

氏 名	梅 原 徳 次
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 63 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学専攻
学 位 論 文 題 目	磁性流体研摩の研究
指 導 教 官	東北大学教授 加藤 康司
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 加藤 康司 東北大学教授 阿部 博之 東北大学教授 神山 新一 東北大学教授 中塚 勝人

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

近年、従来伝統的に用いられてきた砥石による研削やラッピング・ポリッシング等の研摩法に代わる新しい表面加工法が複雑曲面やセラミックス等の新しい研摩のニーズに対して求められている。そのような新しい表面加工法として、磁性流体中の非磁性砥粒の磁気排出力を利用した磁性流体研摩が研究されている。しかし、従来研究された磁性流体研摩においては、その加工圧力が低く、実用上十分な研摩率は得られていない。また、その形状制御性も平面研摩において面ダレ等が生じ、実用上不十分であった。

そこで、本研究においては、加工圧力を高める新しい補助工具として浮子を導入し、浮子を用いる磁性流体研摩における磁場と浮子形状の設計指針を明らかにした。さらに、アルミニウム合金と窒化ケイ素のリング面研摩において浮子を用いる事により有効な研摩率が得られる事を明らかにした。また、窒化ケイ素の球研摩を行い、浮子の形状制御性を示した。最後に浮子を用いた磁性流体研摩の機構をアルミニウム合金と窒化ケイ素のリング面研摩の場合について明らかにした。

第 2 章 磁性流体研摩のための浮子の考案

本章では、砥粒のみの磁気浮揚力により得られる加工圧力の限界を計算と実験により示し、より大きな加工圧力を得るための補助工具としての“浮子”を考案し、そのために有効な磁場と浮子の

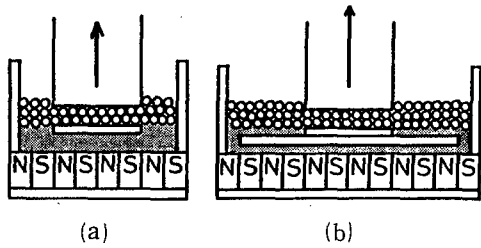


図1 磁性流体中の浮子

設計指針を明らかにした。ここに浮子とは、図1に示すように、磁性流体中に浮揚している砥粒層と磁石の間に位置し、浮子の浮力を砥粒層を介して研磨面に伝えるための非磁性体である。特にこの浮子が、図1(b)に示すように凸部を有する場合、浮子全体が受ける磁気浮揚力が加工圧力として研磨面に集中させられるため、大きな加工圧力が発生させられる。図2に、浮子有りの場合と無しの場合の加工圧力に対する磁石と浮子の距離の関係を示す。図2より、浮子無しの場合、加工圧力は $h=0.6\text{ mm}$ において 5 kPa 程度であった。一方、凸部を有する浮子を用いた場合の加工圧力は 130 kPa 程度で、浮子無しの場合の加工圧力の約26倍であった。この加工圧力は砥石研削における加工圧力に匹敵した。

第3章 浮子を用いた磁性流体研磨の基本特性

本章では、第2章において設計した磁場と浮子を用いて、アルミニウム合金と窒化ケイ素のリング面研磨を行い、浮子を用いた磁性流体研磨の基本的研磨特性を明らかにした。図3に窒化ケイ素における浮子有りの場合と無しの場合の研磨進行曲線を示す。図3より、浮子無しの場合には研磨されないが、浮子を用いる事により研磨時間に比例して研磨される事がわかる。この時の研磨率（単位加工荷重、単位すべり距離あたりの研磨体積）は、アルミニウム合金と窒化ケイ素について、そ

