鑄鉄ボンダイヤモンド砥石の製作*

萩生田 善明** 刈込 勝比古*** 中 川 威 雄†

Manufacturing Process of a Cast Iron Bonded Diamond Grinding Stone

Yoshiaki HAGIUDA, Katsuhiko KARIKOMI and Takeo NAKAGAWA

A diamond grinding stone bonded by sintered cast iron powder as the matrix has been developed. This stone was applied to lapping, superfinishing, honing and grinding, and showed a highly improved grinding ability especially for hard and brittle work materials. This paper describes the manufacturing process of the stone and some results of the experiments concerning the stone materials. Diamond abrasives are mixed with cast iron powder and carbonyl iron powder which is added in order to get strong abrasive retention. This mixture is compacted into a grinding stone by press forming or roll forming process and then sintered 1140°C for 30 minutes in an ammonia cracking gas atmosphere. As the result, the diamond particles are distributed uniformly and bonded firmly in the cast iron matrix which consists of pearlite, ferrite and flake graphite, so that the grinding property of the stone is improved and the dressing becomes relatively easier. The effects of the size and the content of the abrasive and the amount of the carbonyl iron powder are discussed from the mechanical properties of the grinding stone estimated by radial crushing strength test and bending test. It has been found that the residual quantity of the diamond at the sintered temperature is about 84 wt%.

Key words: diamond grinding stone, cast iron powder, carbonyl iron powder, machanical property, residual diamond

1. 緒 言

セラミックスや超硬合金のような高硬度材料の研削及び研磨に用いられるダイヤモンド砥石において、結合剤の適否は研削能率、研削比の優劣や工作物の形状精度に影響を及ぼし砥石製作上の重要な要素である。

本研究は、鑄鉄を結合剤として硬ぜい材料の研削及び研磨に適した鑄鉄ボンダイヤモンド砥石を開発したもので、従来のメタルボン砥石の特性を改善し種々の分野に適用できる砥石に発展させることを目的とする。現在、マシニングセンタによる複雑形状のセラミックスの高能率研削加工に本砥石が利用され良好な結果を得ており¹⁾、更にグラインディングセンタ加工へ進展している。

鑄鉄は高強度でぜい性があり、自己潤滑性又は耐焼付性も具備している。鑄鉄ボン砥石は目づまりを生じ難くドレッシング性も良好であり、研削比は著しく

高く優れた表面粗さが得られる。しかも鑄鉄母地は他のメタルボン砥石に比べて被研削性がよいため、加工中に適度の自動目立てが行われ、研削比を落とすことなくドレッシングなしで長期の加工を行うこともできる。

本報では、本砥石の開発過程で行った製作法について研究結果を述べる。

2. 砥石研究の経過

鑄鉄ボン砥石の研究の発端は、鑄鉄の焼結技術²⁾を応用したCBN又はダイヤモンド砥粒を含有した固定砥粒ラップ定盤の製作で、これを用いて硬ぜい材料に対する特性を調べ遊離砥粒の場合より良好な加工面が得られることを報告した³⁾。鑄鉄地の最初の改良は焼結促進剤としてカーボニル鉄粉を添加して砥粒保持力を強化したことである。この結果、微粒の砥粒の使用範囲を広げることができ、電子材料のラッピング、セラミックスの超仕上、超硬合金のホーニングなどの精密加工の研究を行った⁴⁾。この間、焼結中のダイヤモンドの損耗の少ないことを明らかにした⁵⁾。また圧延成形によって1mm以下のシート状砥石を製作した⁶⁾。

研削砥石の研究は、まず強度と経済性を考慮して砥

* 原稿受付 昭和61年10月13日、昭和56年度精機学会春季大会学術講演会(昭和56年3月28日)にて発表

** 正 会 員 千葉工業大学(習志野市津田沼2-17-1)

*** 正 会 員 東京都立航空工業高等専門学校(東京都荒川区南千住8-53-1)

† 正 会 員 東京大学生産技術研究所(東京都港区六本木7-22-1)

