

## 硬磁性体材料の加工特性と強度特性

### Characteristics of Strength and Machining on Hard Magnetic Materials

武川集斗<sup>1)</sup>

井草海人<sup>2)</sup>

指導教員 立野昌義<sup>3)</sup>

1) 工学院大学 工学部機械工学科 材料力学研究室

2) 工学院大学大学院 工学研究科機械工学専攻

3) 工学院大学 工学部機械工学科

機械の高速回転化を実現するにあたり、内蔵される永久磁石の安全性評価が求められる。本研究では、永久磁石として用いられるネオジウム磁石の強度評価およびワイヤカット放電加工における加工特性評価を行い、得られた結果について検討を行った。

キーワード：ネオジウム磁石、放電加工、研削加工

#### 1. 緒言

硬磁性材料の中でもネオジウム(Nd)、鉄(Fe)、ボロン(B)を主成分とした焼結磁石は、HDD など磁気が求められる用途で既に応用されている<sup>1)</sup>。この焼結磁石の応用範囲は自動車産業分野などで今後も活用が期待される、硬磁性体材料の用途の多様化に伴って、構造上の安全性を確保する上で強度特性の把握も重要となる。本研究では、ネオジウム磁石の放電加工および機械加工後の表面層を有する材料の強度特性について明らかにすることを試みた。

#### 2. 実験方法

本実験では、ワイヤカット放電加工機を用いて、焼結したネオジウム平板から JIS R 1601<sup>2)</sup> に基づく曲げ試験片を切り出し、この試験片の破壊強度・弾性係数を測定することで、力学的特性の評価を行った。以下に実験方法の概略を記述する。

##### 2.1 安定放電加工条件と試験片切出条件

試験片の切り出しはワイヤカット放電加工機 (FANUC Co. Ltd, ROBOCUT $\alpha$ -OC) を用いた。本研究の事前検討では、放電加工可能な安全加工条件を明確にする必要があったため、無負荷電圧 80V 一

定条件下で、放電パルス幅 $\tau_{ON}$ および放電休止時間 $\tau_{OFF}$ を組み合わせた条件下における加工速度を測定し、ワイヤ断線などが無い安定放電加工下における高効率条件を明確にすることを試みた。この時の実験にはネオジウム平板を垂直に配置してワイヤに対して直行するように配送し、一方向加工時の安定加工速度を測定し、加工条件と加工速度との関係から試験片切出し条件を設定した。一連の加工実験結果に基づき安定加工条件を明らかにした。強度特性に用いる試験片加工に用いる放電加工条件は上記の結果に基づきパルス幅 10.0 $\mu$ s、休止時間 22.5 $\mu$ s と設定した。試験片の切り出しの様子を図 1 に示す。

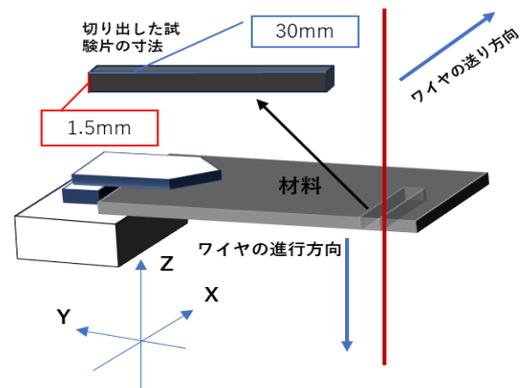


図1ワイヤカット放電加工の概要図

## 2. 2 研削加工条件

強度用試験片に関しては、放電加工面を有する試験片の他に放電加工面を一定量研削加工除去した試験片を曲げ試験に適用した。研削加工は株式会社岡本工作機械製作所製平面研削盤 (PSG-64AN) を使用、砥石にはダイヤモンド砥石 (SDC140, ボンド:B25, 集中度:100, 寸法 D355T38H127X3) を用いた。図2には実際に研削加工の一連の流れを示した概略図を記述した。加工方法は研削の長手方向を研削した。なお曲げ試験は条件毎に5回実施し、必要に応じて実験回数を増やした。

