

磁性流体を用いた磁気浮揚研磨法の開発 (第2報)

——磁気浮揚研磨の高能率・高精度化——

Development of Magnetic Float Polishing Using Magnetic Fluid (2nd Report)

——High Efficient and Very Smoothed Finishing by MFP——

河 田 研 治*・谷 泰 弘*・高 尾 正 昭*

Kenji KAWATA, Yasuhiro TANI and Masaaki TAKAO

1. 緒 言

磁性流体に非磁性体を混合し、これを磁場勾配中に置けば、磁性流体は高磁場側に引きつけられ、相対的に非磁性体は低磁場側に排出される¹⁾。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してとらえることができる。本研究はこの磁気浮揚力を研磨加工に応用したもので、非磁性砥粒を磁性流体の上層に浮揚させ、その浮揚した砥粒と被加工物を相対運動させることにより研磨を行おうとするものである。

前報²⁾では上述の原理が実現できることを示した。また磁場勾配の大きさ、砥粒径、砥粒の添加率などが加工能率、加工精度に影響を及ぼすことを報告した。本報ではこれらの結果をもとに本研磨法の高能率・高精度化を図るべく実験方法を変更し、検討した結果を報告する。

2. 実験方法

実験装置の概略を図1に示す。本体は前報と同様立型

フライス盤を使用しており、温度調節も同様に行っている。前報の結果に基づき今回変更した点は次の4点である。

(1) 高精度化のために微細砥粒を使用した。

微細砥粒の使用は前報の結果から推察して精度の向上に有効である。また微細砥粒は表面積が大きいので、時間経過に伴う、砥粒のぬれによる加工量の飽和傾向も抑制できると推定される。前報では砥粒径が小さくなると加工量が減少する傾向を示したが、これは微細砥粒を使用すると混合液の粘度が上昇するため前報の磁石では磁場勾配が小さすぎ、磁気浮揚による固液分離が十分でなかったためであり、磁場勾配を十分大きくとれば粘度が大きいことで加工量は増大するはずである。

そこで磁場勾配を大きくするため磁石の形状を変更した。一般に磁石により作られる磁場形状は材質が同一ならば、その寸法に比例した相似形をなす。よって図2に示すような磁石の場合は表面近傍においてはピッチ（磁石1個の幅）が小さい方が磁場勾配が大きくなる。そこ

