

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号

特許第7804266号  
(P7804266)

(45)発行日 令和8年1月22日(2026.1.22)

(24)登録日 令和8年1月14日(2026.1.14)

(51)Int. Cl.	F I
H 0 1 F 41/02 (2006.01)	H 0 1 F 41/02 G
H 0 1 F 1/057 (2006.01)	H 0 1 F 1/057 170
H 0 1 F 7/02 (2006.01)	H 0 1 F 7/02 E
B 2 3 H 9/00 (2006.01)	B 2 3 H 9/00 Z

請求項の数 1 (全 8 頁)

(21)出願番号	特願2024-181503(P2024-181503)	(73)特許権者	713000630
(22)出願日	令和6年10月17日(2024.10.17)		マグネデザイン株式会社
審査請求日	令和6年11月6日(2024.11.6)		愛知県知多郡美浜町大字豊丘字北平井2番地4
早期審査対象出願		(72)発明者	本蔵 義信
前置審査			愛知県知多郡東浦町大字緒川字東仙台33番地の10
		(72)発明者	菊池 永喜
			愛知県東海市荒尾町寿鎌109番地
		(72)発明者	三嶋 千里
			岐阜県各務原市鵜沼東町3丁目16番地1
		(72)発明者	光永 知仁
			愛知県常滑市大谷字鴨92-12
		審査官	久保田 昌晴
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】薄型リング磁石および薄型リング磁石の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

N d F e B 焼結磁石の薄型リング磁石の製造方法において、  
 工程1) 直径は1 mm ~ 3 mm、高さは0.1 mm ~ 0.35 mm、かつ高さ/直径のアスペクト比は0.08 ~ 0.15からなる薄型平板状のN d F e B 焼結磁石を素材磁石として準備し、  
 工程2) 前記素材磁石に対して、平板面に垂直方向に電流10 A ~ 30 A、電圧30 V ~ 80 Vの放電加工により直径0.35 mm ~ 1.35 mmの予備穴を形成し、  
 工程3) 前記予備穴に対して、前記放電加工により発生した鉄粒子による組織変質相を除去するために前記予備穴の直径をドリル加工により0.1 mm ~ 0.4 mm拡大して、直径0.5 mm ~ 1.5 mmの穴を形成し、  
 工程4) 前記ドリル加工時の歪みの影響により喪失した磁性を回復するために450 ~ 550、0.5 hr ~ 1.5 hrの熱処理する、  
 ことからなることを特徴とするN d F e B 焼結磁石の薄型リング磁石の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、希土類焼結磁石よりなる薄型リング磁石および薄型リング磁石の製造方法に関する。

【背景技術】

## 【 0 0 0 2 】

NdFeB焼結磁石などの希土類焼結磁石は、例えば、合金粉末を準備する工程、合金粉末をプレス成形して成形体を作製する工程、成形体を焼結する工程を経て製造される。成形体を焼結する工程によって得られた焼結体は、焼結時の不均一な収縮が避けられないことからそのままでは個片化され、部品として使用されることは困難であった。そこで、研削、切断、研磨などの機械加工が必須となっている。

## 【 0 0 0 3 】

特に、リング形状の場合には、平坦な上下面に加えて外径側面、内径側面の形状の複雑さは焼結工程における収縮の不均一性を一層拡大する。さらに、薄型かつ高さや直径のアスペクト比が小さいリング磁石においては、成形体は形成できるものの成形体を焼結すると収縮量の不均一性が高さより大きくなって研削・研磨の対象材とはならなくなる。

10

## 【 0 0 0 4 】

NdFeB焼結磁石の加工方法については、機械加工では磁気特性の劣化が問題なることからワイヤカット、放電加工の場合は応力集中が少ないことが開示されている（特許文献1）。一方、放電加工の速度を高めるとスラッジによる劣化層が問題となり、対策として加工速度2.0mm/分以上の加工が開示されている（特許文献2）。これらはいずれも素材の加工に関するものである。

## 【 0 0 0 5 】

一方、焼結磁石の微小な穴あけ加工については、時計用磁石の加工が報告されているが加工による劣化が報告されている（非特許文献1）。

20

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 6 】

【 特許文献 1 】 特開平 1 0 - 1 2 3 9 9 号 公 報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 2 3 - 1 4 1 5 2 4 号 公 報

## 【 非特許文献 】

## 【 0 0 0 7 】

【 非特許文献 1 】 日本時計学会誌 1 5 0 ( 1 9 9 4 ) p 1 1 8

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

30

## 【 0 0 0 8 】

一般的に、リング磁石は円板磁石の中央に穴あけして製造する。穴あけ加工は、ドリルまたは放電加工にて加工するが、磁石の大きさに対して、穴部の体積比率が大きい場合やアスペクト比（高さ/直径（外径））が0.1程度と小さい場合にはドリル加工では磁石が割れてしまうので、放電加工で予備穴をあけて、ドリルで仕上げ加工を行っている。現在の加工の仕方では、加工時のひずみや熱によって、磁石特性が劣化する結果となっており、磁石特性の劣化を防ぐ加工法の開発が求められている。

特に直径1mmから3mm、高さ0.1mmから0.35mm、つまり高さ/直径のアスペクト比0.1程度、直径に対して穴径が30%~50%程度と比較的大きな穴径0.5mm~1.5mmの薄型磁石において、割れやすく、磁石特性の低下が著しく、問題の解決法が求められている。

