

鑄鉄ボンドダイヤモンド研摩工具の製作とその応用

Manufacturing of Sintered Cast Iron Abrasive Tools Containing Diamord Powders and its Applications

萩生田 善 明*・刈 込 勝比古**・中 川 威 雄*

Yoshiaki HAGIUDA, Katsuhiko KARIKOMI and Takeo NAKAGAWA

1. ま え が き

電子工業における機能部品あるいは機械工業における構造部品の開発は、多様な工業材料の進歩により著しく促進されてきている。これらの部品に使用される単結晶材料、ファインセラミックや超硬合金などの難加工材はしばしばサブミクロンの加工が要求され、新しい加工法の導入が必要になる。さきに鑄鉄粉の焼結技術¹⁾を応用して鑄鉄に CBN 砥粒を含有させ、工作物に対して固定砥粒として作用するようにした複合ラップ定盤を試作した。これは平面ラッピングにおいて砥粒を補給せずに永続的な研摩作用が維持され、短時間に優れた加工面が得られる。^{2),3)}

本報では、このラップ定盤にダイヤモンド砥粒 {以下 D 砥粒または ND (天然), SD (人造) と表示} を使用し、さらに微粒の砥粒を含有させる方法を工夫し、安定した研摩能力を有する工具を製作した。これを用いて硬脆材料のラッピング試験を行うとともに、丸棒など曲面を有する工作物に対して超仕上加工を適用し、超仕上工具 (砥石) としての性能を検討した結果をのべる。^{4)~7)}

2. 鑄鉄ボンド研摩工具の製作法

(1) 工具の構成および D 砥粒含有セグメント成形と構成; 複合ラップ定盤は、30×30×10 t のセグメントを φ 210 mm の軟鋼円板上に整列接着したものである。厚さ 10 mm のうち表面層 1.5 mm にのみ砥粒を含有する。図 1 にその外観を示す。また、超仕上砥石は 30×

15×10 t で、ほぼ 1/2 の厚さに砥粒を含有しておりそのまま工具として使用する。何れの場合も、鑄鉄粉と砥粒を混合し、8 ton/cm² の圧力で成形した。焼結はアンモニア分解ガス (H₂+N₂) 中 1140°C で行った。D 砥粒は空気中では 700°C 前後から劣化が始まるとされているので、焼結後の砥粒について X 線回折による結晶性、破砕試験などの基礎実験を行い劣化の生じないことを確かめた。

(2) 砥粒保持力の改良および砥粒粒度の限界; 鑄鉄母地の砥粒保持力は、鑄鉄粉と砥粒の粒度が同程度の場合は鑄鉄粒子間の結合する部分が多いためかなり大きい。砥粒が # 1000 以下の微粒になると鑄鉄粉境界に一樣に分布して焼結を妨げ圧環強さ (または引張強さ) が低下するとともに、空隙に砥粒が顆粒状にかたまり加工中に離脱する原因となる。この傾向は砥粒と鑄鉄粉の粒径比を 1 : 10 以上とすれば緩和されるが砥粒粒度が # 2000 以下になると効果は少ない。

そこで鑄鉄粉と砥粒に微粒の純鉄粉を添加したセグメントの焼結を試みた。これにより鑄鉄粒子の空隙に砥粒、遊離黒鉛および純鉄の混合物が充填され、常用の焼結温度において純鉄と黒鉛の反応により鑄鉄組織が砥粒を包埋した形態が形成されると考えられる。純鉄粉として、カーボニル鉄粉、還元鉄粉、電解鉄粉を試験した結果カーボニル鉄粉が最も効果があることが分かった。図 2 (a) は SD # 2000 7.5 wt%, カーボニル 22.5 wt% 含有のセグメント表面で砥粒は一樣に分布しており、図 2

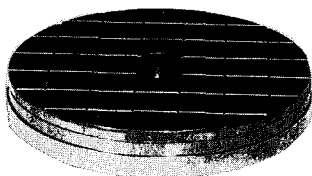


図 1 複合ラップ定盤 (ND # 2000 7.5 wt% 含有)