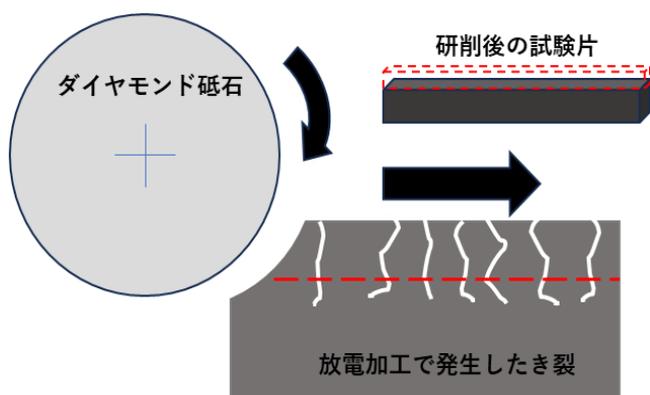


図2. 研削加工の概要図

## 2. 3 強度評価

試験片を三点曲げ試験機(株式会社東京試験機社卓上試験機ミドルセンサーMSC-10/500-2)にセットし、JIS R 1601:2008<sup>2)</sup>に基づいて実施した。このときストローク速度を0.5mm/分で設定した。圧子が試験片に接触した地点を基準点とし、破断時までの荷重および変位を記録した。この実測値と支点間距離を曲げ強度評価式<sup>2)</sup>に代入することで破壊強度を算出した。測定の際にひずみゲージ(共和電業製KFGS-1-120-C1-11L1M2R)を使用し、荷重負荷時に対応したひずみを測定した。これらの結果から得られた応力-ひずみの傾きから弾性係数を求めた。なおこの傾きは最小二乗法により算出した。

## 3 実験結果

破壊強度に及ぼす研削加工の影響を図3に示す。研削加工されたネオジム磁石の平均破壊強度(研削量100 $\mu\text{m}$ )は $311 \pm 40\text{MPa}$ 付近の強度を示した。

放電加工面を有する試験片(研削量0 $\mu\text{m}$ に対応)の平均破壊強度は $257 \pm 25\text{MPa}$ であった。両者を比較した結果、研削加工した試験片の破壊強度は、放電加工ままの試験片の破壊強度に比べ強度改善した。研削量100 $\mu\text{m}$ は、セラミックスを対象とした大勝らの研究報告<sup>3)</sup>から、変質加工層を除去し強度回復する十分な研削量であることから、今回の結果についても十分に放電加工により生成された残留応力を除去する上で十分な研削量であると考えられる。したがって両者を比較することで放電加工面および研削加工面を有するネオジム磁石試験片に関する強度特性を評価する上で有効なデータを得た。

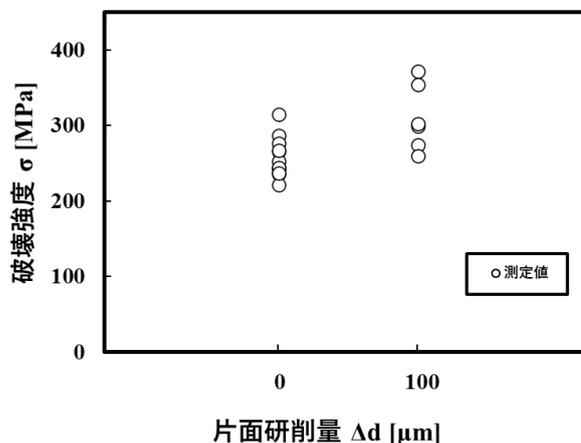


図3. 研削量ごとの破壊強度

## 4. 結論

本研究では、ネオジム磁石の放電加工および機械加工後の表面層を有する材料の強度特性を評価する上で有効なデータを得た。

## 5. 参考文献

- 1) 佐川真人. 「永久磁石材料の高性能化を極める」. 電気学会論文誌. 1999;119(12):26-31.
- 2) JIS R 1601:2008, ファインセラミックスの室温曲げ強さ試験方法
- 3) 大勝 啓資ほか, 導電性ジルコニアにおけるワイヤカット放電加工面き裂寸法評価, 材料, Vol.68, No.9, (2019), pp.686-692