

精密研磨における研磨面プロファイルの評価

内山 智幸, 尾谷 賢, 蓑嶋 裕典, 松嶋景一郎,
篠原 邦夫*, 柴田 俊春*, 穂山 勝**

Evaluation of Lapped Surface Profile by Precision Lapping

Tomoyuki UCHIYAMA, Masaru OTANI, Minoshima HIRONORI
Keiichiro MATUSHIMA, Kunio SHINOHARA
Tosiharu SHIBATA, Masaru AKIYAMA

抄 録

精密研磨加工に用いられる多結晶ダイヤモンドの研磨特性として被研磨材の表面粗さに着目し、測定原理の異なる触針型表面粗さ計、および原子間力顕微鏡にて精密研磨面の評価技術について検討を行った。触針型表面粗さ計は、被研磨面のミリサイズの直線から広い範囲のプロファイル評価が可能であり、各種素材を同等に評価可能である。原子間力顕微鏡による評価は、被研磨面の3次元的表现から、界面での砥粒運動の推察が可能であり、微視的なエリアにおいては高い分解能を示す。測定原理の異なる触針型表面粗さ計、原子間力顕微鏡による表面粗さの評価により、両者の相関関係が示された。両者の測定法を併用する事により、高精度な評価が可能であると考えられた。

キーワード：多結晶ダイヤモンド，研磨，表面粗さ，触針型表面粗さ計，原子間力顕微鏡

Abstract

Mechanical lapping has been used widely as one of fine finishing of material surface.

In the mechanical operation, fine polycrystal-diamond particles play the important role because of their high lapping performance. The surface profiles of lapped test pieces are evaluated by the two methods that precision contact indicator and atomic forces microscope. Precision contact indicator evaluate surface of various materials at once in wide straight line of mill-size. Atomic force microscope evaluate abrasive-grain motion in boundary surface, and express test piece surfaces in three dimensions. Results of surface roughness measurements, by precision contact indicator are correlated with those of Atomic force microscope. High precise evaluation is established by using both methods.

KEY-WORDS : Poly-Crystal Diamond, Lapping, Surface Roughness, Precision contact indicator, Atomic Force Microscope

* 北海道大学

**住友石炭鉱業(株)

事業名：技術開発派遣指導

課題名：超微粒研磨砥粒の形状評価技術と性能評価技術の開発

1. はじめに

ハードディスクや磁気ディスクなど電子機器部品の高機能化を図る技術の一つに高精度な研磨がある。これにはダイヤモンドなどの遊離砥粒が用いられており、その研磨特性（研磨速度と研磨面粗さ）は粉体処理技術により制御可能な粒子径、および粒子形状と密接に関連している。粉体特性に及ぼす粒子径の影響などに関する研究は数多く報告されているが、粒子形状と粉体特性の関係については評価対象となる粒子形状の特徴が多様であることから詳細な粒子形状の定量化は研究途上にあり、研磨特性に関連した報告も少ない^{1,2,3)}。筆者らは、投影粒子像輪郭座標値のフーリエ級数第1項から得られる楕円を粒子の近似楕円とし、その短長軸比で決まるマクロな形状指数(K)を求める方法を提案した。さらに、高次フーリエ記述子によるミクロな形状(多角性(P), 非対称性(As), 尖り度(S))を抽出し、定量化することにより砥粒形状の研磨特性解析に適用した^{4,5,6,7,8)}。その結果、砥粒形状の研磨速度に対する寄与率は、多角性、非対称性、楕円軸比、尖り度の順に高く、非対称性が小さいほど、他の形状因子が大きいほど研磨速度が速くなることが示唆され、研磨盤と被研磨材との界面における砥粒の運動と粒子形状が直接対応していることが推察された⁹⁾。一方、研磨面の性状は、電子部品の高性能化に伴いより一層の平滑さが求められ、ナノオーダーでの制御など、より高精度の精密研磨技術が要求されている。