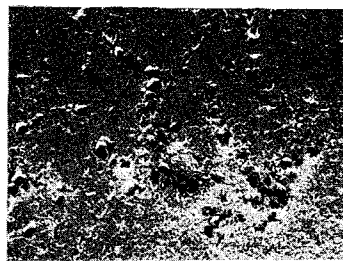


図 2 (a) 複合ラップ定盤表面 (SD # 2000 7.5 wt, カーボニル 22.5 wt% 含有)



図 2 (b) 砥粒の保持状態

* 東京大学生産技術研究所 第 2 部 ** 都立航空高専

研 究 速 報

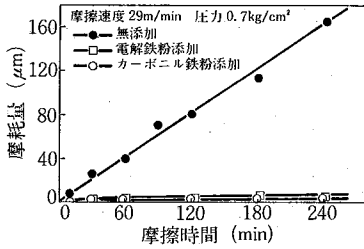
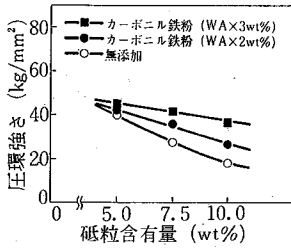


図 3 圧環強さにおける添加剤の影響 図 4 複合ラップ定盤の耐摩耗性の比較

(b)の拡大図では砥粒はパーライト組織で包埋されている。鑄鉄母地が個々の砥粒を保持する力は検出できないが、焼結性のよいセグメントは砥粒保持力が大きく圧環強さの大きさに対応すると思われる。また、保持力が大きく砥粒が離脱しなければ耐摩耗性は増大するはずである。

そこでセグメントの圧環強さおよび耐摩耗性を測定して砥粒保持力の評価を行った。図 3 は、圧環強さと砥粒含有量の関係およびカーボニル鉄粉添加の効果を示す。鑄鉄粉は FC 15 # 200, 砥粒は強度試験なので D 砥粒の代わりに WA 砥粒を用い # 2000, 5, 7.5, 10 wt% 含有, カーボニル鉄粉 (砥粒重量の 3 倍) と (同 2 倍) 添加および無添加の試験片を用いた。これによる圧環強さはカーボニル鉄粉 3 倍量添加の場合が最も大きく、砥粒含有量を増加すると低下することが分かる。図 4 は摩耗試験の結果を示す。試験片は鑄鉄粉 FC 15, 砥粒 SD # 2000 7.5wt% 含有に対しカーボニル鉄粉 (粒径 10 μm, 砥粒重量の 3 倍), 電解鉄粉 (粒径 40 μm, 同 3 倍) および無添加の 3 種類とした。試験片寸法は φ 20×6 t, 対向の摩擦板は WA # 800, 10 wt% 含有, φ 300 の複合ラップ定盤を用いた。図によると無添加試験片は 4 時間 (約 7 km) の走行によってかなり摩耗するが、カーボニル, および電解鉄粉添加の試験片はほとんど摩耗しない。カーボニル鉄粉を添加することにより砥粒保持力が強化され砥粒の離脱がかなり抑制されることになる。上の試験結果に基づき本報では、表 1 に示す複合ラップ定盤および超仕上げ砥石を製作した。# 2000 までの工具は焼結が完全に砥粒保持力も安定している。しかし # 3000 になると砥粒は 5 wt% を含有させることが限度であり、この場合加工中の砥粒離脱はかなり大きくなる。

3. 複合ラップ定盤によるラッピング試験

本報では主に ND # 2000 7.5 wt% 複合ラップ定盤による電子材料のラッピングを行い, ND # 1000 10 wt% 定盤および前報の CBN 定盤と比較しつつ論じる。表 2 に使用した試験片 (超仕上げ試験片も含む), 表 3 にラッピング条件を示す。ラップ量は加工前後に微量天秤 (mg)

表 1 製作した鑄鉄ボンダイダイヤモンド研摩工具

工具種類	砥粒	含有量	カーボニル鉄粉含有量
複合ラップ定盤	ND # 1000	10 wt%	無添加
	ND # 2000	7.5wt%	22.5wt%
超仕上げ砥石	SD # 400	10 wt%	30 wt%
	SD # 1000	10 wt%	30 wt%
	SD # 1000	7.5wt%	22.5wt%
	SD # 2000	7.5wt%	22.5wt%
	SD # 2000	5 wt%	15 wt%
	SD # 3000	5 wt%	15 wt%

