

磁性流体を用いた磁気浮揚研磨法の開発 (第3報)

—加工メカニズムの解明—

Development of Magnetic Float Polishing Using Magnetic Fluid (3rd Report)
—Analysis of Finishing Mechanism—

高尾正昭*・谷 泰弘*・河田研治*
Masaaki TAKAO, Yasuhiro TANI and Kenji KAWATA

1. 緒 言

著者らは磁気浮揚研磨法と称する新しい研磨法を開発した。この研磨法は磁性流体と非磁性砥粒との混合液を磁場勾配中に置いたとき、磁性流体は高磁場側に引きつけられ、砥粒は相対的に低磁場側に排出されるという性質を応用して研磨を行うものである。ここで磁場勾配を重力方向に設定すれば、この排出力は磁気浮揚力となる。この磁気力により保持された砥粒と被加工物を相対運動させれば研磨加工が可能となる、というのが本研磨法の基本原理である。

そこでまず本研磨法が実現できることを確認し、¹⁾ 次に本研磨法の高効率・高精度化を目的として実験装置に改良を加えた²⁾ うえで、種々のパラメータを変化させてみた。この結果、磁場勾配、砥粒径、砥粒添加率、加工位置などに加え、砥粒と磁性流体との親和性が加工効率・加工精度に影響を与える要因であることが判明した。

この過程において、これらパラメータの変化は加工圧や混合液の加工面性状に多様な変化をもたらす、結果的に加工量・仕上げ面粗さに関与しているのではないかと推察された。したがってその関連を明確にすることは、本研磨法のさらなる高効率・高精度化への指針となるはずである。

そこで本報では、加工圧という新たなパラメータを導入し、次のことを目的として実験を行った。

- (1) 加工圧を計測することにより、加工のメカニズムと磁気浮揚現象との関連を明確にする。
- (2) 磁気浮揚現象のほかに、本研磨法の加工性能に影響を及ぼしている物理現象があれば、加工圧・混合液面性状の観察により把握する。
- (3) 加工のメカニズムを解明することにより、本研磨法の新しい展開を図るための基礎データを与える。

以上の目的のもとに、加工圧や混合液面性状と加工量・仕上げ面粗さとの関連を検討して得られた結果について報告する。

2. 実験方法

実験装置本体としては前報までと同様、立型フライス盤を使用した。なお、今回は実験装置に若干の改良（自転と公転の回転数比を1:1とし、その回転方向を逆に設定した。またその回転数を増加させた）を加えて加工効率・形状精度の向上を図ると共に、垂直方向の加工圧を計測するため、工具動力計を実験装置中に組み入れた。詳細は図1に示すとおりである。

前報までの実験装置では、公転回転数が自転回転数に対してあまりに小さいため、被加工物の加工面の中心から外周に向かうにつれて面内速度は大きくなり、この結果微小な面だれを起こしていた。これに対し、今回は自転と公転の回転数比が1:1であることで、被加工面の面内速度がどの部分においても等しくなる。したがって全面が均一に削れ、形状精度の向上が期待できる。

磁石については、前報とまったく同様のものを用い、同一の配置としている。加工による混合液の温度上昇に

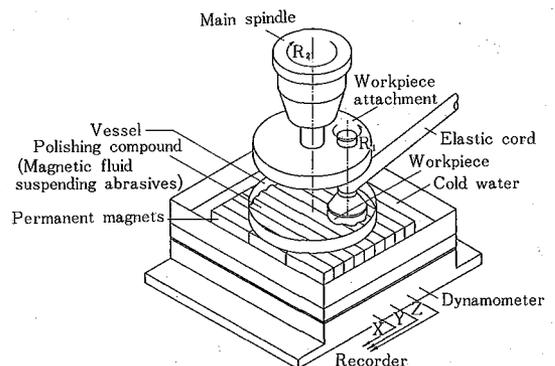


図1 実験装置の概略

* 東京大学生産技術研究所 第2部

研 究 速 報
 については、熱電対によりその温度を計測し、電磁弁により混合液容器を取り囲む水槽へ流す冷却水の流量を制御することにより温度調節を行っている。

実験条件については表 1 に示すとおりである。このような条件の下で、パラメータを変化させて加工圧を計測し、混合液面性状の観察を行った。

3. 実験結果と考察

【3-1 磁場が及ぼす影響】

図 2 の (a), (b) は、それぞれ磁石を用いて加工したものと、磁石を用いないで加工したものの加工時における加工圧の変動を記録した 1 例である。両者の違いは顕著であり、磁石を用いた場合には加工時間中全域でほぼ一定の加工圧が発生していることがわかる。これは加工物 1 回転中に混合液表面が復帰する量が決まっており、常に一定な磁気浮揚力が作用するためである。また磁石を用いない場合には、加工圧は切込み当初に大きく生じ、その後はほとんど零に近くなっていることが判る。これは加工当初の切込みにより、最初は接触していた混合液