Fig. 1 Manufacturing process for cast iron bonded diamond grinding stone

Fig. 2 Sequence of chemical analysis of residual diamond after sintering

石層と鑄鉄層の二層の砥石の製作法を確立すると共に⁷⁾、砥石構成材料についても、砥粒粒度、集中度及びカーボニル鉄量の砥石性質に与える影響を調査し研削用砥石としての性能向上に努めた⁸⁾。これらの砥石はセラミックス及び超硬合金について研削実験を行った結果、研削抵抗が高い欠点が認められたが、研削条件によってはレジノイドボンダイヤモンド砥石や青銅ボンダイヤモンド砥石に比べて優れており、特にクリープフィード研削に有効なことがわかった⁹⁾¹⁰⁾。更に切れ味を改良するためガラスフィラーを添加した砥石も製作した¹¹⁾¹³⁾。

3. ボンド用鑄鉄地と構成材料の検討

本節では、砥石の構成要素である鑄鉄地及び砥粒の製作工程における挙動と特性について実験を行い、研削性能を左右する因子について検討した。すなわち、鑄鉄地の強度と砥粒保持力の向上及び切れ味とドレッシング性の調整を行い、またこれに先立ち焼結過程におけるダイヤモンドの損耗について調査した。

3.1 砥石の製作工程及び構成材料

図1に鑄鉄ボンダイヤモンド砥石のプレス成形法及び圧延成形法による製作工程を示す。まず鑄鉄粉、カーボニル鉄粉及び砥粒を混合する。使用した鑄鉄粉はFC15で²⁾³⁾、カーボニル鉄粉は粒径10 μm 以下31%、5 μm 以下68%の分布をもつ純鉄粉である。砥粒はダイヤモンド、CBN、アルミナなどいずれの砥粒も使用できる。成形はプレス成形法では、工具の種類により金

型を選定し成形圧力800 MPaで行う。焼結はアンモニア分解ガス($3\text{H}_2 + \text{N}_2$)中1140 °Cで30 minを標準とし、予熱及び冷却工程各30 minを加えて焼結サイクルとしている。

圧延成形法においては、成形前に圧延に耐えるシートを製作するため、予備焼結として黒鉛棒中に砥石材料を充てんし前述の雰囲気中1080 °Cで20 min行う。実験における圧延はロール径127 mm、ロール回転数21.4 rpm、3.7 kWの圧延機を使用し、総圧下率1/2になるまで数回行った。終結時の圧延圧力は単位幅当たり35 kNであった。本焼結はプレス成形の場合と同一の温度で行うが時間は若干短縮できる。焼結の際、圧延した砥石材を黒鉛板に挟み変形を矯正しひずみを除去する。焼結後は形状寸法を整えドレッシングを行う。

3.2 焼結時のダイヤモンド砥粒の損耗⁵⁾

ダイヤモンドは空気中600 °Cで酸化が始まり、真空中1400 °Cで黒鉛に変態、鉄に接している場合は1000 °Cで黒鉛化が進むとされている。そこで還元雰囲気中での鑄鉄の焼結温度範囲における砥粒の損耗とカーボニル鉄の影響を調査した。

ダイヤモンド損耗の定量分析は図2に示す順序で行った。化学天びんでひょう量したSD #1000砥粒と鑄鉄粉及びカーボニル鉄粉を混合し、1.5 mmの砥粒層と鑄鉄のみの層を合わせた厚さ10 mm、30 mm角の形状に成形し水素雰囲気中で焼結した。温度1080 °C、1140 °Cの2種と、時間5、30、180 minの3種の組

Table 1 Amount of residual diamond after sintering

Specimen	Sintering temperature °C	Sintering time min	Amount of residual diamond wt%
SD # 1 000, 7.5 wt%	1 080	5	88.4
Carbonyl iron, 22.5 wt%	1 080	30	83.7
Cast iron, 70.0 wt%	1 080	180	71.3
	1 140	5	86.6
	1 140	30	84.6
	1 140	180	30.8
	1 200	10	35.8
SD # 1 000, 7.5 wt%	1 140	30	46.7
Carbonyl iron, 92.5 wt%			