本報告では、人工多結晶ダイヤモンド遊離砥粒により研磨された面の粗さを、測定原理の異なる触針型表面粗さ計、および原子間力顕微鏡により測定し、その評価技術について考察を行った。

2. 実験方法

2.1 試料

研磨試験には、形状の異なる6種類の多結晶ダイヤモンド((株)住友石炭鉱業製)を用いた。表1に、各試料の形状因子(平均)を示す⁹⁾。なお、因子の変動係数は総括的にほぼ0.15であった。粒子径は、遠心沈降式粒度測定器(SACP-4L, 島津製作所製)によって質量基準の光透過法による沈降径として計測した。また粒度分布の均一性は、残留分率0.75と

表1 形状の異なるダイヤモンドの各種物性

	A	B	C	D	E	F
平均粒径: $D_{50}[\mu\text{m}]$	2.28	2.29	2.48	2.48	2.63	2.68
粒度分布の均一性: $D_{75}/D_{25}[-]$	0.578	0.613	0.709	0.714	0.68	0.694
密度: $[\text{g}/\text{cm}^3]$			3.52			
形状指数: $K[-]$	0.702	0.725	0.786	0.803	0.785	0.805
非対称性: $As[-]$	1.034	1.039	1.089	1.113	1.018	1.063
多角性: $P[-]$	3.847	3.756	3.747	3.839	3.738	3.661
尖り度: $S[-]$ (10^{-3})	9.90	12.03	12.61	17.66	16.97	11.46

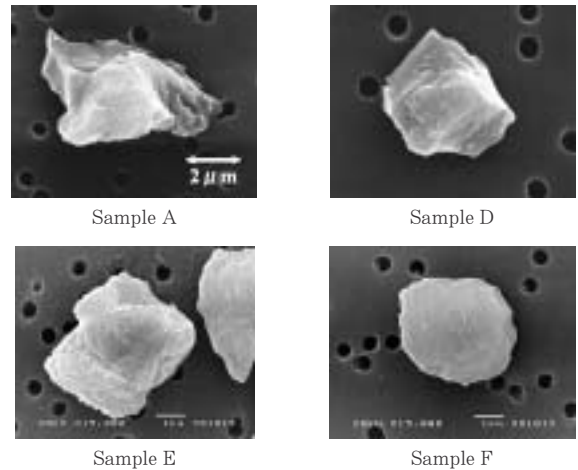


図1 各種ダイヤモンドの特徴的形狀

0.25に対応する粒子径 D_{75} と D_{25} の比を指標とした。

図1に、4種類の特徴的な形状のダイヤモンド砥粒の電子顕微鏡写真を示す。視覚的な評価では、試料はA, D, Eの順に対称性が高く塊状の形状を示しており、また粒子表面の細かな凹凸が少なくなり鋭利な面が顕著になってくる。Fは粒子表面が非常に滑らかな球に近い形状であった。

2.2 研磨試験方法

研磨装置は、精密平面ラップ盤(Model-LP-15, ラップマスター社製)を用いた。本装置は、時計方向に回転する研磨定盤(銅製、螺旋溝付き)上に反時計方向に回転する被研磨材(フェライト)を4試料固定した円形ホルダーを一定荷重下で接触させ、その接触領域に一定体積濃度の砥粒を分散した水性スラリーを噴霧しながら、被研磨材の研磨を行うものである。

2.3 研磨面評価方法

表面粗さは、触針型表面粗さ計(Nanostep-2, 先端部 $0.1 \times 1.0 \mu\text{m}$, Taylor Hobson製)および原子間力顕微鏡(JSPM-4200, 株式会社日本電子製)にて評価を行った。表面粗さプロファイルは、触針型表面粗さ計にて、x, y方向の直線距離0.5mmを評価し、原子間力顕微鏡においては、8および $80 \mu\text{m}$ 四方のエリアについての評価を行った。