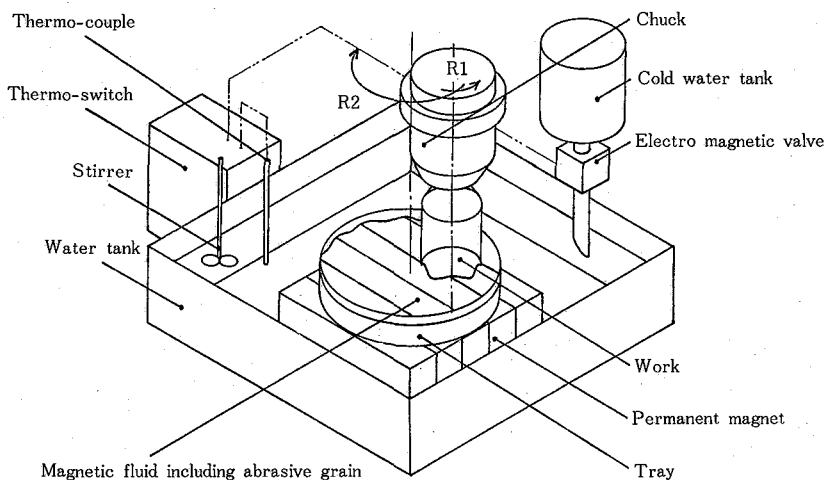


図1 実験装置の概略

* 東京大学生産技術研究所 第2部

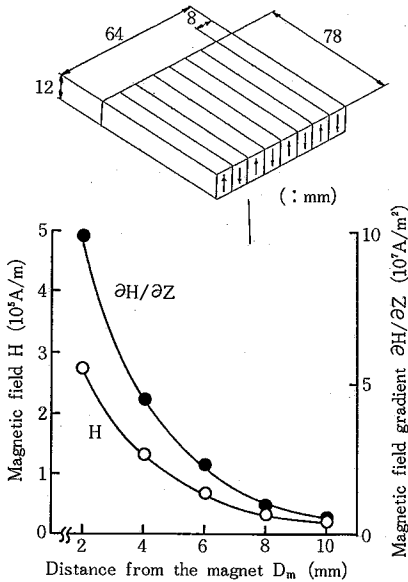


図2 実験に使用した磁石とその磁場形状

で、

(2) 磁石のピッチを小さくし、磁石に近い磁場勾配の大きい領域で加工を行った。

次に前報では被加工物の運動は自転のみであったが、全面を研磨するには公転を加える必要がある。そこで

(3) 被加工物に自転のほかに公転を加えた。

ただし使用した装置の能力上、公転は6rpmが限度であり、均一に研磨するには不十分であるがその一段階として行った。また公転を加えるにあたり磁石の大きさによる制限で、被加工物の寸法を前報のφ30mmからφ20mmとした。また、砥粒を小さくしたことと、平衡に達した表面あらさを確認するため、

(4) 予備研磨後のあらさを0.5μm R_{max}にした。

その他の実験条件を表1に示す。なお文中の実験は砥粒の種類C#4000、砥粒の体積添加率 V_a=40 vol%、加工時間15分、磁石と加工面の距離 D_m=1.9mm、被加工物の自転数1750rpmの条件を主としており、特に表示のないものはこれらの条件で行っている。また表面あらさは15分間研磨後の値を使用している。

3. 実験結果と考察

3-1 加工時間による加工量の推移

図3に加工時間と加工量および表面あらさの関係を示す。前報と同様加工量は加工時間の経過に伴い、ほぼ単調に増加しているが飽和する傾向を示す。ただし砥粒径が小さく表面積が大きいためこの傾向は前報よりも抑制されている。このため研磨開始当初の15分間に効率的な

表1 実験条件

Magnetic fluid	Ferricolloid LS-40	
Work	Acrylic resin	
Abrasive grain	C grain	
Grain size G	4~34μm	
Concentration ratio V _a	36~46Vol%	
Magnetic field strength H	5×10 ⁴ ~3.5×10 ⁵ A/m	
Polishing time T	15~120min	
Distance from the magnet D _m	0.9~5.9mm	
Number of revolution	R1	75~4000rpm
	R2	6rpm
Atmosphere temperature	20℃	

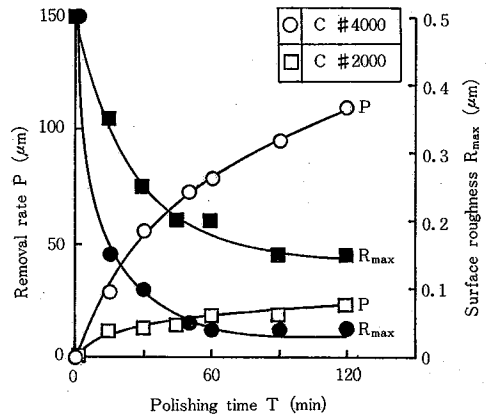


図3 加工時間と加工量および表面粗さの関係

研磨が行われており、表面あらさもこの間に0.15μm R_{max}にまで達している。加工能率を前報と比較すると、今回は被加工物の直径、回転数とも前報の2/3になっているので最もよく削れる外周部分の速度は4/9になっており、その点を考慮すれば加工時間15分ではC#4000の使用の場合で約3倍になっている。また前報で最も加工能率のよかったC#500に比べても約1.5倍となっている。

3-2 磁場の影響

図4に磁場の強さと加工量および表面あらさの関係を示す。加工面が磁石に近づくにつれて磁場の強さおよび磁場勾配が増大し、砥粒に作用する磁気浮揚力が増加するため加工量は増大する。しかし D_mが2mm以下では実験に使用した磁石の磁場形状の不均一性のため加工量は低下している。一方表面あらさは加工面が磁石に近いほど向上しており、0.04μm R_{max}にまで達している。