合せ及び 1 200°C の液相とした。焼結後砥粒層を含めた 2 mm の板を残し分析用の供試体とした。またカーボニル鉄のみの試料も準備した。これを図に示す処理の後残留ダイヤモンドをひょう量した。

焼結の前後におけるダイヤモンドの分析結果を表 1 に示す。残留値は突沸や落失の誤差のため低い値になる場合がある。表によると焼結時間 30 min では 1 140°C において 84% 以上の残留を示し、180 min では 30% を残すのみである。1 080°C では 180 min でも 70% は残留する。また 1 200°C では 10 min で急激に損耗し残留量は 35% に過ぎない。更にカーボニル鉄の試料では 1 140°C、30 min で 50% 以上が損耗する。ダイヤモンドの黒鉛化反応は純鉄中より铸铁中の方がはるかに緩やかである。これは铸铁が炭素を飽和していることによるもので、砥石母地に铸铁を用いることが妥当であることを示す。焼結温度 1 100~1 140°C において砥石機能は保持されるが、カーボニル鉄の過大な添加は避けるべきである。

3.3 砥粒保持力の強化

本砥石を製作した当初は、砥石母地に不可欠な砥粒保持力が不十分であった。砥粒と铸铁は物理的結合であるので砥粒保持力は金属間の結合の強さに依存する。

砥粒粒径が铸铁粉平均径の 1/10 以上で集中度が適切であれば、铸铁粒子間の結合が比較的強固で砥粒分布の平衡が得られる³⁾。しかし砥粒が微粒の場合は铸铁粒子間に多量に介在し結合を妨げる上、気孔に顆粒状にかたまり、加工中に脱落する原因となる。そこで純鉄粉を添加して焼結すれば気孔に存在する黒鉛と反応すると共に砥粒が保持され、確実に切れ刃の集団として形成されることが期待できる。铸铁地が個々の砥粒を保持する力を検出することは難しいが、焼結の良好な砥石材は強度が高く、砥粒が脱落しなければ砥石の耐摩耗性が大きいので、これらの値について、カー

ボニル鉄粉と電解鉄粉を比較して砥粒保持力を評価した。

砥石材の強度は圧環強さ、 $K = P(D - T)/LD^2$ で表した。ここで、 P は加圧力とし、試験片寸法は、外径 $D = 30$ mm、外径と内径の差 $T = 7.5$ mm、幅 $L = 15$ mm とした。铸铁粉は # 200 パス、砥粒は強度試験なので WA # 2 000 を使用し、含有量 5, 7.5, 10 wt% の 3 種、純鉄粉添加量は砥粒量に対する倍率で表し、カーボニル鉄粉（砥粒量の 3 倍と 2 倍）、電解鉄粉（同 3 倍）及び無添加の試験片を用いた。図 3 は純鉄粉添加による強度の変化を示す。圧環強さはカーボニル鉄粉の 3 倍量添加の場合が最も大きく砥粒量を増加したときの低下の程度が少ない。電解鉄粉添加の場合は無添加に比較してかえって低い結果になった。これは粒径（平均径 40 μ m）が大きく形状が扁平である上、カーボニル鉄より黒鉛との反応が鈍く境界付近の強度が低いためであろう。

摩耗試験は、SD # 2 000, 7.5 wt% の砥粒量に対しカーボニル鉄粉（砥粒量の 3 倍）、電解鉄粉（同 3 倍）及び無添加の 3 種の試験片を用いた。対向の摩擦板は WA # 800, 10 wt% の固定砥粒ラップ定盤を用いた。図 4 は試験結果を示す。無添加の場合は 4 h (約 7 km) の走行でかなり摩耗するが、カーボニル鉄粉及び電解鉄粉添加の場合はほとんど摩耗しない。