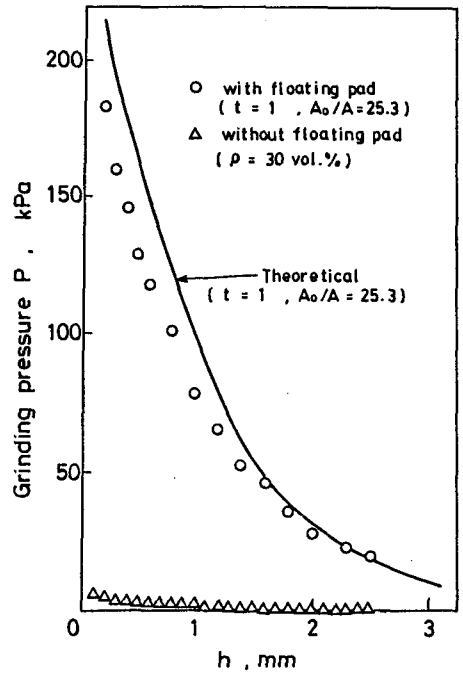


図2 加工圧力に対する磁石と浮子の距離の関係

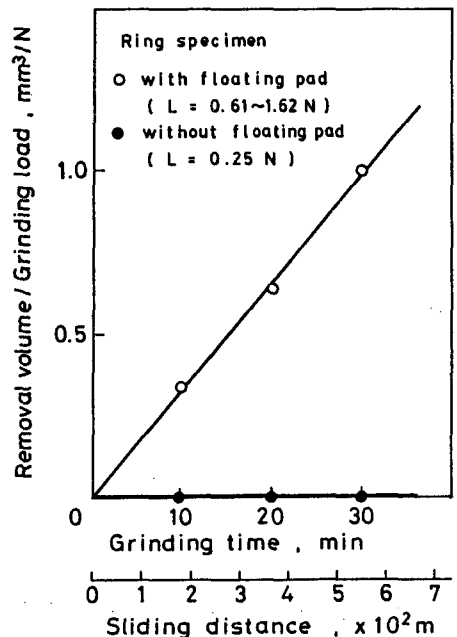


図3 研磨進行曲線（窒化ケイ素のリング面研磨）

それぞれ $20 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, $3.0 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ であった。このような研摩率に及ぼす各種因子の影響が明らかにされた。アルミニウム合金の場合、研摩率は加工荷重と共に増加するが、ある加工荷重を越えると急激に減少した。一方、窒化ケイ素の場合、研摩率は加工荷重によらず一定であった。しかし、この場合も、ある加工荷重を越えると研摩率は急激に減少した。また、アルミニウム合金と窒化ケイ素共に研摩率を最大にする最適な砥粒粒径及び砥粒添加率が存在した。また、研摩率に及ぼす浮子の材質、磁性流体の粘度の影響も明らかにされた。

さらに、表面あらさに及ぼす各種因子の影響も明らかにされた。研摩面の最大高さあらさは砥粒粒径と共に減少したが、回転速度、砥粒添加率には無関係であった。表面あらさに及ぼす加工荷重、浮子の材質、磁性流体の粘度の影響も明らかにされた。

第4章 窒化ケイ素の球研摩

第3章の結果より、浮子を用いた磁性流体研摩によって窒化ケイ素がGC砥粒により有効に研摩できる事が明らかになった。そこで本章では、浮子を用いた磁性流体研摩における形状制御性を検討するための具体例として、磁性流体球研摩装置を考案し、形状制御性を示す指標としての直径不同及び研摩率に対する浮子の効果を明らかにした。図4に浮子有りの場合と無しの場合における研摩進行曲線を示す。図4より各研摩時間における浮子有りの場合の研摩量は、浮子無しの場合の研摩量の約3～5倍であり、浮子が研摩量の向上のために有効である事がわかる。この時の最大研摩率は $12.4 \mu\text{m}/\text{min}$ であった。一方、図5に浮子有りの場合と無しの場合における直径不同と研摩時間の関係を示す。図5より、浮子有りの場合の直径不同は研摩時間と共に減少するが、浮子無しの場合の直径不同は、研摩時間と共に漸増する。