表 2 試験片

試験片種類	硬度 (Hv)	前加工方法	前加工粗さ (μmRmax)
シリコンウエハ	750	内周切断機	1.7
水晶	360	多刃式切断機	3.1
サファイア	2100	研削	3.5
YIG (Y・Feガーネット)	900	焼結のまま	2.8
CVG (Ca・Vガーネット)	750	〃	2.0
GGG (Ga・Gdガーネット)	〃	内周切断機	3.0
チタニア	850	研削	6.0
フォスフェライト	800	〃	3.5
アルミナセラミック 96%	1600	研削	1.8
アルミナセラミック 99%	1650	〃	3.5
炭化珪セラミック	2400	〃	1.3
窒化珪セラミック	1460	〃	3.5

表 3 ラッピング条件

項目	摘要
試験装置	ラップマスター型ラッピングマシン
試料ホルダー	80mm
ラップ液	軽油
ラップ圧力 (kg/cm ²)	0.1~3.0
ラッピング速度 (m/min)	平均 16
ラッピング時間 (min)	1~60

または測長機 (μm) により測定し, 表面粗さは触針式粗さ試験機, 表面観察は SEM によった。

(1) 各種複合ラップ定盤の特性; 図 5 は, CBN # 1000 5 wt% 定盤および ND # 2000 7.5 wt% 定盤を用いて超硬合金と炭化珪セラミックを加工した場合のラップ量とラップ圧力および表面粗さの関係を示す。CBN 定盤は超硬合金に対してはラップ量はラップ圧力に比例して増加し良い切味を示し, 表面粗さも 0.2 μmR_{max} である。しかし炭化珪セラミックの加工ではラップ量が極端に低い。これに対し ND # 2000 定盤を用いた場合は粒度が小さいにもかかわらず研摩能力が大きく表面粗さも大差はない。図 6 は, ND # 1000 定盤と ND # 2000 定盤を用いて単結晶 GGG を加工した場合の比較である。ラップ圧力を一定にしてラップ量とラップ距離の関係をみると, ラップ量は後者は前者の 1/2 程度であるが表面粗さは 0.2~0.3 μmR_{max} が得られるので単結晶の加工に適している。図 7 は, ND # 1000 定盤による各材料に対するラップ量とラップ距離の関係を示す。これもラップ液の供給のみで長時間の使用に耐えるが, 材料によって硬度, 結晶粒度, 気孔の有無等加工性に与え

る因子が異なるためラップ量も著しい差異がある。ガーネットのように硬度の低い場合は永続的に使用できる。アルミナセラミックの場合は加工チップが排出し母地鉄鋼を研磨し切刃の自生作用があり長時間使用できる。また炭化硅素セラミック、水晶などは次第に切刃が摩耗するとともにチップが少なく自生作用が期待できない。この場合はD砥粒と同粒度のWA砥粒により短時間湿式ラッピングを行えば切刃は再生し研磨能力は元に戻る。

(3) ラップ圧力とラップ量および表面粗さの関係、加工面の性質； 複合ラップ定盤によるラッピングでは図5でも示されたように、遊離砥粒による場合と異なりラップ量は実用の圧力範囲でラップ量はラップ圧力に比例して増大し、表面粗さの変化が少ないのが特徴である。しかし各材料に対する適切なラップ圧力は、ラップ量、表面粗さおよび加工面の性質を考慮して選定すべきである。図8は、ND # 2000 定盤による電子材料のラッピングにおけるラップ量とラップ圧力の関係を示す。何れも圧力とともにラップ量は増大する。このときの表面粗さはサファイアの場合は、この圧力範囲で変化しないので高い圧力が有利である。水晶も変化しないが表面観察では微小な破砕面があり目的によっては低圧力にする必要がある。GGGの場合は、圧力とともに表面粗さが低下するのでさらに低圧力にすべきである。シリコンの場合は、上向きの曲線となり圧力の増大とともに切削痕の周

研究速報
辺の破砕が多くなることを示す。別の実験によると、静荷重の引かきにおいて切刃1個当たりの荷重を5g以下にすると見掛け上の破砕は生じないのでこの条件を導入すべきである。硬脆材料の加工面の多くは微細な破砕面の連続となるが、複合ラップ定盤による加工では加工条件により塑性流動を含む切削面が得られる。図9は、ND # 1000 定盤によるアルミナセラミックのラップ面である。この形態は金属に類似的な切削面で、表面粗さも破砕面に比較して優れておりポリシング面に近い光沢面となる。