がしだいに排除され、これが切込み量の減少につながるためである。

このように、混合液中の磁性流体は磁場がかかることによって、切込み時に急激に作用する圧力を緩和し、これ以降では加工圧を維持する役目を果たしていることが確認された。

図 3 の (a), (b) は砥粒の体積添加率をパラメータとし、磁石の有無によって加工圧・加工量がどのように変化するものかを表したものである。なお、グラフ中の加工圧の値は加工時間中における圧力変化を、全加工時間で平均化してプロットしたものである。(図 2 の (a), (b) のような場合には、平均化すると (b) の加工圧のほうが高くなることもあり得る)。

磁石を用いて加工した場合には、前報²⁾でも示したように添加率 $V_a=42\%$ の付近で加工量が極大値を持つ。この添加率を越えると加工量は減少傾向を示すが、これは図 4 の (a) に見られるように砥粒層の中に存在する磁

表 1 実験条件

Magnetic fluid	Ferricolloid LS-40
Workpiece	Acrylic resin
Abrasives	SiC
Grain size G	4-48 μm
Concentration ratio V_a	36-46 vol%
Magnetic field strength H	$1.5 \times 10^5 - 4 \times 10^5$ A/m
Polishing Period T	15 min
Distance from the magnets D_m	0.75-3.0 mm
Revolution of spindle R_s	75-2650 rpm
Temperature of water	25 $^{\circ}\text{C}$

