

鑄鉄—砥粒焼結ラップ工具の試作

The Sintered Cast Iron Lapping Tool Containing Abrasives

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

ラッピングはラップ工具(定盤)と被加工材との間に砥粒を介在させ摺動により研磨する工法である。そのうち乾式ラッピングはラップ工具に砥粒を埋め込み固定砥粒にして加工を行うものである。この場合は高精度と光沢が得られるが研磨作用は次第に失われる。

本研究は、固定砥粒の研磨作用が永続的に保持され、砥粒の補給を必要としないラップ工具を製作し、その効果を検討しようとするものである。そのためラップ工具の材料で常用されている鑄鉄に砥粒を含有させる方法として、既に開発した鑄鉄粉の焼結技術¹⁾を応用した。すなわち、まず鑄鉄粉とアルミナ(WA)砥粒を混合して焼結した複合材について成形性と機械的性質をしらべ、次いで数個の複合ラップ定盤を製作して金属に対するラッピング試験を行った。²⁾更に研磨能が優れ鑄鉄との焼結に適合するCBN(Cubic boron nitride)砥粒を5wt%と10wt%を含有するφ140の複合ラップ定盤を試作した。図1にその外観を示す。この定盤は30×30×10tの焼結材セグメントを円盤上に整列接着し構成したもので厚さ10mmのうち砥粒を含有する部分は1.5mm、10wt

%の場合の砥粒必要量は16gである。

この定盤を使ってシリコン、水晶、セラミック及び超硬合金に対するラッピング試験を行った。³⁾その結果、表面粗さにおいて数μmのダイヤモンド砥粒のラッピングに匹敵し、研磨能も優れていることが分かった。また高価な砥粒の消費を最小限度に止めることが期待できる。

2. 実験方法

(1) ラップ工具の製作 母地となる鑄鉄粉はハンマーミルで粉碎したFC15で化学成分及び粒度分布を表1に示す。使用した砥粒はWA#320, #800, #1200, #3000, 及びCBN#1200(12μm-22μm)である。ラップ定盤の構成単位であるセグメント材の製作は、粉末の混合→成形→焼結の順序の行程によった。焼結は水素—窒素の還元雰囲気中で行った。機械的性質を調べるための試験片は成形圧力6~8 ton/cm², 焼結温度1125~1150℃, 焼結時間30~60分の範囲で作製し、圧縮試験および引張試験に供した。ラップ定盤の製作には、成形圧力8 ton/cm², 焼結温度1125℃, 焼結時間30分を採用した。ラップ定盤の仕上げは、平面研削→湿式ラッピング(ラップ定盤と同一粒度)→ポリシングの順に行った。

(2) ラッピング試験方法 表2に使用した試験片、表3にラッピング条件を示す。試験機はφ300またはφ140の定盤を取り付けるようになっており無段変速機構をもつ。試験片は大部分10mm角でφ80のホルダーに3個接着し、φ140の複合ラップ定盤上でベルトにより駆動される。ラップ量は加工前後に微量天秤により重量(mg)、デジタルダイヤルゲージにより厚さ(μm)の変化を測定した。表面粗さは触針式粗さ試験機(先端5μmR, 縦倍率5,000, 20,000, 横倍率100)を用い、表面観察はSEMによった。

表1 鑄鉄粉の粒度分布及び化学成分

粒度分布(%)	>#60	#60-100	#100-200	#200-300	<#300
	4.3	20.9	42.5	10.4	21.9
化学成分(%)	C	Si	Mn	S	P
	3.55	2.69	0.45	0.01	0.02

図1 鑄鉄—CBN焼結複合ラップ定盤

*東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

表2 試験片

試験片種類	前加工方法	前加工粗さ ($\mu\text{m} R_{\text{max}}$)
シリコンウェハ Si 単結晶	内周切断機	
水晶 SiO_2	スライシング	1.7
	多刃式切断機	3.1
アルミナセラミック Al_2O_3	研削 SDC200	1.8
	R75 B41	
" " 96%	"	3.5
" " 99%	"	3.5
窒化珪素セラミック Si_3N_4	"	3.5
炭化珪素 " SiC	"	1.3
サーメット $\text{TiC} + \text{TiN}$	#800 湿式ラッピング	0.7
超硬合金	"	1.3

表3 ラッピング条件

項目	摘要
試験装置	回転円盤型ラッピングマシン
ラップ CBN 5 wt%	ϕ 140 回転数 50 r. p. m
" 10 wt%	
試料ホルダー	ϕ 80 逆回転, 回転数 34 r. p. m
ラップ液	軽油
ラップ圧力 (kg/cm^2)	0.25, 0.5, 1.1
ラッピング速度 (m/min)	平均 16
ラッピング時間 (min)	0.25, 0.5, 1, 2, 3, 10, 20, 30, 60, 90

