

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 23 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560108

研究課題名（和文）環境対応研削のための研削屑吸引技術の開発

研究課題名（英文）Study on debris-less grinding for environmental machining

研究代表者

中村 隆 (NAKAMURA TAKASHI)

名古屋工業大学・工学研究科・教授

研究者番号：40135314

研究成果の概要（和文）：平成 22 年度は，研削屑の吸引を確かめる実験において，ディスク幅 15 mm の内，中央 5 mm ではほぼ 100% の捕捉率となった．しかし吸引力が軸方向には広がらないため全体としては 80% 程度の捕捉率となった．

平成 23 年度は，研削屑吸引のための負圧発生を，従来の外部装置（吸引装置）ではなく圧縮空気の流れを利用して加工点近傍で負圧を発生させる機構の開発を行った．アルミ合金で試作した吸引機構付きディスクと空気供給ポートを組合せ，吸引の実験を行った所，90% 程度の捕捉率が得られ，従来の外部吸引装置よりも優れていることが分かった．

平成 24 年度は様々な条件での吸引試験を行うとともに，アルミディスクの外周にダイヤモンド砥粒を電着した砥石を試作し，実際の吸引研削加工を行った．また加工物の温度上昇，加工屑の観察，仕上げ面粗さの測定により，ミスト状加工液の効果も調べた．

研究成果の概要（英文）：Fiscal 2010: About 100% trapping rate can be obtained at centre of 15 mm disk width in experimental results for suctioning of grinding debris. But total suctioning efficiency is about 80%, because the suctioning power can not extend to axial direction.

Fiscal 2011: A new suctioning mechanism is developed, where negative pressure is generated by compressed air flow. This mechanism show superior results, compared with the last year equipment.

Fiscal 2012: A grinding disk with electrodeposition diamond is prepared and actual grinding tests are conducted for several experimental conditions. The efficiency of MQL (Minimum Quantity Lubrication) is studied, where temperature increase of machined parts is measured, grinding debris is observed by a microscope, and surface roughness is measured.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：研削加工，加工屑，吸引，ミスト状加工液，塗索性能，環境対応研削

1. 研究開始当初の背景

研削加工では砥粒が含まれた研削屑が発生し，これが大気中に飛散することにより周辺の工作機械に悪い影響を与えるだけでなく，研削加工した製品にキズを付けるなど，古くからの課題であった。

2. 研究の目的

研削加工の研削屑を加工点の近くで捕集することにより，大気中への飛散を無くし，研削加工の古くからの課題を解決するのが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) 砥石の作製

砥石に見立てたディスクの諸言を表 1 に，製作した砥石モデルのディスクの概形を図 1 に示す。吸引部モデルはφ2.5mm のドリルにより吸引孔を半径方向に加工した。軸方向の穴はφ3.0mm のドリルで貫通孔をあけた後，φ6.0mm のエンドミルを用いて排気口方向から吸引孔に被るように座ぐりを行い，φ3mm のノズルからφ6mm への拡大管とした。空気供給ポート側のテーパ加工はリーマを用いて，給気孔がφ5.5mm になるように加工を行った。材料は A2017 である。吸引部は 1 節で述べた方法で 36 か所作成した。加えて，電着砥石を使用した。粒度は #140 で一般的な粒度に設定した。

砥石表面の孔周辺には，MQL が加工点に行き渡る目的，あるいは吸引空気が研削の瞬間に真空状態になることを防ぐ目的で何らかの形状の溝を設ける必要がある。研削点での溝

側面の衝撃の影響を考慮すると，砥石円周方向に垂直ではなく，図 1 に示すように傾斜を付けた溝の必要性がある。また，現在までに平面研削用の cBN 砥石の表面に円周方向を横切るように溝入れを施すことで，砥粒の自生作用が促進され研削効率が向上するという報告がなされていることから，溝入れが研削に不利に働くことはなく，むしろ有効であるため，懸念の必要はない。以上の事から，幅方向の加工屑回収率を上げるために砥石周面に幅 3mm，深さ 0.5mm の溝を加工した。

表 1 砥石モデルの諸元

Wheel diameter D_w	φ100mm
Width of grinding b	20mm
Supply hole diameter	5.5mm
Taper degree	6deg
Nozzle diameter	3mm
Suction hole diameter	2.5mm
Hole cycle angle α	10deg
Exhaust hole diameter	6mm