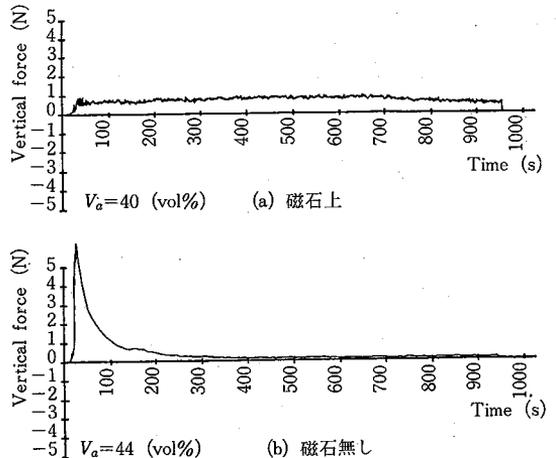


図 2 加工時間による加工圧の変化

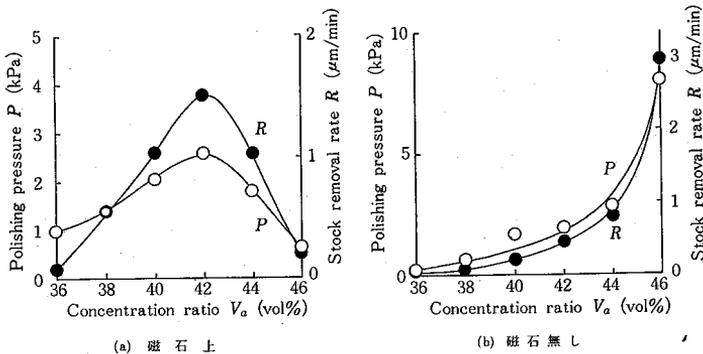


図 3 砥粒添加率と加工圧および加工量の関係

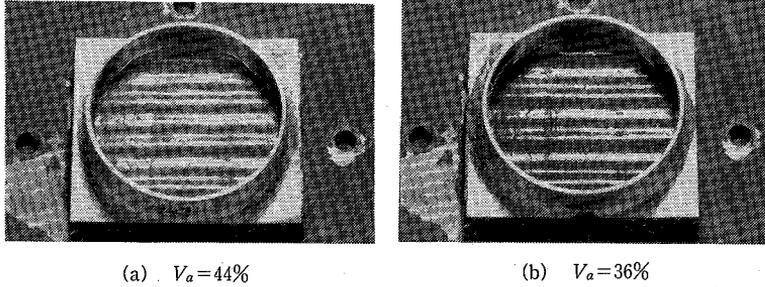


図 4 砥粒添加率の変化による混合液性状の変化

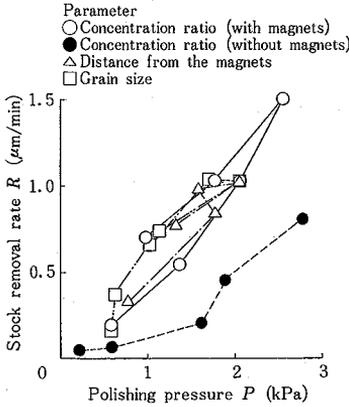


図 5 加工圧と加工量の関係

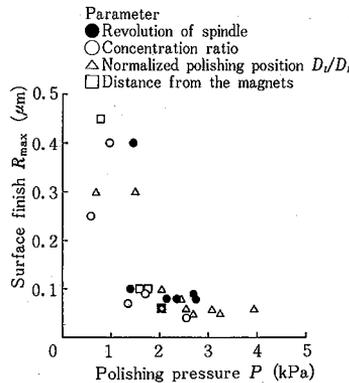


図 6 加工圧と仕上げ面粗さの関係

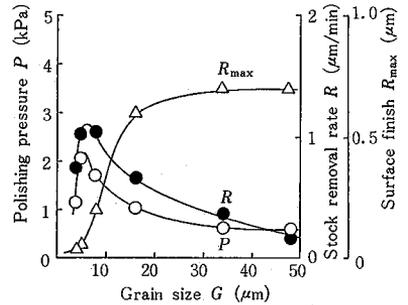


図 7 砥粒径と加工圧、加工量および仕上げ面粗さの関係

性流体の量が少なくなるために、砥粒の垂直方向および水平方向の復帰力が小さくなり、加工圧の低下を招くのが原因である。逆に添加率が少ないと、(b)のように砥粒層の中に存在する磁性流体の量が増して混合液の粘度が小さくなるため、加工量は小さくなる。

一方、磁石を用いない場合には図 2 (b)にも示されるように、切込み当初とその後の 2~3 分間に過大な圧力がかかるため、このときに加工量の大部分が生ずる。このため添加率が大きくなれば混合液の粘度も大きくなり、加工圧は上昇し、加工量も増大するのである。

【3-2 加工圧と加工性能との相関関係】

図 5 は、加工圧と加工量の関係を混合液中における砥粒の体積添加率、加工位置（磁石表面と被加工面との距離）、平均砥粒径をそれぞれパラメータとして示したものである。これから示されるように、加工圧の増加とともに加工量もある幅を持って比例的に増加しているのがわかる。すなわち、加工圧と加工量とは強い正の相関関係が存在することが認められた。

また磁石なしの場合の砥粒添加率による変化については、図 2 に示されるように圧力の発生形態がまったく異なるので単純に比較することはできない。ここでは、参考までにプロットしてみたものであるが、この場合も平

均化する加工時間を適当に選べば正の相関関係を持つ。

図 6 は、加工圧と仕上げ面粗さの関係について示したものである。加工圧が 1.5 kPa をこえるあたりから、仕上げ面粗さが急激に良くなる。この図における実験条件では平均砥粒径 5 μm のものを使用しており、加工時間を 15 分（一定）としているため、仕上げ面粗さは加工圧の増大に伴い、0.05 μm R max（平均砥粒径の約 100 分の 1）に収束していくのが認められる。

【3-3 加工圧と混合液面性状との関連】

図 7 は、砥粒径を変化させてみた場合の加工圧、加工量、仕上げ面粗さの変化を示したものである。また、図 8 はそのときの加工中における混合液の性状を示したものである。

図 7 において、砥粒径が小さくなるに従って仕上げ面粗さが良くなっていくのは当然として、加工圧・加工量の曲線は平均砥粒径 5 μm あたりで極大値を持っていることが判る。これは砥粒間に存在する磁性流体の量が増え（このため、混合液表面の色は磁性流体の黒色が強く表出しているのが認められる）、粘度が低下し、加工圧・加工量は減少する。一方、5 μm よりも小さい砥粒を用いると、図 8 (b) のように砥粒の占める割合は (a) よりも多くなり、混合液の粘度が高くなるためにその粘性抵抗が