上の結果から、カーボニル鉄を添加した铸铁は高強度と共に、砥粒の脱落が抑制されて砥粒保持力の強化を示し、砥石母地に適合していることが推定できる。

図 5 (a) は本砥石の組織を示す。铸铁地はパーライト、フェライト及び片状黒鉛の組織であり、このよう

Fig. 3 Effects of addition of carbonyl iron and electrolytic iron on radial crushing strength

Fig. 4 Depth of wear of grinding stone with SD # 2 000 7.5 wt% diamond

(a) Distribution of diamond particles

(b) Enlarged view of the surface showing diamond particles enveloped by pearlite matrix

Fig. 5 Surface photographs of cast iron bonded diamond grinding stone
Diamond particle; SD # 2 000, 7.5 wt% (14.6 vol%), Carbonyl iron powder; 22.5 wt%

に砥粒が一樣に分布していることが望ましい。図5

Fig. 6 Effect of carbonyl iron content on hardness and bulk density of cast iron matrix

(b) は拡大図で、黒鉛と純鉄の反応により生成したパーライトが砥粒を包埋保持していることがわかる。

3.4 砥石強度に影響を及ぼす要因

本砥石の鑄鉄地は高強度であり、その主因の一つは以前の研究に基づいて²⁾³⁾、成形圧力 800 MPa の高圧力を採用したことで、他は砥石母地の適性を高めるためカーボニル鉄を添加したことにある。図6はカーボニル鉄を添加した焼結鑄鉄の硬さ及びかさ比重の変化を示す。硬さはカーボニル鉄量 51.2 wt%, C 1.73 wt% の鑄鉄の限界まで増加し、それ以上では低下し鋼の性質に近くなる。顕微鏡観察ではカーボニル鉄の増加と共にフェライトとパーライト地の中に存在する黒鉛の量と形状が小さくなり、気孔が埋められた部分には点状に析出する。かさ比重はカーボニル鉄の増加と共に大となり炭素量の低下と気孔の減少を示すが、C 1.24 wt% でも 7.0 以下で焼結鑄鉄の特徴を表す。

本砥石の強度は砥粒粒度及び含有量（集中度）などの要因により変化する。これらの条件について調べると共に、圧延成形の場合の成形圧力について検討した。

図7は圧延圧力を変化させて製作した WA 砥粒を含有したシート状砥石を用いて曲げ強さとの関係を調べたものである。試験片は 40×10×0.8t mm とし、支点間距離 30 mm の集中荷重方式で曲げ試験を行った。図に示すように平均圧延圧力の増加と共に曲げ強さは増加する。砥石製作では平均圧延圧力 1 400 MPa を常用しているが、容易に折損しない強さである。

次に砥粒の含有条件による砥石材の強度の変化を調べた。図8はプレス成形による砥石材の砥粒粒度と圧環強さとの関係を示す。粒度の粗い場合は 400 MPa と高い値を示すが、# 800 から低下しはじめ # 2 000 で著しく低くなる。図の集中度 100 では # 1 000 が限界で、

Fig. 7 Relation between bending strength and mean rolling pressure

Fig. 8 Relation between radial crushing strength and mesh size number of sintered mixture

より微粒の場合は集中度を小とする必要がある。圧延成形の場合は微粒による強さの減少は緩やかであり #3000 の砥石を製作することができる。図 9 はシート状砥石の砥粒含有量と曲げ強さの関係を示し、含有量の増加と共に強さは減少する。

強度を考慮した本砥石の集中度は、上の結果と顕微鏡観察から推定すると #400 研削砥石で集中度 125, #1000 の研磨砥石で集中度 75 程度を基準としてよい。しかし工具と材料の種類により切れ刃の構成を考慮して選択すべきである。