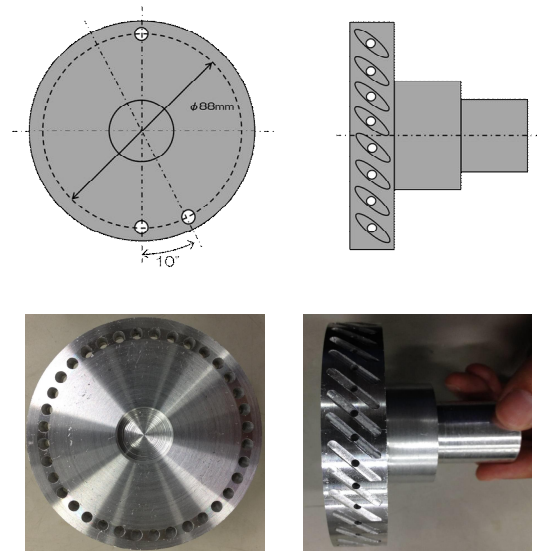


図 1. 砥石形状の概要図

また，砥石には形状自由度の高い電着砥石を使用した。電着砥石は，電着めっきの原理を応用し台金の表面にめっき層を作り砥粒を固着させて製造した砥石であり，台金形状，寸法の自由度が高い利点をもつ。また，芯だしをする際は今まで砥石表面に，ダイヤルゲージのピックを置くことで，芯を出していたのだが，今回は砥石表面に電着砥石を施すため，これまでのように，芯だしをすることができなくなる懸念があった。そのため，砥石端面の中心に深さ 2cm 程のエンドミル加工を施すことで，この問題を解決させた。実際に加工した砥石を図 1 に示す。

(2) ワークの形状

ワークの寸法は，縦横 100mm，厚さ 5mm，4 箇所ネジ穴加工を行なった。また，ネジの干渉を防止するために，座ぐり加工を施した。材質は，鋳鉄を使用した。

3.3 治具の形状

上記ワークを旋盤に固定するための，治具も

作製した。形状は以下のとおりである。材質は、真鍮を使用した。

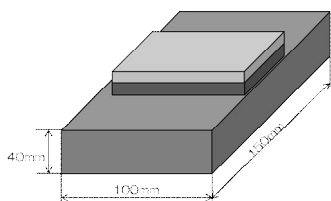


図 2. ワーク取り付け図

(3) 吸引システム

このシステムでは、加工屑を吸引する原動力として正圧を用いる。砥石内部の加工屑吸引部構造はエジェクタを参考にし、負圧で加工屑を加工点近傍から吸引し、圧縮空気とともに外部の排気ポートに吹き付ける。このシステムは実際に加工屑を砥石内部に引き込む部分は負圧を用いているが、それ以外の部分で正圧を用いているため、加工屑の輸送に1気圧以上の差圧を用いることができることから、加工屑輸送部分においてよりスムーズな加工屑の搬送が行えるなどのメリットがあると考えられる。

吹き込む圧縮空気はコンプレッサから供給されているものを調圧器で絞り流量を調整して供給した。使用した調圧器を図3に示す。

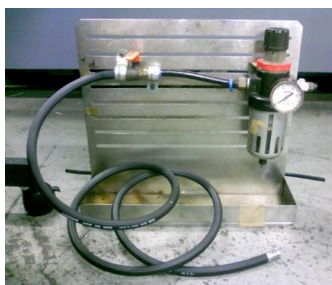


図 3. 調圧器

(4) 吸引評価実験

切りくずが吸引されているかを目視で判断するために、切りくず可視実験を行った。具体的には、切りくず流出方向に紙テープを置き、その紙テープに付着した切り屑で吸引可否の判断を行った。その時の概略図を図4、実験条件を表2に示す。

表 2. 実験条件

Wheel diameter	φ100mm
Width of grinding	20mm
Revolution speed	80m/min
The number of suction holes	36
Suction hole diameter	2.5mm
Grinding depth	12μm
Clearance	50μm