3. 結果および考察

表2に、各種形状の異なるダイヤモンドにより研磨されたフェライト表面の触針型表面粗さ計、原子間力顕微鏡による評価結果を示す。

3.1 触針型表面粗さ計による評価

図2に、各種形状のダイヤモンドにて研磨されたフェライト表面のy方向のプロファイルを示す。試料A~Dはほぼ同

表 2 各種ダイヤモンドによる研磨性状

	A	B	C	D	E	F	
研磨速度(μm/min)	1.057	2.071	1.764	2.200	3.742	1.756	
触針型粗さ計 (nm)							
	平均値 Ra	24	18	16	17	26	25
	X 方向 Ra	32	18	17	16	23	21
Y 方向 Ra	16	17	15	17	29	29	
原子間力顕微鏡(nm)							
	8μm Ra	35.7	31.9	23.1	35.9	70.5	28.1
	80μm Ra	35.0	34.6	0.3	39.5	48.2	56.0

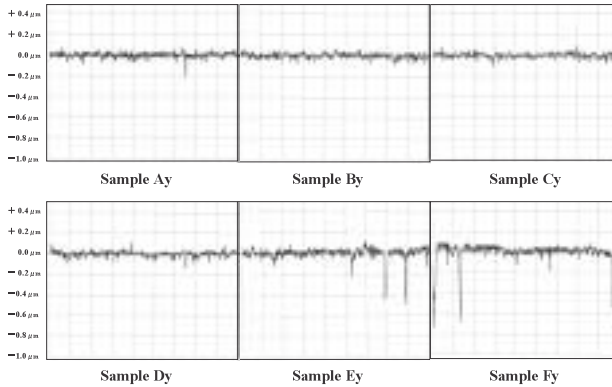


図 2 触針型表面粗さ計によるプロファイル

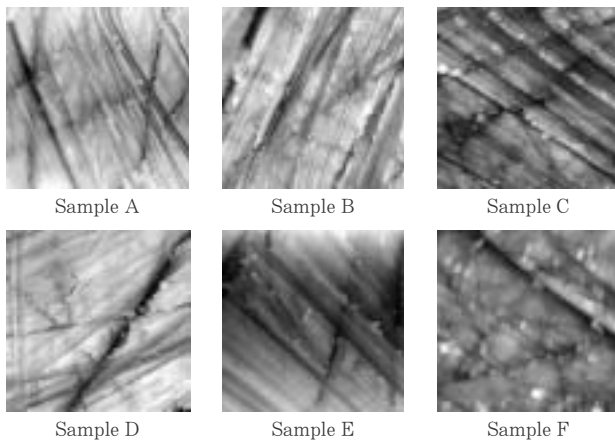


図 3 研磨面のAFM像

様な面の粗さを示しているが、試料 E, F には大きなスクラッチが認められる。

本法の特徴は、直接研磨面に針が接触することにより、ミリサイズでの広範囲な直線プロファイルの評価が可能である。また測定原理上、金属、セラミクス、高分子など様々な素材あるいは複合材料を同等に評価可能である。換言すると、素材の影響を受けずに粗さの測定が可能である。

3.2 原子間力顕微鏡による評価

図 3 に、各種形状のダイヤモンドにて研磨されたフェライト表面(8μm × 8μm)の原子間力顕微鏡イメージ像を示す。データ処理により研磨面を 3 次的に表現することが可能で

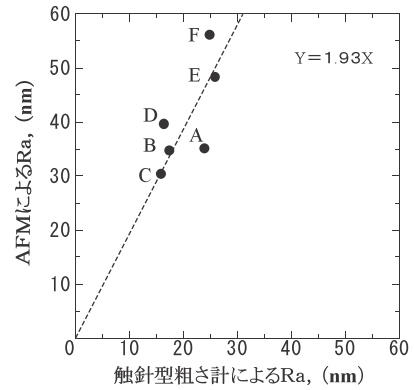


図 4 触針型粗さ計とAFMによる表面粗さの関係

あり、傷の状態すなわち軌跡などから直接観察が難しい界面での遊離砥粒の運動状態もある程度推察が可能である。また、微視的なエリアにおいて高い分解能を有する。

3.3 触針型表面粗さ計と原子間力顕微鏡の関係

図 4 に、触針型表面粗さ計(測定範囲 0.5mm)、原子間力顕微鏡(測定範囲 80μm × 80μm)により測定した表面の平均粗さの関係を示す。測定原理の違いから、表面粗さの大きさが 1 対 1 とはならないものの、両者には良い相関が認められる。また、何れの測定法においても、各砥粒により研磨された面の粗さの順序は同様であった。本試験に用いた砥粒サイズにおいては、平均表面粗さを、50nm まで調製する事が可能であると思われる。