3.5 切れ味に影響を及ぼす砥石母地の性質

一般に砥石の切れ味は砥粒の更新によって達せられるので、メタルボンド砥石はドレッシングが不可欠である。良好なドレッシング性と耐焼付性は目づまりを生じ難くよい切れ味と共通性を有し、強度が大きいと研削比は高いが研削抵抗も高く切れ味が落ちる傾向を

Fig. 9 Relation between bending strength and concentration of abrasives by roll forming method

生じる。本砥石はこれらの相反する性質を内在しているので、これに影響する要因を調べ対策を検討した。

まず耐焼付性を調べるため摩擦試験を行った。前述の図 6 に示したカーボニル鉄量を変えた 5×20 mm の試験片を用い、旋盤に取り付けた SKD 11 の丸棒と面接触させた状態で回転し、丸棒の表面粗さが 1~2 μm の突起を表したとき、かじりと見なし、押付圧力 1.5 MPa、周速 300 m/min において、かじりを生じない限界はカーボニル鉄量 30 wt% 以下であることを認めた。砥粒を含有した場合は接触部に空間があり焼付きが緩和されるので重研削にも耐えるものと考えられる。

次にドレッシング性を評価するためドレッシング率を定義し、カーボニル鉄量に対する変化を調べた。ここでドレッシング率、 $R = \text{研削砥石の体積減少量} / \text{ドレッシング砥石の体積減少量} (\%)$ で表し、この数値の大きい方がドレッシング性が良好であるとする。カーボニル鉄量を変化させた SD #400、集中度 125 の本砥石を WA 60 J 砥石でドレッシングした場合、ドレッシング率はカーボニル鉄量の増加と共に低下し、10 wt% で 0.45、30 wt% で 0.2 であった。砥石製作における限界は 30 wt% 程度であろう。図 10 は集中度 100 の本砥石と青銅ボンド砥石の比較を示す。本砥石の中ではドレッシング率の低いカーボニル鉄 30 wt% のものでも青銅ボンド砥石の 3 倍の値を示した。

切れ味を向上させるためには砥石母地の減耗性を調整する必要がある。種々の試験の結果、ガラスフィラー

Fig. 10 Comparison of dressing ratio between cast iron bonded and bronze bonded grinding wheel on mesh size number

を添加した本砥石が硬ぜい材料の加工に有効であることがわかった。ガラスの軟化温度は $730 \sim 850^{\circ}\text{C}$ であるが、焼結工程において $50 \mu\text{m}$ 以上のガラスはほぼ原形のまま鑄鉄地に保持される。微粒のビーズの場合には軟化によって連結合体して不定形になる¹³⁾。ガラス粒径は研削砥石に対し $100 \sim 200 \mu\text{m}$ 、研磨加工では $50 \mu\text{m}$ 程度が使用され、ビーズよりパウダが効果的である。適用例として、SD # 100、集中度がダイヤモンド 75、ガラス 75 の本砥石と青銅ボンド砥石 SD # 100 J 125 を比較した。加工途中のドレッシング無しで Si_3N_4 セラミックスのクリープフィード研削の結果、累積加工量 $10\,500 \text{ mm}^3/\text{mm}$ の時点で垂直研削抵抗は本砥石 176 N/mm 、青銅ボンド砥石 265 N/mm 、研削比は前者が 1 710、後者は 1 116 であった¹³⁾。

本砥石の高強度は重研削において特徴が生かされたが¹¹⁾、フィラー添加の改良により普通研削加工においても研削比を低下させずに切れ味を向上させ長時間の加工が可能になった。また研磨加工では加工量が増加することがわかった¹³⁾。

4. 二層成形法による各種砥石の製作

研削砥石は砥石と台金は別個に製作し接合するのが普通であるが、本研究では接合部分の機械的強度を高め、ダイヤモンド層を薄くする目的で、砥石層とリムに相当する鑄鉄部分を同時に成形する二層成形法を用いた。研磨砥石の場合も同様である。図 1 に示す製作工程により以下に示す各種の砥石の試作を行い実際に製作できることを確かめた。