3. 鑄鉄ボンド超仕上げ砥石によるファインセラミックの超仕上げ

曲面を有する材料に対しては工具の効率的利用の見地から超仕上げが最適であるので、ファインセラミックの加工に適用を試みた。試験片は表2の中のセラミックで、φ25×50の丸棒である。実験装置は汎用の超仕上げユニットを旋盤の刃物台に固定したもので、トラバース往復加工2~5回を標準とした。実験条件を表4に示す。

(1) 超仕上げ工具(砥石)の耐久性； 超仕上げ工具はラップ工具に比較して、工作物に作用する面積が極端に小さく、工作物が何れも硬度が高いためD砥粒の摩耗が著しい。それゆえ、切刃の自生作用の有無、ドレッシングの方法などが実用上重要な要素である。永続的な切刃の構成は砥粒先端と母地との段差を維持することであ

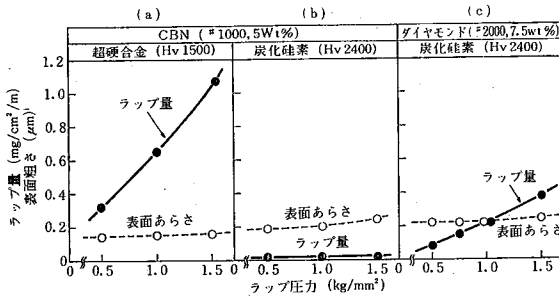


図5 各種試験片に対する複合ラップ定盤の性能比較



図9 アルミナセラミックラップ面 (ND # 1000 複合ラップ定盤使用)

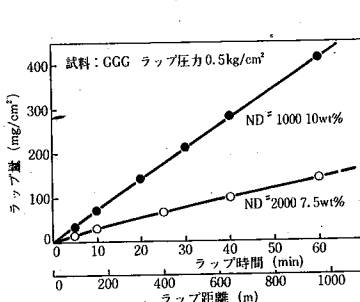


図6 ND # 1000 と ND # 2000 複合ラップ定盤のラップ量の比較

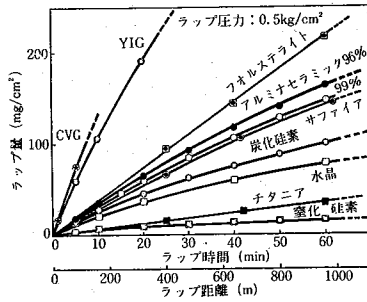


図7 各材料に対するラップ量とラップ距離との関係 (ND # 1000 10 wt% 定盤)

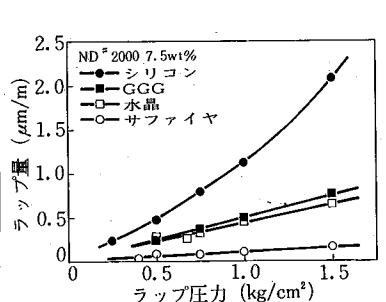


図8 ラップ量とラップ圧力の関係

研 究 速 報

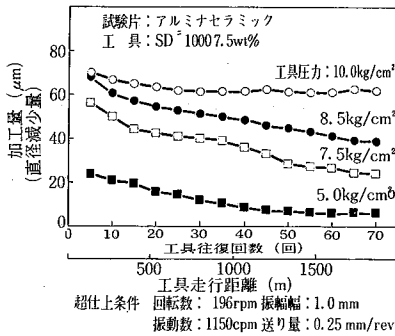


図10 超仕上砥石の耐久性

表 4 超仕上条件

項 目	摘 要
旋盤主軸回転数 N (rpm)	118 196 300
超仕上ユニット振動数 n (cpm)	950 1150 1350
超仕上ユニット振幅 a (mm)	0.2 0.5 1.0 2.0
平均加工速度 \bar{v} (m/min)	9.8~24.9
最大傾斜角 (度)	2.7~25.6
走行距離(切削長) (m)	26~1860
工具(砥石)圧力 (kg/cm ²)	3~15
超仕上液	軽油
添加砥粒	WA # 2000, WA3000 (20wt%)