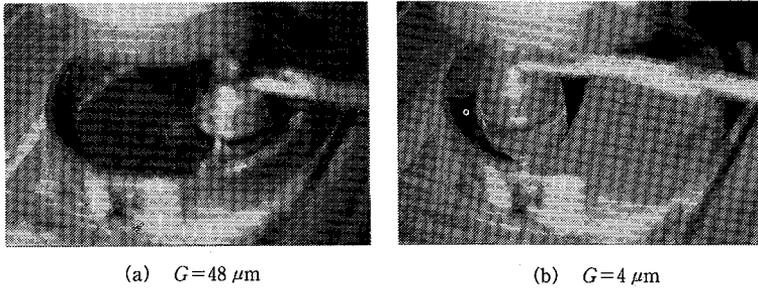


図 8 砥粒径の変化による混合液性状の変化

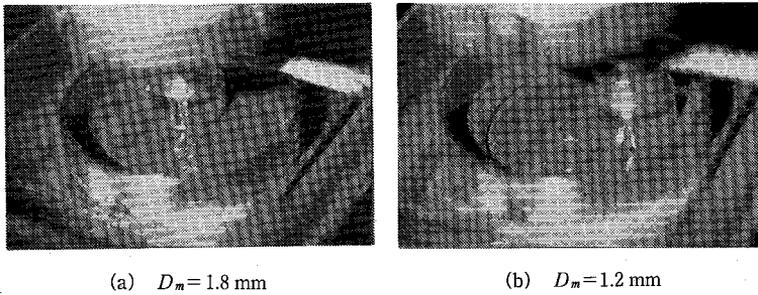


図 10 加工位置の変化による混合液性状の変化

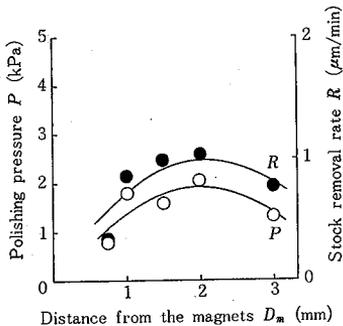


図 9 磁石からの距離と加工圧および加工量の関係

砥粒の磁気浮揚を妨げるために加工圧が上がらず、加工量も低下するという傾向を持つ。

図 9 は磁石からの距離を変化させて加工してみたものである。前報の傾向と同様、磁石からの距離が 2 mm のとき、加工圧・加工量が最も大きい値を持つことが判る。図 10 の写真はこのときの 1 例である。(a) は磁石からの距離が 1.8 mm, (b) は 1.2 mm である。このように (b) のほうが初期切込み量が大きくなっているため、被加工物が通過した混合液面上の部分の砥粒の排除量は (a) よりも多くなっていることが識別できる。大きな切込みは混合液の攪拌効果を増長させるため、この (a) のように攪拌する力が大きい場合には短時間で砥粒のぬれを生じて

混合液の粘度は低下し、加工能率も低下してしまう。

こうして図 7~図 10 を 1 例としても判るように、混合液の粘度・性状は各種のパラメータによってそれぞれ細かく微妙に変化し、これによって加工圧・加工量も左右される。

4. ま と め

以上のことから、次のことを結論として述べる事ができる。

- (1) 加工圧と加工能率は正の相関関係を示すことが判った。
- (2) 加工圧と仕上げ面粗さの関係においては、砥粒径により決定される最終粗さに到達するための限界の加工圧 (約 1.5 kPa) が存在する。
- (3) 磁石の有無における加工時間による加工圧等の変化から、磁気浮揚力と加工圧とは非常に深い関わりを持っていることが明らかになった。

(1984 年 11 月 22 日受理)

参 考 文 献

- 1) 谷, 仙波, 河田: 磁性流体を用いた磁気浮揚研磨法の開発 (第 1 報), 生産研究, 35, 12, (1983) 531
- 2) 河田, 谷, 高尾: 磁性流体を用いた磁気浮揚研磨法の開発 (第 2 報), 生産研究, 36, 8, (1984) 366