3. 実験結果

(1) ラップセグメント材の機械的性質と選定条件

焼結複合材の機械的性質に及ぼす因子として、成形圧力、焼結温度、焼結時間などの他に砥粒の種類と粒度及び含有率があげられる。図2は圧環強さに対するこれらの因子との関係を示す。(引張強さも類似の関係にある)成形圧力はセグメントの寸法によっても異なるが、8 ton/cm²において Lamination crack が現れないように見える。焼結温度は 1150°C では 1125°C に比較して強さは大きい冷冷却後にひずみが残る傾向があり、特に砥粒含有層と非含有層の二重層をもつとき著しい。焼結時間は30分と30分では60分の方が若干強さが大きい、焼結炉の焼結サイクルを設定する上で30分が都合がよい。これらの関係を考慮してラップセグメントには前述2.の成形圧力と焼結条件を選んだ

砥粒含有率が大きい程圧環強さが低くなるのは、砥粒と金属は接着が行われず単に機械的に混合されているためと考えられる。しかしラップ工具では 10 wt% 程度の含有率は必要である。また砥粒粒度との関係は、粒度の大きい WA #320 の場合は鑄鉄粉境界が現れずに砥粒が一様に分布していることが SEM により観察され、鑄鉄粉相互の密着が強固で圧環強さが大きいことを裏付けている。粒度が小さくなるにつれて強さが減少するのは、たとえば #1200 程度の砥粒では鑄鉄粉境界に沿って一様に分布するようになり、鑄鉄粉相互の密着を妨げ圧環強

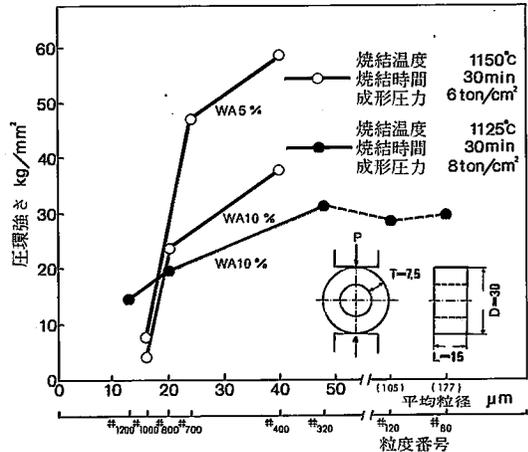


図2 焼結複合材の圧環強さ

さ低下の原因になると考えられる。しかしラップ工具の機能からみると境界はラップ液のたまりとなり離脱した砥粒の停留のため必要なので、砥粒の粒度は鑄鉄粉のそれに対し1けた小さい程度が鑄鉄平面と砥粒切削との適切な比を与えるように見える。すなわち現用の鑄鉄粉に対しては #1200 が適当であり、精密加工用としての条件も備えているので、CBN 含有の複合ラップ定盤に採用した。#3000 の粒度になると砥粒は顆粒状にかたまり僅かの摺動で離脱するので、この場合は鑄鉄粉を選別して微粒を使用する必要がある。

ラップ工具に使用される一般の鑄鉄の特性は、適当な硬度と靱性により耐摩耗性をもちしかも工作物にカジリを生じないことである。焼結した鑄鉄の母地はパーライトと遊離炭素+フェライトの混合の相であり、耐摩耗性をそなえているが多孔性により硬度は若干劣る。砥粒含有の複合鑄鉄は多孔性がさらに増加して脆くなるが、耐摩耗性は前二者よりはるかに優れている。

(2) 鑄鉄-CBN 複合ラップ定盤の特性 鑄鉄に WA 砥粒を含有させた複合ラップ定盤は金属材料のラッピングに効果があり、鋼に対して同一の粒度の湿式ラッピングの 1/3 程度の表面粗さとなり光沢も優る。²⁾

ここでは CBN #1200 を 10 wt% 及び 5 wt% 含有する複合ラップ定盤の特性についてのべる。図3はこのラップ定盤の初表面を示す。砥粒は鑄鉄粉境界に網目状に分布しており同一粒度の WA 砥粒の湿式ラッピングにより目立てが行われ CBN 砥粒が母地より僅かに突出している。

複合ラップ定盤によるラッピングは砥粒の補給をしないので耐久性を重視する必要がある。ここで耐久性とは砥粒の突出状態が持続して切刃を構成することを意味する。それ故長時間ラッピングを行い加工量を測定するこ

