない。

本研究は、機械研磨の基礎式であるプレストンの法則⁽¹⁾によって、ダイヤモンドの共擦り研磨を評価し、研磨に効果的な要素を明らかにすることを目的としている。

2. 平面状ダイヤモンド膜の従来式研磨

平面状のダイヤモンドは、既存の機械研磨方法で研磨可能である。はじめに、平面状試料の表面粗さの変化から、研磨速度と研磨圧力との寄与を評価した。

2.1 理論 ダイヤモンドの共擦り研磨において、ダイヤモンド表面の粒子間は狭く谷部が研磨されない時、研磨面積はダイヤモンド膜の見かけの面積に等しいとすれば、

研磨量は、粒子の高さの変化量から求められる（図 2 参照）。すなわち、前述の法則は、表面粗さにおける最大高さ R_z を用いることができ、研磨圧力を P 、研磨速度を V 、研磨時間を t 、研磨係数を k とすれば、次式で表せる。

$$R_{z0} - R_z = k P V t \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 R_{z0} は研磨前の最大高さである。



図 2. ダイヤモンド膜の断面模式図

2.2 実験および考察 ラップ盤（本体：ビューラーITW ジャパン（株）製、エコメット 3/オートメット 2 型、研磨紙：同社製、ウルトラプレップダイヤモンドディスク 45 μm）を用い、図 3 に示す構成で、平面状 CVD (Chemical Vapor Deposition) ダイヤモンド膜試料（研磨面積 933 mm²、外径 35、内径 6 mm）を研磨し、 R_z を評価する。

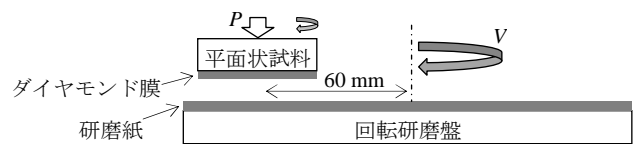


図 3. 平面研磨概略図

(1) 実験条件 ラップ盤で一般的に行われる研磨条件の範囲から基準条件を設定し、実験条件は、基準条件から研磨圧力または研磨速度を 4 倍とした 3 条件とした（表 1 参照）。研磨紙は、1 試料につき 1 枚、かつ加工液を用いないドライ研磨とした。

試料の最大高さは、レーザ顕微鏡（(株)キーエンス製、VK9710 型）によって非接触の計測を行い、 R_z 1 μm 以下になるまで研磨を継続した。

(2) 考察 最大高さの変化を図 4 に示す。試料 B と C は、前述の法則では等しい研磨負荷であるが、試料 C すな

事業名 平成 26 年度 共同研究
^{*1)} 城南支所
^{*2)} 機械技術グループ
^{*3)} 3D ものづくりセクター
^{*4)} 富士ダイス株式会社

わち高研磨圧力が効果的であることを示している。

また、4 時間後の高速と高圧の研磨紙を比較すると、高速条件は、砥粒の摩耗が大きいことが観察された。これは、研磨紙の高速回転によって研磨紙の放熱時間が短くなり、研磨紙が軟化したためと推測される。