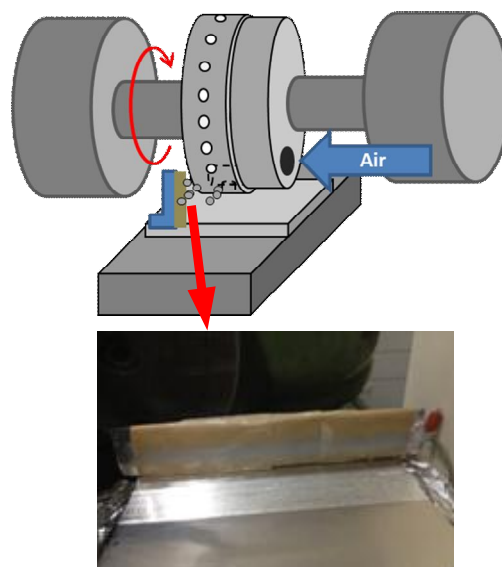


図 4. 吸引評価実験における概略図

(5) 吸引評価実験 2

上記の実験より切りくず吸引可能であることが分かったので、次は実際に吸引評価実験を行った。具体的には、切りくず排出方向にエジェクタ (ZH10-185, SMC株式会社) を固定することで、切りくずを吸引した。実際に作製したエジェクタ装置を図5に示す。固定する際は、図のようにエジェクタに取り付けられたステムにマグネットスタンドで、砥石と干渉しないように固定した。

また、粒子径 $0.5 \mu\text{m}$ 以上の切りくずが約99%回収することができると想定し、切りくずを回収する際は、紙パック (VPF-5) を利用した。実際の実験風景を図6に示す。



図 5. エジェクタの図

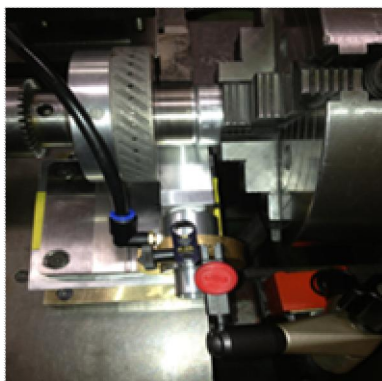


図 6. 評価実験概要図

また、切り込み量の変動により回収率にどのように影響するのかを判断するために、 $5\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ ($5\mu\text{m}$ 間隔, $N=3$) 毎回ワークの下にシックネスゲージを敷くことで、切り込み量を変動させ、それぞれの回収率を測定した。評価方法は、ワーク質量の変動と紙パックの質量の変動を比較することで、評価した。

(6) 切り屑観察 (SEM 観察)

今回実験で使用したワークは、鋳鉄である。通常鋳鉄のように脆いワーク材であれば、切り屑は粉末状のせん断型である。これは、砥石切れ味の良い時に発生する。しかし、切れ味が良好でなければ、球状の切り屑が観察される。これを観察することで、砥石の性能を評価した。

切り込み量は $5\mu\text{m}$ ～ $25\mu\text{m}$ ($5\mu\text{m}$ 間隔) として、発生する切り屑で、それぞれの形状の違いを観察した。これは、適正な切り込み量で実験が行われているかを、確かめるためである。適性ならば、切り込み量が大きくなるにつれて、切り屑も増大していくと考えられる。また、回収可否によって切り屑の形状に違いがあるかを確かめるため、紙パック内に回収された回収可能な切り屑と、回収できずにワーク表面に散らばった切り屑、砥石表面に付着した切り屑の形状の違いを観察した。

4. 研究成果

(1) 吸引評価実験

実験結果を図 7 に示す。この図は、縦軸に切りくず回収率、横軸に砥石の切り込み量とした。赤丸がそれぞれの評価率の平均値である。このように、それぞれ回収率は約 40～50% という結果になった。また、研削直後のワーク表面 (図 8) と砥石表面 (図 9) を観察すると吸引しきれなかった切り屑が目立っていた。

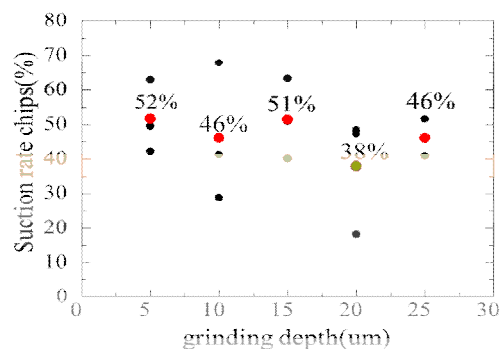


図 7. 評価実験



図 8. ワーク表面



図 9. 砥石表面

(2) 切り屑観察 (SEM 観察)