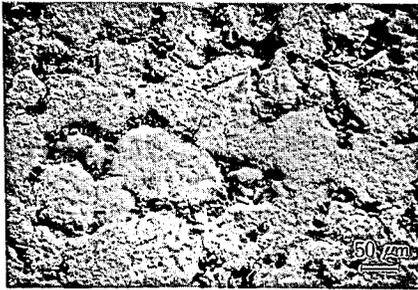


図3 CBN #1200 10 wt%複合ラップ定盤表面

とによって耐久性を評価することができる。

図4(a)はラップ圧力を0.5 kg/cm²と一定にした場合のアルミナセラミック試験片のラップ量の時間的推移を寸法減量で示したものである。かなり長いラップ距離にわたりラップ量が減少しないことが分かる。これは硬くて脆い工作物の微細なチップが鑄鉄母地を一樣に研磨し一種の切刃の自生作用を生じるものと考えられる。5%の定盤は時間とともにラップ量はやや減少する。これは砥粒の先端の摩耗が影響するものと思われる。10%の定盤ではラップ量はほぼ一定であり砥粒1個当たりの負荷が少ないことを示唆する。また同一距離において10%の定盤のラップ量は5%のその2倍になる。これは定盤の表面に分布する砥粒の切刃が有効に作用するため複合ラップ定盤によるラッピングは遊離砥粒の場合に比較すると砥粒の挙動は単純であるといえる。

図4(b)は超硬合金に対する場合である。5%の定盤では160mのラップ距離で研磨能力が急速に低下することを示す。これは硬質金属の場合目づまりを生じるためと考えられる。10%の定盤の場合に長時間持続することを示すのは、切刃の分布の多いことその他に、圧環強さの低いことで分かるように空孔率が高く母地の除去が多いためであろう。しかしセラミック試験片に対するときのような切刃の自生作用は期待できず、この場合には有効な修正リングの準備が必要である。

水晶の試験片に対してはセラミックと超硬合金の場合の中間の挙動を示した。この場合もラップ量は10%の定盤は5%のその2倍になった。

(3) 複合ラップ定盤によるラッピング面の表面粗さ

CBN複合ラップ定盤によるラッピングの各種材料に対する共通した利点は、ラップ時間1分(距離16m)以内に表面粗さが急速に向上し粗さ曲線が飽和に達することである。これはCBN砥粒の研磨能力が優れていることと、固定砥粒は遊離砥粒にくらべて個々の砥粒の作用行程が長いことによるものであろう。図5(a)はセラミック類を0.5 kg/cm²のラップ圧力で5%のラップ定盤を使用した場合の表面粗さの時間的推移を示す。セラミ

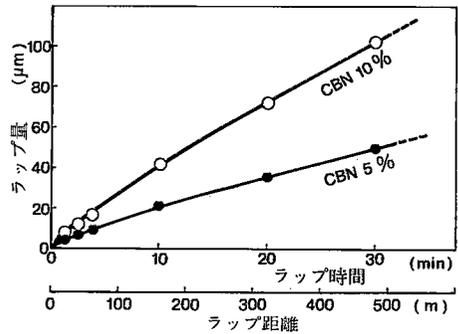


図4(a) ラップ定盤の耐久性からみたラップ量 (アルミナセラミック)

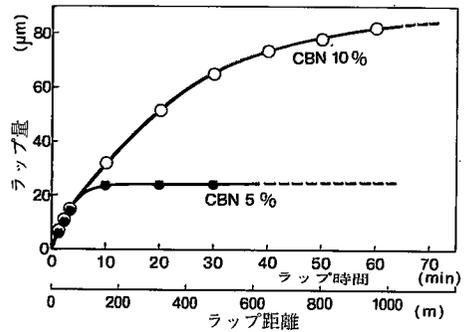


図4(b) ラップ定盤の耐久性からみたラップ量 (超硬合金)

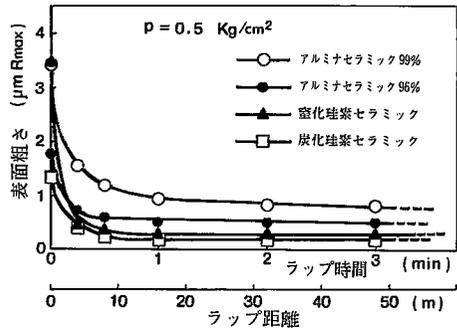


図5(a) 表面粗さとラップ距離の関係(1)