る。図 10 は、アルミナセラミックの超仕上を行った場合で、加工圧力が小さいと加工作用は時間とともに低下するが、圧力が 10 kg/cm² 以上ではラップ定盤の場合と同様だえ加工チップを排出して切刃の自生作用を保持する。これに対し炭化珪素および窒化珪素の場合は自生作用が不十分である。実用的には工具の曲率半径と等しい鑄鉄丸棒を使って WA 砥粒により湿式ラッピングを行えば加工作用は回復する。あるいは加工中に工作物より軟質の砥粒を加工液とともに滴下すれば表面粗さを余り損わずに永続的な加工を行うことができる。

(2) 工具圧力と加工量； 図 11 はアルミナセラミックにおける工具圧力と加工量の関係を示したもので、加工量は圧力に比例して増大するが低い圧力で 0 になる点がある。これは超仕上ではかなり大きい加工圧力を必要とすることを示す。15 kg/cm² 以上では表面粗さは低下し工具の摩耗も大きくなる。金属の超仕上における臨界圧力と異なるがセラミックの超仕上における加工圧力は 5~10 kg/cm² が適当である。

(3) 最大傾斜角および超仕上速度と加工量の関係；セラミックの超仕上においては最大傾斜角 15° までは角度を増加すると加工量は増大するがそれ以上では飽和する。表面粗さは小さい角度においては優れた結果が得ら

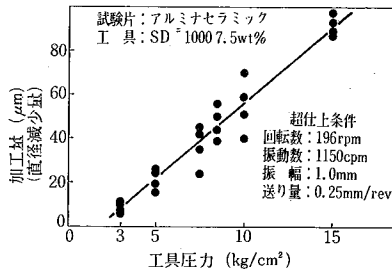


図11 加工量と工具圧力の関係

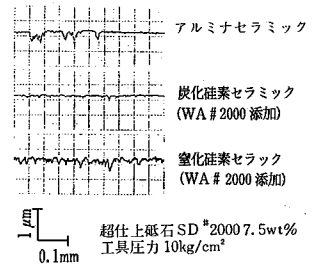


図12 超仕上加工面の粗さ曲線例

れる。最大傾斜角および走行距離を一定にした場合の平均仕上速度の影響は、速度の増加とともに加工量は増大する。

(4) 表面粗さ； SD # 2000 の超仕上砥石を使用した場合の表面粗さ曲線を図 12 に示す。炭化珪素セラミックで 0.2 μmR_{max} 程度の加工面が得られ、目つぶれの状態では、さらに優れた光沢面が得られる。アルミナセラミックの場合は気孔以外の面は平坦になるが気孔を中心に破砕が生じる傾向がある。

5. ま と め

鑄鉄ボンドダイヤモンド研摩工具の砥粒保持力を強化することにより安定した複合ラップ定盤および超仕上砥石として種々の形状の硬脆材料の加工に利用できることを明らかにした。今後は円筒内面その他の加工用として利用範囲の拡大をはかり、おのおのの材料に対応した加工条件を明確にする予定である。

終りに、実験装置について種々ご援助を賜った佐藤壽芳教授に深く感謝いたします。また実験に協力された金田 敦、中地正行の両君に謝意を表します。

(1982年3月24日受理)

参 考 文 献

- 1) T. Nakagawa and C.S. Sharma: Modern Development in Powder Metallurgy p. 347, Pro's of the 1976 Int'l Powder Conf.
- 2) 萩生田, 刈込, 中川: 生産研究 Vol. 32, No. 11, p. 551
- 3) 萩生田, 刈込, 中川: 昭 55, 精機学会秋季講演論文集 p. 692
- 4) Y. Hagiuda, K. Karikomi and T. Nakagawa: Annals of the CIRP Vol. 30/1/1981, p. 227
- 5) 萩生田, 刈込, 中川: 昭 56, 精機学会春季講演論文集 p. 762
- 6) 萩生田, 刈込, 中川: 昭 56, 精機学会秋季講演論文集 p. 413
- 7) 萩生田, 刈込, 中川: 昭 57, 精機学会春季講演論文集 p. 381