4.1 研削砥石

図 11 に二層成形による $\phi 75 \text{ mm}$ の平形砥石の成形法を示す。ステップ 1 において、ダイス、円筒状の

Fig. 11 Compacting method of cast iron bonded grinding wheel

Fig. 12 Cast iron bonded cup type diamond grinding wheel
SD # 300, Concentration ; 100, Diameter ; 75 mm

下パンチ、心棒及び受け台をセットし、スリーブ A 及び薄いスリーブ C を挿入し、砥粒層の厚さに相当するダイスとの間に砥石材料を充てんする。ステップ 2 において、スリーブ B で砥粒層を押さえて形を作る。次にスリーブ B と C を同時に引き抜き、上パンチにより加圧成形する。同じ金型によりカップ形砥石を成形するには、上パンチ、下パンチのみを用いて 2 層の砥石を製作することができる。この金型を使用した場合抜き勾配を適切に選定すれば集中度 200 程度までの砥石成形が可能である。図 12 は $\phi 75 \text{ mm}$ 、砥粒層 1.5 mm のカップ形砥石を示す。カップ形砥石は円弧状のセグメントを組立てる方式も多く用いられる。

4.2 ラップ、超仕上、ホーニング用研磨工具

研磨工具は $30 \times 30 \text{ mm}$ 角の砥石セグメントを基本形とした。図 13 は試作した固形砥粒ラップ定盤で、砥粒層 1.5 mm を有する厚さ 10 mm の砥石セグメントを $\phi 210 \text{ mm}$ の軟鋼円板に整列接着したものである。セグメントの面取りにより目地溝として排液の機能を

Fig. 13 Lapping plate made by assembly of cast iron bonded diamond stone segments
ND # 2 000, 7.5 wt% (Concentration 58), Carbonyl iron; 22.5 wt%, Diameter; 210 mm

付与した。

超仕上砥石は、砥石セグメントを所定の寸法に切断し軟鋼ブロックに植え込んで工具とした。ホーニング砥石もセグメントを切断し台金に接着して使用した。

4.3 薄肉切断砥石¹²⁾

切断砥石は研削砥石と同様に製作することができるが、薄肉の切断砥石に対し圧延成形によって製作する方法を試みた。図1の工程において、予備焼結でこの目的で製作した黒鉛枠中に鑄鉄粉層の間に同心円状の砥粒層が配分されるように充てんし固化化する。このシートを垂直方向に交差させながら圧延を繰り返すと円形に成形することができる。これを黒鉛板に挟み本焼結を行う。形状仕上はジグに取り付け外周の鑄鉄部分を切除し軸穴を加工した後ドレッシングを行う。この砥石の特徴はブレードとハブが一体であることで、 $\phi 100$ mm 以下、厚さ 0.3~0.8 mm の砥石を試作した。

5. 結 論

鑄鉄ボンダイヤモンド砥石の製法及び基本的な特性について検討を行い次の結論を得た。

- (1) 砥石の製法において、研削砥石、研磨砥石には高圧力のプレス成形法を、シート状砥石には圧延成形法を採用して、広範な用途に対応できるようにした。
- (2) 焼結した鑄鉄を砥石の結合剤に適合させるため、カーボニル鉄粉を添加して砥粒保持力を強化し砥石強度を向上させた。砥石の耐焼付性、ドレッシング性及びダイヤモンド砥粒の損耗を考慮すると、添加量は 20~30 wt% が適当である。またガラスフィラーを添加することにより研削比を低下させずに切れ味を改善することができた。
- (3) 還元雰囲気中の焼結におけるダイヤモンドの損耗を調べ、常用の焼結温度において 84% 以上の