3-3 砥粒の体積添加率の影響

図5に砥粒の体積添加率と加工量および表面あらさの

研 究 速 報

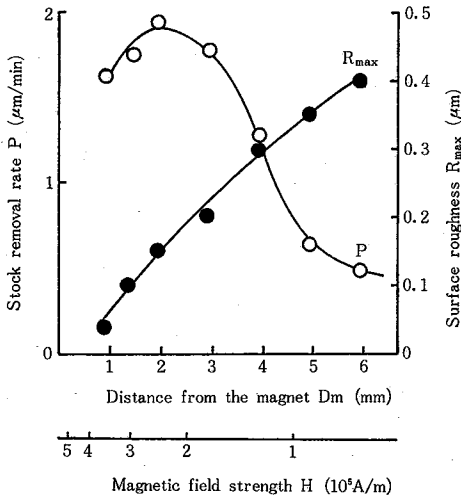


図 4 磁場の強さと加工量および表面粗さの関係

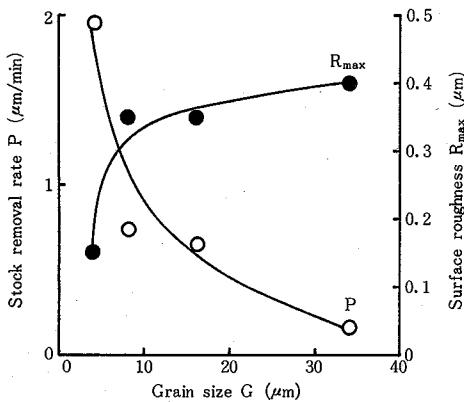


図 6 砥粒径と加工量および表面粗さの関係

関係を示す。加工量は添加率 42% で極大値を示している。これはこれ以上磁性流体が多いと混合物の粘度が低下し、逆に砥粒が多いと磁気による応答性（混合物の磁化特性）が低下するためである。一方表面あらさは 40% 以上でほとんど変化がなくなっている。

3-4 砥粒径の影響

図 6 に砥粒の平均粒径と加工量および表面あらさの関係を示す。図から微細な砥粒を使用するほど加工量・表面あらさ共によくなっているのがわかる。ここで加工量については前報の結果と傾向が逆になっている。これは前報では磁場勾配が小さいため平均粒径 8 μm 以下の砥粒では浮揚による分離が十分に行われておらず加工量が減少したものと考えられる。一方今回は磁場勾配が十分大きく平均粒径 4 μm の砥粒でも浮揚による分離が可能

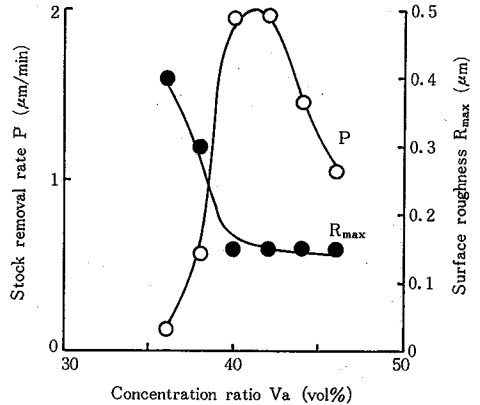


図 5 砥粒の体積添加率と加工量および表面粗さの関係

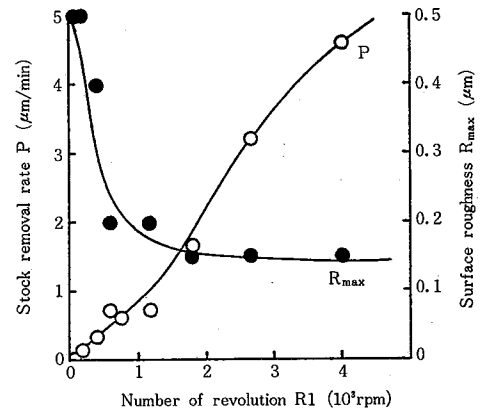


図 7 被加工物の回転数と加工量および表面粗さの関係

である。そのため微細な砥粒を使用するほど混合物の粘度が増大し、しかも加工面で作業する砥粒数が増加するため、加工量が増大したものと考えられる。

3-5 被加工物の回転数の影響

図 7 は被加工物の自転と加工量および表面あらさの関係を示す。図から加工量は回転数にほぼ比例して増加しているのがわかる。また前報と異なり 500 rpm 以下でも研磨が行われているが、これは低回転数の場合でも被加工物と混合物の相対速度が得られているためである。