表 1. 平面状試料実験条件

試料名	P [kPa]	V [km h ⁻¹]
A(基準)	23.9	2.26
B(高速)	23.9	9.04
C(高圧)	95.4	2.26

試料は、研磨紙回転半径 60 mm の位置に試料中心を固定し、2.26 km h⁻¹ は 100 rpm、23.9 kPa は 5 Lbs の入力値に相当する。

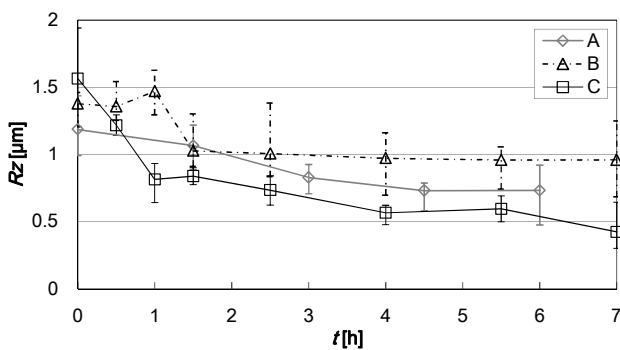


図 4. 平面状試料実験結果

3. 円柱状ダイヤモンド膜の研磨

塑性加工用プラグを想定して、単純な曲面形状の円柱側面を研磨可能な機構を用いて、平面と同様に研磨速度と研磨圧力との寄与を評価した。

3.1 曲面研磨装置 円柱状のダイヤモンド膜試料は、旋盤（理研製鋼(株)製、RBL-51）で固定し、旋盤の回転数によって研磨速度を調整した。

前章で用いた研磨紙は柔軟性を有し円柱形状に沿うため、研磨圧力は、研磨紙を固定するガイドを介し、旋盤の刃物台に固定したばね（ばね定数：2.9 N mm⁻¹）によって加圧する機構とし、刃物台の距離によって研磨圧力を調整した。曲面研磨装置を図 5 に示す。

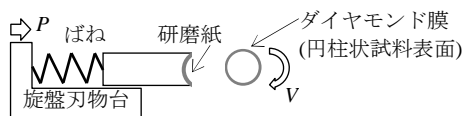


図 5. 曲面研磨概略図

表 2. 円柱状試料実験条件

試料名	P [kPa]	V [km h ⁻¹]
D(低圧)	44.8	2.68
E(低速)	89.5	1.34
F(高圧)	179	2.68
G(高速)	89.5	5.37

研磨圧力は、研磨紙面積 324 mm² とばねの力から設定した。

3.2 実験および考察

(1) 実験条件 外径 19 mm の円柱状試料を用い、実験条件は、平面での高負荷条件から研磨圧力または研磨速度をおよそ 0.5 倍、2 倍とした 4 条件とし、研磨時間は 4 時間とした（表 2 参照）。加圧面積 18×18 mm² 時の研磨面積は 1074 mm² であり、前章に比較し研磨紙の負荷が大きいため、30 分毎に研磨紙を交換した。

(2) 考察 最大高さの変化を図 6 に示す。高負荷条件の F と G の差異は小さく、研磨圧力と研磨速度は同様な研磨効果を示している。

研磨係数を表 3 に示す。低負荷と高負荷の研磨係数を比較すると大きく異なる。これは、前述の法則 (1) は成立しないことを意味する。その一方で、高負荷条件において、高速と高圧の研磨係数は同等であり、限定的には成立することを示している。これは、試料の高速回転によって試料の放熱時間が短くなることによる膜硬度の低下⁽²⁾が推測される。

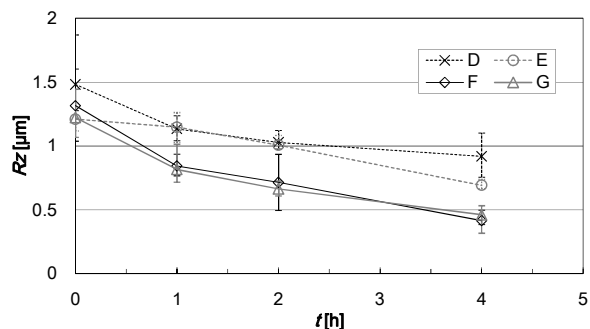


図 6. 曲面実験結果

表 3. 研磨係数 $k \times 10^{-3}$ [μm km⁻¹ kPa⁻¹]

試料名	0~1 h	1~2 h	2~4 h	0~4 h
D(低圧)	2.90	0.89	0.46	1.17
E(低速)	0.52	1.17	1.31	1.08
F(高圧)	0.99	0.27	0.31	0.47
G(高速)	0.85	0.32	0.21	0.40

4. まとめ

本研究は、円柱側面を機械研磨可能な機構を構築し、ダイヤモンドの共擦り研磨では砥粒の摩耗によってプレストンの法則から乖離することを明らかにした。しかし、膜と砥粒の研磨条件によっては限定的に成立することを示した。

今後、研磨時の熱収支の影響を検討し、ダイヤモンドの短時間研磨を確立する。本研究成果を加工企業へ提案し、ダイヤモンド被覆工具の普及を図る。

(平成 28 年 7 月 4 日受付, 平成 28 年 7 月 21 日再受付)

文 献

(1) F. W. Preston: "The Theory and Design of Plate Glass Polishing Machines", J. Soc. Glass Tech., Vol.11, pp.214-256 (1927)
 (2) 島田尚一, 井川直哉: 「工業用材料としてのダイヤモンド」, 材料, Vol.34, No.384, pp.1003-1011 (1985)