ダイヤモンドが残留することを確認した。

- (4) 砥石強度の試験を行い、適当な砥粒粒度と集中度及び砥粒分布の程度を推定した。

本研究の一部は昭和 56 年度文部省科学研究費の助成を受けて行った。研究の遂行に当たり、ダイヤモンドの損耗の実験に多大な協力を賜った富士ダイス(株)宮澤徹二工場長並びに技術的助言と共に実験に協力された昭和電工(株)堀健三博士に深く感謝致します。また富士ダイス(株)、不二越機械工業(株)、ブラザー工業(株)、新東プレタ(株)及び大阪ダイヤモンド工業(株)の援助に対し深謝致します。更に実験に協力された載豊樹博士、本田恒之、越川典昭、安斉正博、古屋裕美、松原利光、金田敦、中地正行、赤泊祐一、石川弘幸、高橋浩雄、畠慎一、三上誠、加藤雅己の諸氏に謝意を表します。

文 献

- 1) T. Nakagawa, K. Suzuki and T. Uematsu: Three Dimensional Creep Feed Grinding of Ceramics by Machining Center, The Winter Annual Meeting of ASME, Miami Beach, Florida, 17-22, (1985. 11).
- 2) T. Nakagawa and C. S. Sharma: Modern Development in Powder Metallurgy, Vol. 9, (1977) 347.
- 3) Y. Hagiuda, K. Karikomi and T. Nakagawa: Manufacturing of a Sintered Cast Iron Lapping Plate with Fixed Abrasives and Its Abilities, CIRP Annals 1981 Manufacturing Technol., 30, 1, (1981) 277.
- 4) 秋生田善明, 刈込勝比古, 中川威雄: 鑄鉄ボンダイヤモンド砥石による硬質材料の加工, 砥粒加工研究会会報, 28, 2 (1984. 7) 1.
- 5) T. Nakagawa, K. Hanawa, T. Miyazawa, Y. Hagiuda and K. Karikomi: Cast Iron Bonded Diamond Grindstone by Powder Metallurgy, The Report Presented at 1984 Int. Powder Metallurgy Conf./Exhibition, Toronto, Canada, 17-22, (1984. 6).
- 6) 秋生田善明, 刈込勝比古, 中川威雄: 圧延成形によるシート状鑄鉄ボンダイヤモンド砥石の製造, 昭和 59 年度精機学会春季大会学術講演会講演論文集 (1984. 3) 45.
- 7) 刈込勝比古, 秋生田善明, 吉岡潤一, 中川威雄: 鑄鉄ボンダイヤモンド砥石によるファインセラミックス, 超硬合金の研削, 昭和 57 年度精機学会秋季大会学術講演会講演論文集 (1982. 10) 253.
- 8) 刈込勝比古, 秋生田善明, 吉岡潤一, 中川威雄: 鑄鉄ボンダイヤモンド砥石の製作とファインセラミックス及び超硬合金の研削, 昭和 58 年度精機学会秋季大会学術講演会講演論文集 (1983. 10) 559.
- 9) T. Nakagawa, Y. Hagiuda and K. Karikomi: Cast Iron Bonded Diamond Grinding Tool and Its Applicability to Hard Materials, Proc. 5th ICPE, (1984. 7) 369.
- 10) 刈込勝比古, 秋生田善明, 中川威雄: 鑄鉄ボンダイヤモンド砥石による硬脆材料のクリープフィード研削, 昭和 60 年度精機学会秋季大会学術講演会講演論文集 (1985. 10) 599.
- 11) 刈込勝比古, 秋生田善明, 中川威雄: 鑄鉄ボンダイヤモンド砥石による硬脆材料のクリープフィード研削 (第2報)——ガラスパウダ添加の効果, 昭和 61 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 (1986. 3) 641.
- 12) Y. Hagiuda, K. Karikomi and T. Nakagawa: Cast Iron Bonded Diamond Cutting-off Wheel made by Roll Forming, Bull. JSPE, 21, 1, (1987) 65.
- 13) 秋生田善明, 薄 花川, 刈込勝比古, 松永正久: 鑄鉄ボンダイヤモンド砥石によるファインセラミックスのホーニング加工 (第2報)——フィラー添加の効果, 昭和 62 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 (1987. 3) 41.