3-6 磁性流体と砥粒の親和性が加工量に及ぼす影響

図 8 に磁性流体と砥粒の組み合わせの違いによる加工量の変化を示す。実験に使用した砥粒の化学組成を表 2 に、磁性流体の物理的性質を表 3 に示す。（この実験では平均粒径 5 μm の砥粒を使用している。）図 8 から両者の組み合わせ方により加工量が大きく異なっているのがわかる。この理由は、一つには表 3 に示すように磁性流体の粘度や磁化が異なるのでその影響が出ているものと思

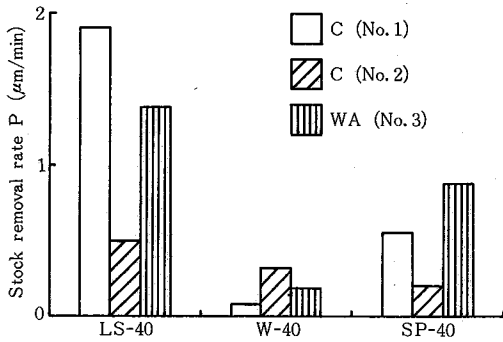


図 8 磁性流体と砥粒の親和性が加工量におよぼす影響

表 2 砥粒の化学組成

	SiC	C	Fe	SiO ₂
No.1	41.84	1.02	0.38	42.50
No.2	93.98	0.28	0.26	2.41
	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
No.3	99.6	0.2	0.03	0.02

(unit: weight%)

表 3 磁性流体の物理的性質

	Carrier liquid	Viscosity (mPa·s) at 25°C	Specific gravity at 20°C	Saturation magnetization (mT)
LS-40	Eicosyl naphthalene	32.0	1.345	30.5
SP-40	Spindle oil	33.0	1.275	26.4
W-40	Water	4.5	1.424	31.0

われるが、個々の磁性流体についてみれば砥粒と磁性流体の親和性、言い換えれば磁性流体に対する砥粒のぬれやすさの違いが影響しているものと考えられる。たとえば溶媒が油であるLS-40についてみるとNo.1の砥粒との組み合わせにおいて最も加工量が大きく、No.2の

研究速報
 場合が最も小さくなっており、一方溶媒が水であるW-40に関しては定性的にこの傾向が逆になっている。No.1, No.2はいずれもC砥粒であるが、表2に示すようにNo.2は90%以上SiCを含有しているのに対し、No.1はSiCが半分で残りの半分はSiO₂である。一般に、油を構成する元素はCとHであり、水はOとHであるからSiCよりSiO₂の方が水に近い性質を持っている。よってSiO₂を多く含むNo.1の砥粒の方が、SiCがほとんどであるNo.2の砥粒よりも親水性が強いと考えられる。このためLS-40に対してはNo.1の方が親和性が弱く、砥粒がぬれにくいために加工量は大きくなっており、逆にW-40に対してはNo.2の方が加工量が大きくなっている。また溶媒がスピンドル油であるSP-40の場合はこれらの中間的な様相を示しているが、C砥粒よりもWA砥粒の加工量の方が大きくなっている。このように砥粒と磁性流体の親和性が本研磨法において重要なパラメータになっていることが判明した。

4. ま と め

以上の結果から磁石に近い磁場勾配の大きい領域で、微細砥粒を使用して加工を行えば、加工効率・加工精度共に向上することが明らかになった。この時平均粒径が4µmのC砥粒を使用することにより、その1/100の精度が得られた。また新たに砥粒と磁性流体の親和性が本研磨法において重要なパラメータとなることが判明した。

牧野フライス(株)、日立金属(株)、昭和電工(株)からは本研究に対し多大のご援助をいただき、心から御礼申し上げます。最後に、本研究の遂行にあたりご協力いただいた神藤定幸氏に心から感謝いたします。

(1984年5月4日受理)

参 考 文 献

- 1) R. E. Rosensweig: Fluid-magnetic Buoyancy, AIAA Journal, 4, 10(1966)1751.
- 2) 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.