

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06086

研究課題名(和文) 放電除去熱量と残存熱量の拡散に伴う加工現象の解明とその表面機能制御への応用

研究課題名(英文) Clarification of machining phenomena due to diffusion of electrical discharge removal heat quantity and residual heat quantity or its application to surface function control

研究代表者

武澤 英樹 (Takezawa, Hideki)

工学院大学・先進工学部・教授

研究者番号：40334148

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：放電加工等により着磁磁石の形状の制御と磁化の制御とを「同時に」、あるいは「独立に」行う手法の確立を目指してきた。本研究では、放電加工中の磁石内部温度分布の把握と、加工面磁束密度変化を明らかとできた。加工の進行に伴い、加工面磁束密度が低下するため、放電加工特性が変化するのでと気づき、初期着磁率の異なる磁石への放電加工を試みた。その結果、飽和状態に着磁された磁石では、加工により発生する加工粉が加工磁石面に再付着するため、その加工粉へ放電が生じていることがわかった。そのため、初期着磁率が低い磁石に対して加工時間が長くなり、入力エネルギーが大きくなるため、磁束密度低下が加速されることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

各種モータや電子機器に多用されている永久磁石の、小型・複雑形状の磁石成形において、小数ロットあるいは寸法サイズが小さすぎる場合は、金型での対応が難しい。そのため、市販磁石に追加工を行う、あるいは市販磁石からより小さなサイズの磁石に分割する等の加工技術の確立が必要になる。本研究で提案される放電加工による永久磁石への加工では、穴加工等の形状加工はもとより、ワイヤ放電加工による切り出し加工も可能である。その際、必要となる磁力を保ったまま、あるいは磁力を制御しながら加工を行うための放電条件の設定目安を示すことができている。

研究成果の概要(英文)：We have been aiming to establish a method to control the shape of the magnetized magnet and the magnetisation "simultaneously" or "independently" by EDM. In this study, we were able to understand the temperature distribution inside the magnet during EDM and clarify the change in magnetic flux density on the machined surface. As the machining progressed, the magnetic flux density on the machined surface decreased, and we noticed that the electrical discharge machining characteristics changed. As a result, it was found that, in a magnet magnetized in a saturated state, the machining powder generated by machining reattaches to the surface of the machining magnet, so that electric discharge occurs in the machining powder. As a result, it was found that the processing time becomes longer and the input energy increases for a magnet with a lower initial magnetization rate, which accelerates the decrease in magnetic flux density.

研究分野：精密加工

キーワード：放電加工 永久磁石 磁石内部温度 表面磁束密度 初期着磁率

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

高脆材料であり着磁された磁石の機械加工は少ないが、市販磁石に追加工を行いたいとの希望は多い。一方、永久磁石は導電性材料のため、放電加工が可能である。ただし、パルス放電による熱エネルギー加工であるため、放電点近傍は材料の融点以上に達する。磁石は、キュリー点を有しその温度以上になると磁力を消失する。また、それ以下の温度でも、100℃程度以上で温度依存性があり磁力が弱まる。逆にこの性質を利用して、磁石の形状と磁化特性を「同時に」または「独立に」制御することを目的に研究を進めてきた。単純な突き当て放電加工における、各種放電条件と加工後の表面磁束密度の関係を明らかとして、表面磁束密度を制御できる可能性が見出された。

### 2. 研究の目的

上記背景より、放電加工の基本除去単位である、単発放電痕生成における溶融部の飛散と材料内部の温度分布を予測することで、永久磁石の放電加工における磁気特性の予測が可能となり、磁石形状と磁気特性を「同時に」あるいは「個別に」制御する手法が確立できる。そのためには、磁石内部温度分布の精確な予測と、熱伝導解析からのアプローチを試みる。

### 3. 研究の方法

加工実験は、直径 10mm、高さ 10mm の円筒ネオジウム磁石（加工前実測値：510mT）の N 極側から、直径 11mm の銅電極（極性プラス）を用いて高さ 1mm 除去の突き当て加工を行った。加工条件は主として中荒加工条件を基本とした（電流値 20A、パルス幅 128 マイクロ秒、D.F. 50%）。加工中の磁石内部温度を測定するために、加工前の磁石上端から 2mm、4mm、6mm の位置に磁石側面から熱電対挿入穴をあけ、同時に測定した。さらに、加工中の放電波形を記録し、放電状態の分類を行った。加工の進行に伴い、加工部位の磁束密度が低下することがわかったので、初期着磁率の異なる磁石サンプルを製作し、同様の突き当て加工を行い、磁石内部温度分布の変化と加工時間および放電状態を比較した。

磁石内部温度の解析には、既設のソフト COMSOL を用い、材料除去過程の連成解析を試みる。その後、磁気解析も連成することにより、永久磁石の放電加工中における磁束密度変化の推定を行う。

### 4. 研究成果

各種放電条件における磁石内部温度分布とその変化を、3点同時に計測する手法を確立し実測ができた。電流値 20A の条件を一例として図 1 に示す。初期測定場所 2mm（加工終了直前は 1mm）では、180℃程度を示しており、温度依存性により磁束密度の低下が十分発生していることがわかる。また、加工初期 30 秒程度にかけて温度上昇するが、測定位置 3 点の温度上昇変化の違いより熱量の移動を推定し、加工面の平均温度を推定できることがわかった。