4. まとめ

精密研磨加工に用いられる多結晶ダイヤモンドの研磨特性として被研磨材の表面粗さに着目し、測定原理の異なる触針型表面粗さ計、および原子間力顕微鏡にて精密研磨面の評価技術について検討を行い、以下の知見を得た。

- (1) 触針型表面粗さ計においては、被研磨面のミリサイズの直線から広い範囲のプロファイル評価が可能である。また測定原理上、各種素材を同等に評価可能である。
- (2) 原子間力顕微鏡による評価により、被研磨面の 3 次的表現から、界面での砥粒運動の推察が可能である。また、微視的なエリアにおいては高い分解能を示す。
- (3) 測定原理の異なる触針型表面粗さ計、原子間力顕微鏡による表面粗さの評価により、両者の相関関係が示された。また、両者の測定法を併用する事により、より高精度な評価が可能である。

引用文献

- 1) 今中 治：研磨表面荒さに関する理論解析，電気試験所彙報，126 巻，p.827-832 (1962)
- 2) Yongsong, X. and B. Bhushan：Effects of Particle

- Size, Polishing Pad and Contact Pressure in Free Abrasive Polishing, *Wear*, vol.200, p.281-295 (1996)
- 3) 萩原親作・帯川利之・谷内 浩：形状特徴に基づくラッピング砥粒の評価, *精密工学会誌*, vol.61, 1760-1764 (1995)
 - 4) 尾谷 賢・内山智幸・松嶋景一郎・蓑嶋裕典ほか：粒子形状解析に基づく研磨特性評価, *北海道立工業試験場報告*, No.300, pp85～90 (2001)
 - 5) 尾谷 賢・内山智幸・蓑嶋裕典・篠原邦夫・高屋敷一仁・中尾尚子：高速気流中衝撃法による粒子形状調整因子, *素材物性学雑誌*, 7巻, p.35-45 (1994)
 - 6) 尾谷 賢・蓑嶋裕典・内山智幸・篠原邦夫・高屋敷一仁・浦哲也：粒子形状による粉体物性の変化, *粉体工学会誌*, vol.32, p.151-157 (1995)
 - 7) Otani, M., H. Minoshima, T. Ura and K. Shinohara : Mechanism of Particle Shape Modification by Dry Impact Blending, *Adv. Powder Technol.*, vol.7, p.291-303 (1996)
 - 8) 尾谷 賢・蓑嶋裕典・日野 弥・篠原邦夫：異形粒子形成層の壁摩擦特性, *日本セラミックス協会学術論文誌*, vol.105, p.1099-1102 (1997)
 - 9) 尾谷 賢・内山智幸・荒堀弘造・篠原邦夫：粉碎による粒状素材の粒子形状調整, *粉体工学会誌*, vol.34, p.432-436 (1997)
 - 10) 荒堀弘造, 柴田俊春, 篠原邦夫, 内山智幸, 尾谷 賢, 穂山 勝：粒子形状解析に基づく研磨特性評価, *化学工学論文集*, Vol.26, No.1, p.18-22 (2000)
 - 11) Shibata, T. and K. Yamaguchi : Shift x, y-Coordinate Detection of Line Figures and the Extraction of Particle Shape Information, *Powder Technol.*, vol.81, p.111-115 (1994)
 - 12) Shibata, T., shinohara, K., Uchiyama, T., Otani, M., Lapping performance guide of poly-crystal diamond particles through morphological analysis, *Diamond and Related Materials*, 10, p.376-382 (2001)