永久磁石の放電加工における加工雰囲気の影響

Influence of Machining Environment on Permanent Magnet by EDM

武沢英樹・工学院大学
Hideki Takezawa, Kogakuin University

横手暢弘・工学院大学
Nobuhiro Yokote, Kogakuin University

毛利尚武・大学評価・学位授与機構
Naotake Mohri, National Institution for
Academic Degrees and University Evaluation

During EDM of the permanent magnet, a second magnet for the external magnetic field was set up, and the internal temperature and surface magnetic flux density on the opposite surface of the permanent magnet during machining were evaluated. It was found that even though the internal temperature of the magnet remained unchanged, the surface magnetic flux density changed when the external magnetic field was varied. In addition, the magnetic field generated by the magnet changed when a plate with high permeability was pressed onto the surface of the permanent magnet.

Key Words: EDM, Permanent Magnet, Surface Magnetic Flux Density, Magnetic field

1. 緒言

筆者らはこれまで、硬脆材料であり磁力を有することから加工が難しいネオジム磁石の熱エネルギー加工について研究を進めてきた^{1) 2)}。ネオジム磁石は、磁力を消失する 320℃ 程度のキュリー点を有する。また、着磁後に形状が変化すると、それに依存して表面磁束密度分布が変化する。そこで、着磁後のネオジム磁石の形状と磁束密度分布を同時に、あるいは個別に制御することを目的に研究を進めてきた。これまでに、円筒形磁石の磁石高さを低減する突き当て加工では、放電条件によって磁石の内部温度が変化し、磁石内部温度に依存して、加工面の磁力低下が生じる。また、角形磁石の中央に底付き穴加工を行うと、穴対向面の中央部が転極する現象があることがわかっている。

本研究では、角形ネオジム磁石の底付き穴加工において、加工磁石の周りに発生する磁場状態に変化を与えた影響について調べた。

2. 通常の磁場雰囲気での底付き穴加工

はじめに、加工磁石自身による磁場雰囲気中で角形ネオジム磁石の中心に底付き穴加工を行い、各穴深さの加工穴対向面の磁束密度変化を測定した。実験に用いたネオジム磁石は (Nd-42, 推奨使用温度 80℃ 以下, 初期表面磁束密度 360mT) であり、10×10×5mm の角形である。形彫放電加工機 (ソディック製 AM3L) を用いて、直径 3mm の銅電極を正極性とし、N 極面の中心から穴深さ 2.5mm, 3.5mm, 4.5mm の 3 種類の加工を行った。電流値 5A, On-Off time 32μs, D.F. 50% の放電条件を使用し、磁束密度の測定は加工後磁石が常温に戻った後に、加工穴対向面中心部にテスラメータのホール素子を密着させて計測した。その結果、図 1 中それぞれの左棒

Fig.1 Change in the magnetic flux density due to EDM before and after magnetization as a function of the hole depth

の値で示されるように、2.5mm 穴深さでは約 60mT [S 極]、穴深さ 3.5mm 及び 4.5mm では転極現象が発生し約 50mT [N 極] となった。穴深さの違いにより急激な磁束密度低下や転極現象が起きた理由として、放電加工による内部温度上昇や底付き穴形状変化による影響では無いかと推察した。

そこで、①形状変化に伴う磁束密度変化、②加工中の内部温度変化に伴う磁束密度変化の 2 種類の影響を確かめるために、次のような実験を行った。一つめ①は、同形状の磁石を異なる着磁タイミングで製作し、表面磁束密度を比較した。具体的には最終着磁前の角形ネオジム磁石に対して、底付き加工を行い、その穴加工後に着磁を行ったサンプルを作成し、着磁磁石の加工サンプルと比較した。穴加工後に着磁されたサンプルは、加工後に一軸方向に着磁されたため、形状にのみ依存する磁力を持つ磁石となる。図 1 に両者をまとめて示す。加工後着磁した磁石の穴対向面では転極現象は発生せず、2.5mm 穴深さで約 320mT [S 極]、3.5mm 穴深さで約 270mT [S 極]、4.5mm 穴深さで約 80mT [S 極] といずれも S 極のままであった。穴深さが増すに従い磁束密度は減少するが、転極には至らない。これより、加工中に随時変化する磁石形状に依存して磁石自身から発生する磁場に変化が生じ、加工後の表面磁束密度に影響を与えていることが考えられる。

二つめ②の実験では、着磁磁石の穴深さ 2.5mm 放電加工中の磁石内部温度の測定を行った。先端約 0.5mm の K 熱電対を用いて、図加工面上面 [N 極] より 3.5mm 下の中心位置で計測した。この条件では、計測部位の磁石内部温度は加工開始から終了までほぼ一定の約 50℃ であった。磁石の推奨使用温度が約 80℃ であることを考慮すると、磁石内部の温度上昇による磁束密度の低下は小さいと考えられる。ただし、加工後の穴対向面の磁束密度は 360mT から 60mT へと大幅に減少する。これより、加工穴深さの違いによる磁束密度の低下や転極現象の発生は、磁石形状が変化することの影響が大きく、これは、磁石形状に依存して磁石から発生する磁場が変化していることが影響しているのではないかと推察するにいたった。