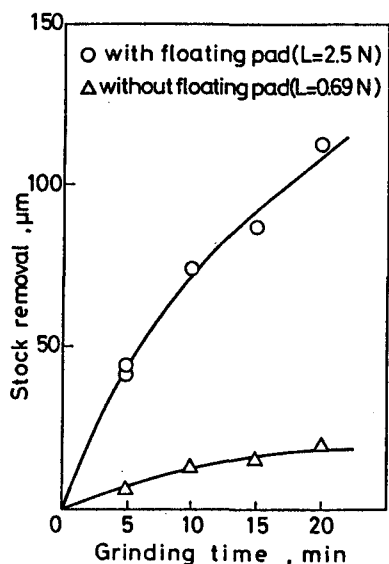


図4 研摩進行曲線（窒化ケイ素の球研摩）

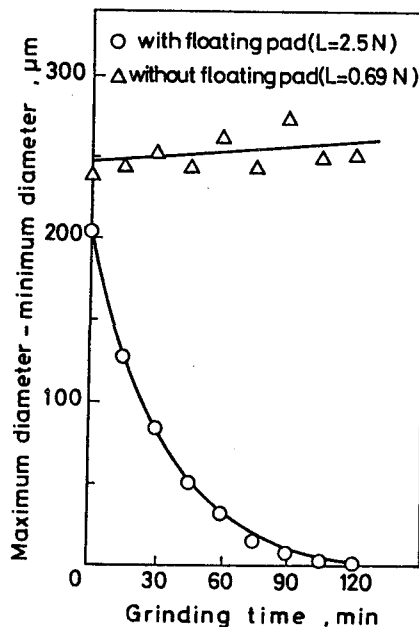


図5 直径不同と研摩時間の関係

すなわち、浮子が球の形状制御性において不可欠の役割をしている事が示された。以上の結果に基づいて、大量生産のためのミニプラントが設計・製作された。その結果、一度に研磨する球数が増加するにつれて、直径不同の最小値が減少する事が明らかにされた。

第5章 浮子を用いた磁性流体研磨の機構

本章では、第3章のリング面研磨の実験条件下における研磨の機構を延性材料であるアルミニウム合金と硬脆材料である窒化ケイ素に分けて明らかにした。研磨面のSEM観察結果及び研磨時におけるリングと浮子間の摩擦係数の大きさを考慮することにより、リングの表面は、リングと浮子の間に介在する砥粒のアブレシブ作用により研磨されると考えられた。ここに、アルミニウム合金の研磨は、砥粒のアブレシブ作用の繰り返しによる表面層の塑性疲労により進行すると考えられた。一方、窒化ケイ素の場合は、砥粒のアブレシブ作用による表面層の脆性破壊により進行すると考えられた。これらの研磨モデルにより、アルミニウム合金と窒化ケイ素のリング面研磨における研磨率に及ぼす加工荷重の影響が説明された。

第6章 結 論

砥粒を含む磁性流体を用いた磁性流体研磨において、大きな加工圧力を発生させるための新しい補助工具として浮子を考案し、浮子と磁場の設計指針を明らかにし、有効な磁場を作製した。次いでアルミニウム合金と窒化ケイ素の基本的磁性流体研磨特性に及ぼす浮子の効果を明らかにした。その結果に基づき磁性流体を用いた新しい球研磨法を考案し、窒化ケイ素の球研磨においてその有効性を示した。さらに実用化のためのミニプラントを設計・製作し、大量生産方式の可能性を明らかにした。また、アルミニウム合金と窒化ケイ素において、浮子を用いた磁性流体研磨の機構を、それぞれ表面層の塑性疲労に基づくモデルと脆性破壊によるモデルにより説明した。第2章から第5章までに得られた結果をまとめて本章に列記した。

審査結果の要旨

砥粒を含む磁性流体と磁場を組合せ材料を研磨しようとする新しい試みはこれまでに成功していない。その主たる原因は研磨に必要な加工圧力を発生させられないことと、研磨における形状制御の方法が見い出されないことにあった。

本論文は、磁性流体研磨におけるこのような問題点を解決するために、新しい補助工具としての“浮子”を考案し、その設計指針を明らかにすると共に、その実用的有効性を実証したもので全編6章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、磁性流体中の浮子を介し磁場により研磨に十分な加工圧力を任意に発生させられることを理論と実験により示し、浮子と磁場設計のための基本方針を与えている。これは磁性流体研磨の可能性を初めて確実なものにした重要な知見である。

第3章では、アルミニウム合金と窒化ケイ素について、浮子を用いた磁性流体研磨の基本特性を実験により調べ、浮子無しでは研磨されないこれらの材料が、浮子を用いることにより有効に研磨されることを示している。これは浮子を用いた磁性流体研磨の実用化のために有効な知見である。

第4章では、浮子を用いた磁性流体研磨による球研磨装置を作製し、従来の球研磨法よりも40倍以上大きな研磨率で窒化ケイ素を研磨できること、および十分に良い真球度に仕上げられることを示している。さらに大量生産のためのミニプラントを作製し工業的な有効性も実証している。これらは浮子を用いた磁性流体研磨が実用的な研磨率と形状制御性を有することを明確にした重要な知見である。

第5章では、浮子を用いた磁性流体研磨の機構を理論的に解析し、アルミニウム合金の研磨は砥粒のアプレシブ作用による表面層の塑性疲労によるものであり、窒化ケイ素の研磨は表面層の脆性破壊によるものであることを明らかにしている。これらの知見は磁性流体研磨の今後の発展のための基礎として重要である。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、砥粒を含む磁性流体と磁場の組合せに対し浮子を導入することにより、新しい研磨法としての磁性流体研磨の基礎を確立したもので、機械工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。