回収可能な切り屑を図 10, 回収不可でワーク表面に散らばった切り屑を図 11, 同じく回収不可で砥石表面に付着した切り屑を図 12 に示す。

全体的にせん断型もしくは流れ型の切り屑なので、比較的良好な切り屑であることが分かった。また、切り込み量の増大に伴い、切

り屑の大きさも大きくなっていることが分かる。加えて、回収可能な切り屑は、回収不可の切り屑より比較的大きな切り屑が比較的多く存在することが分かった。

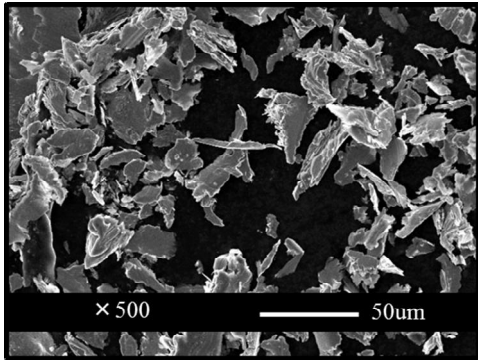


図 10.回収可能な切り屑

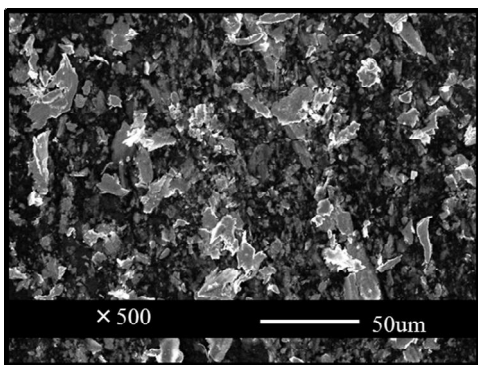


図 11.回収不可 (ワーク表面)

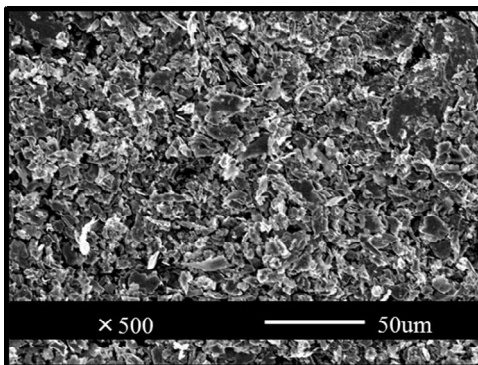


図 12.回収不可 (砥石表面)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

① Hiroki Kiyota, Fumihito Itoigawa, Atsushi Kakihara, Takashi Nakamura, Prevention of Depth-of-Cut Notch Wear in CBN Tool Edge by Controlling Built-up Edge, International Journal of Automation Technology, Reviewed, Vol. 5, No. 3, 2011, 324-328.

② S. Hayakawa, S. Yamada, F. Itoigawa, T. Nakamura, T. Kitamura, M. Yamanaka, Effect of Bubble Coalescence on Material Removal Rate in Electrical Discharge Machining

Process, International Journal of Electrical Machining, Reviewed, No.16, 2011, 33-39.

〔学会発表〕(計2件)

① 原直輝, 中村隆, 糸魚川文広, 早川伸哉, デブリレス研削加工の研究, 2011年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, CD-ROM, 2011

② 鹿島康聖, 水野礼人, 糸魚川文広, 中村隆, デブリレス研削加工システムの研究, ABTEC2013, 発表予定. 2013.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://tribo.web.nitech.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

中村 隆 (NAKAMURA TAKASHI)
名古屋工業大学・工学研究科・教授
研究者番号：40135314

(2)研究分担者

糸魚川文広 (ITOIGAWA FUMIHIRO)
名古屋工業大学・工学研究科・准教授
研究者番号：20252306

(3)連携研究者

早川伸哉 (HAYAKAWA SHINYA)
名古屋工業大学・工学研究科・准教授
研究者番号：10314080