Fig.2 Schematic diagram of the experimental set up

3. 外部磁場雰囲気を変化させた底付き穴加工

次に、磁石の形状加工においては、加工中の磁石周囲の磁場状態の変化が、加工後の磁束密度変化に影響を与えていることが推察されたことから、積極的に磁石周囲の磁場状態を変化させて、底付き穴加工を行った。穴加工中の加工磁石周囲の磁場を変化させるために、磁気シールドや磁気遮断で利用される 78-パーマロイ板(ニコラ製)を用いた。板サイズは $50 \times 50 \times 2\text{mm}$ であり、図 2 の様に 3 種類の設置方法で比較した。同図-(a)(c)の場合は、上面の板中央部に直径 3.5mm の穴をあけ、直径 3mm の電極が通過できるようにしてある。加工中の内部温度計測は前節と同様にして行った。加工後の磁束密度の測定では、磁石が常温に戻った後にパーマロイ板を取り外して測定を行った。

それぞれ加工中の内部温度計測の結果を図 3 に示す。パーマロイ板の有無及び設置面の違いによって内部温度の差はなく、パーマロイ板を設置しない場合と同様に、加工面 1mm 下で約 50°C となった。これより、加工中の外部磁場が変化しても、磁石内部温度に変化はなく、磁石内部温度は加工条件に依存することがわかる。

図 4 に、加工穴深さ 2.5mm における 3 種類のパーマロイ板設置と無設置の場合の、加工後の穴対向面の磁束密度変化を示す。パーマロイ板を設置すれば、3 種類の方法で磁束密度の値は異なるが、いずれの場合も磁束密度の低下が小さくなることわかる。上面に設置した場合では、加工前と比べて約 52% 減少し 170mT [S 極]、下面・上下面に設置した場合はほぼ同等であり約 22% 減少し $270 \sim 280\text{mT}$ [S 極] となった。いずれも磁石単体で加工した場合と比較して磁束密度の低下は小さくなっている。いずれの場合も、加工中の磁石内部温度はほぼ 50°C 程度と同様であることから、加工後の磁束密度の違いは、加工中の磁石外周部に生じる磁場の違いが影響していると推察できる。

パーマロイ板を各設置面においた時の加工磁石自身から発生する磁場を定常による解析を行った。解析ソフト COMSOL Multiphysics を用いて、加工前の初期状態のみの比較をした。

Fig.3 Change in the internal temperature during EDM with appressed Permalloy 78 plates

図 5 に各パーマロイ密着面時の磁石断面を磁力線として示す。同図(1)のパーマロイ板を上面に設置した場合では、磁石から発せられた磁場はパーマロイ内部を通過して外側に発散し、磁石上面に出る磁力線は非常に少ない。同図(2)のパーマロイ板を下面に設置した場合では、N 極から発せられる磁場は空間を通過し、パーマロイ板内部を通過して S 極に戻る。この時 S 極に戻る磁場はパーマロイ内部で集約されている。同図(3)では、N 極から発せられた磁場は上面のパーマロイ内部を通過して磁石外側に発散され、発散された磁場は下面のパーマロイ内部を通過して集約され S 極に戻る。加工前の磁石から発せられる磁場状態を見ても違いがある為、加工後の磁束密度変化の違いはパーマロイ密着による加工中の磁場変化だと推察できる。

4. 結 言

角形ネオジム磁石の中央に、同一加工条件にて底付き穴加工を行う際、加工中の磁石外周部の磁場を変化させた。その結果、加工後の穴対向面の磁束密度に違いが見られ、以下の内容が明らかとなった。

- (1) 同一加工深さの穴加工でも、パーマロイ板の設置方法により、加工後の穴対向面の表面磁束密度に違いが生じる。加工中の磁石内部温度はいずれの場合も同一であるため、パーマロイの設置方法による影響と考えられる。
- (2) 加工磁石にパーマロイを密着させた時の、定常磁場解析を行った結果、それぞれの設置方法で磁場の状態が変わることがわかる。これら、加工磁石の外周部に発生する磁場状態の違いが磁束密度変化に影響していると考えられる。

<参考文献>

- (1) Hideki TAKEZAWA et al., Relationship between Thermal Influence and Magnetic Characteristics in Electrical Discharge Machining of Magnetic Materials, Key Engineering Materials Vol. 516 (2012) pp.575-579.
- (2) Yoshihiro ICHIMURA et al., Relationship between Magnetic Flux Density and Temperature Distributions of Permanent Magnets by EDM, Key Engineering Materials Vol. 523-524 (2012) pp.322-327.

Fig.4 Magnetic flux density as a function of the appressed type

Fig.5 Static magnetic field analysis results