一方、初期着磁率の異なる磁石でも同様の内部温度変化を測定したところ、初期着磁率が低くなるほど磁石内部温度は低くなり、さらに加工時間も短くなることがわかった。放電加工条件（電流値とパルス幅）は同一であることを、放電波形の観察より確認している。放電加工では、同一加工条件であれば放電頻度の違いが加工速度に影響することが知られている。加工時間が短くなることから、初期着磁率が低い磁石の加工では、単位時間当たりの放電発生回数が高いことが予測される。しかしながら、その場合単位時間当たりの入熱エネルギーは大きくなるため磁石内部温度は高くなると考えられるが、実測値は逆であり矛盾する。そこで、放電波形の観察から放電状態の分類を行った。図 2 に、初期着磁率 100%と完全脱磁した 0%磁石の分類を

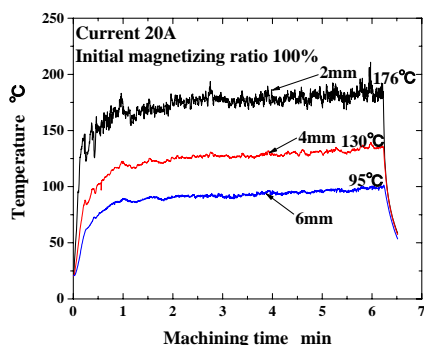


図 1 磁石内部温度分布と時間変化

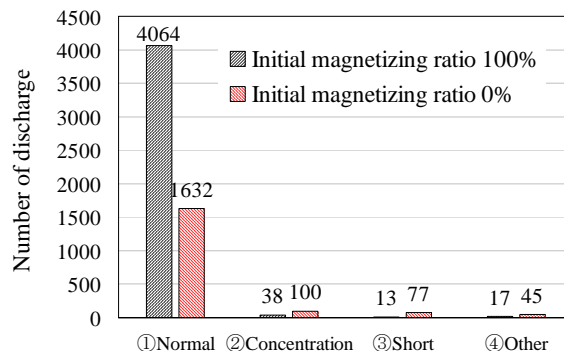


図 2 放電分類状態の比較

示す。初期着磁率 100%では、正常放電が 0%よりも 2.5 倍程度高い。にもかかわらず加工時間が

長くかかるのは、加工で発生した加工粉が加工部位近傍に再付着し、その加工粉に対する放電が発生しているのではないかと考えた。そこで、電極中央部に加工液噴出穴を設け加工液の噴出による加工粉の再付着を低減した加工を行ったところ、正常放電数は両者とも低減することがわかり、上記仮説が正しいと予想された。この結果をうけて、解析条件にフィードバックすることを試みたが、加工粉の付着状況を精確に解析モデルに組み込むことが困難となり、実験的な把握にとどまった。

研究開始前に予測した、放電条件で予測される磁石内部温度分布による磁気特性変化の解析は、加工粉の付着による放電頻度の変化および磁石内部温度への影響を考慮する必要性が明らかとなった。このような現象は、永久磁石の放電加工における特有の現象であることが本実験を通して明らかとなった。加工液噴出による加工粉再付着の防止効果も認められたが、加工液噴出による冷却効果を考慮する必要がある、この場合も解析モデルの構築は簡単ではない。今後は、主軸降下量（材料除去量に相当）と放電頻度をモニタリングすることにより、材料除去に有効に作用している放電割合から、付着した加工粉への放電割合を予測するようなモデル構築による、磁石内部温度解析が考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 武沢英樹, 遠山彰吾
2. 発表標題 永久磁石の放電加工における初期着磁率の違いと加工粉の影響
3. 学会等名 日本機械学会 第13回生産加工・工作機械部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shogo Toyama, Hideki Takezawa
2. 発表標題 Study on Characteristic of EDM for Permanent Magnets with Different Initial Magnetizing Ratio
3. 学会等名 The 21nd International Symposium on Advances in Abrasive Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 遠山彰吾, 武沢英樹
2. 発表標題 初期着磁率を変化させた永久磁石の放電加工特性 - 加工中の磁石内部温度の違い -
3. 学会等名 電気加工学会全国大会(2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 遠山彰吾, 武沢英樹, 小松健吾
2. 発表標題 永久磁石の放電加工における加工粉の影響
3. 学会等名 日本機械学関東支部第25期総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠山彰吾, 武沢英樹, 小松健吾
2. 発表標題 初期磁化率の異なる永久磁石への放電加工における内部温度と磁束密度変化
3. 学会等名 日本機械学会関東支部第24期総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shogo Toyama, Hideki Takezawa, Kengo Komatsu
2. 発表標題 Change in Magnetic Flux Density Consider of Shape and Internal Temperature for Permanent Magnets by EDM
3. 学会等名 The 7th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 遠山彰吾, 武沢英樹
2. 発表標題 磁性材料の放電加工における磁石内部温度分布と磁束密度変化の関係
3. 学会等名 2017年度日本機学会年次大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----