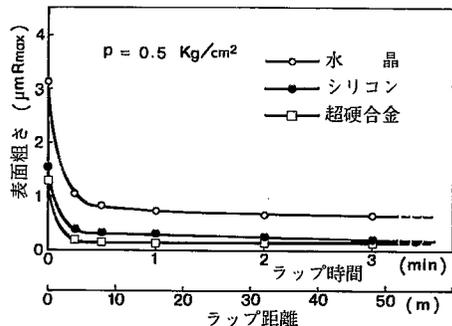


図5(b) 表面粗さとラップ距離の関係(2)

研究速報

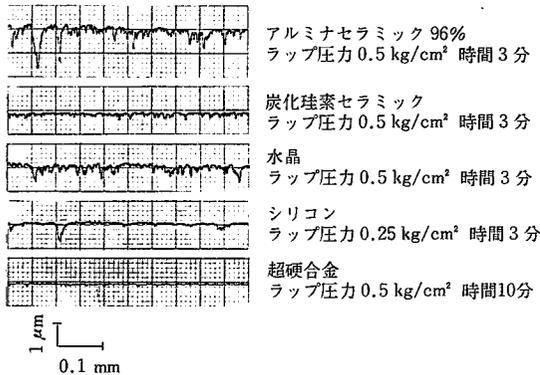


図6 粗さ曲線例(いずれもCBN 5% ラップ定盤使用)

ック類はラップしても気孔は消失せず材質により形態が異なるので、表面粗さの測定結果は気孔の落ち込みを除いて表示する。図によると炭化珪素が最良の値を示し $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m} R_{\text{max}}$ である。この場合は気孔は浅く加工面は微細な破砕面が平坦化し引かき痕が殆んどないことがSEMにより観察された。窒化珪素の粗さはこれに次ぎ加工面は平坦であるが比較的大きい気孔が一様に分布している。アルミナはやや劣り純度96%で $0.5 \mu\text{m}$ 、純度99%で $0.8 \mu\text{m}$ であった。サーメットは炭化珪素に近い値であった。各材料の硬度、粒度、気孔などの特性により砥粒で研磨される過程が異なり特有の表面粗さを示す。

図5(b)はシリコン、水晶および超硬合金に対する結果である。シリコンは $0.2 \mu\text{m}$ まで平坦化が進むが $1 \mu\text{m}$ 程度のクレータを生じる。これは少数の粒度の大きい砥粒の引かき痕と考えられる。水晶の表面粗さは $0.6 \mu\text{m}$ でクレータも生じる。単結晶のラッピング面に生じるクレータはこれを極小に止めるため、ラップ圧力、砥粒粒度の平均化などの対策を検討する必要がある。

超硬合金のラッピング面は特に良好で、ラップ距離をやや延ばして160 m程度にすると表面粗さは $0.1 \mu\text{m}$ まで向上し優れた光沢が得られた。SEMで観察すると二

種の金属相が現れ非常に平坦であるが微小な切削痕を残す。金属の場合は摩擦による平滑作用も加わると考えられる。

図6は各材料の粗さ曲線の例を示す。セラミックではアルミナの気孔の影響は大きく、炭化窒素のそれは目立たない。また水晶とシリコンでは表面粗さもクレータの性質も異なる。これらの曲線を見ると、同一種類の複合ラップ定盤で種々の材料を加工することは不利であり、各々に適正な砥粒の種類、粒度および含有率のラップ定盤を準備することが望ましい。

4. あとがき

砥粒を含有させたラップ工具という考えから鑄鉄—砥粒焼結のラップ定盤を試作した。特にCBN含有のラップ定盤について実験を行い、一定の条件の下で切刃の自生作用の生じることが見出され、広範囲な材料の加工に有効なことが分かった。今後ダイヤモンドを含む各種砥粒の鑄鉄に対する焼結性を明らかにすれば、材料の性質に適合するラップ定盤を製作することが可能である。

おわりに、ご教示をいただいた千葉工大 松永教授、砥粒および材料についてご援助を賜った大阪ダイヤモンド工業(株) 玉置社長、吉永部長、市原課長並びに不二越機械工業(株) 市川副社長、井村賢氏に感謝いたします。また実験に協力された本田恒之、越川典昭、古屋裕美、松原利光の諸君に謝意を表します。

(1980年8月22日受理)

文 献

- 1) T. Nakagawa and C. S. Sharma: Modern Developments in Powder Metallurgy p347, Pro's of the 1976 Int'l-Powder Conf.
- 2) 萩生田, 中川: 昭55, 精機学会春季大会講演論文集 p763
- 3) 萩生田, 刈込, 中川: 昭55, " 秋季大会講演論文集 p. 692