40

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 0 9 】

発明者らは、まず磁石特性劣化の冶金的原因を調査した。

図1は、放電加工による穴あけ加工後のリング磁石と加工前の磁石素材とを比較した図である。減磁曲線にクニック現象が発現、磁石の高温耐久性の指標でもある角形性（磁化が10%低下する磁場）の劣化がおこる。

図2、図3は、放電加工によるリング加工断面を観察した結果を示す。まず、加工面の拡大図（b）より、内部11は粒界割れなどの異常は認められないが加工面12には100μm~200μmの凹凸が存在している。それらの組織観察より、内部11は良好なNd

50

FeBの組織(c)を示しているが、放電加工面12の組織(dおよびdの拡大図e)には表面溶融部121の存在が認められ、そこにはFe粒子(122、122Fe)の析出が認められた。これらによる組織変質層は10 $\mu$ m~150 $\mu$ mの厚さである。

#### 【0010】

これまで、切削加工によって生じる応力や歪で劣化することは文献等で報告されているように理解されていたが、今回放電加工による表面溶融部における鉄粒子の析出による磁気変質層の存在は初めてである。

以上の結果から、主な特性劣化の原因は鉄粒子の存在(組織変質層)とドリル加工時の歪の影響部(磁気特性劣化層)と判断し、その対策として、磁気変質層の除去と磁気特性劣化層の失った磁性の回復を図ることにした。

#### 【0011】

鉄粒子の存在する組織変質層は、磁石特性に致命的なダメージを与えるので、ドリル加工で完全に除去することにした。つぎにドリル加工による磁気特性劣化層の磁石特性低下は熱処理で回復を図ることにした。

テストの結果、図4に示すように、放電加工により磁気特性を劣化させている表面溶融部や析出したFe粒子をドリル加工により除去すると磁気特性は改善すること確認した。

#### 【0012】

次に、ドリル加工品に熱処理を施すと、磁石特性はさらに回復することを見出した。図5に熱処理温度の影響を示す。熱処理を熱処理温度400~600で行うと、36MGOeから550で43MGOeと20%も回復することを見いだした。以上、磁石特性を改善する最終穴径に対する予備穴の径を適切にして、放電加工による表面溶融部をドリル加工で完全に除去するという方法を考案した。

なお希土類磁石としては、市販のNd磁石、高さ0.1mmから3mm、穴径は0.5mmから5mmの範囲で検討した。

#### 【発明の効果】

#### 【0013】

本発明は、小型で、薄型リング磁石に関するもので、時計用や磁石式義歯アタッチメントなど小型かつ薄型な製品に使用に適したものである。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0014】

【図1】磁石素材に放電加工によるリングの形成による磁石特性の変化を示す図である。

【図2】(a)放電加工によるリング断面、(b)リング断面の拡大図、(c)焼結磁石の内部組織、(d)放電加工面の組織、をそれぞれ示す図である。

【図3】(e)放電加工面の組織の拡大図、(f)放電加工面のFe粒子の検出ピーク、をそれぞれ示す図である。

【図4】放電加工、放電加工およびドリル加工、放電加工とドリル加工および熱処理、による磁気特性への影響を示す図である。

【図5】穴加工材(放電加工+ドリル加工)の磁気特性((BH)max)に及ぼす熱処理温度の影響を示す図である。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0015】

第1の実施形態である薄型リング磁石の製造方法は、次のとおりである。

NdFeB焼結磁石の薄型リング磁石の製造方法において、

工程1)直径は1mm~3mm、高さは0.1mm~0.35mm、かつ高さ/直径のアスペクト比は0.08~0.15からなる薄型平板状のNdFeB焼結磁石を素材磁石として準備し、

工程2)前記素材磁石に対して、平板面に垂直方向に電流10A~30A、電圧30V~80Vの放電加工により直径0.35mm~1.35mmの予備穴を形成し、

工程3)前記予備穴に対して、前記放電加工により発生した鉄粒子による組織変質相を除去するために前記予備穴の直径をドリル加工により0.1mm~0.4mm拡大して、直

10

20

30

40

50

径0.5mm～1.5mmの穴を形成し、  
 工程4)前記ドリル加工時の歪みの影響により喪失した磁性を回復するために450～550、0.5hr～1.5hrの熱処理する、  
 ことからなることを特徴とする。

【0016】

第2実施形態は、第1の実施形態の製造方法により製造したNdFeB焼結磁石の薄型リング磁石は、

直径は1mm～3mm、高さは0.1mm～0.35mm、高さ/直径のアスペクト比は0.08～0.15、穴径は0.5mm～1.5mmにて直径の30%～50%よりなり

かつリング内側部の組織には、Fe相を含む組織変質層およびドリル加工時の歪みによる磁気特性劣化層の存在しないことを特徴とするNdFeB焼結磁石の薄型リング磁石。

【0017】

以下、詳細に説明する。

<素材磁石>

薄型リング磁石の素材は、市販されているNdFeB焼結磁石の円盤状磁石で、その直径は1mm～3mm、高さは0.1mm～1.0mmにて高さ/直径のアスペクト比は0.08～0.33からなる。好ましくは、直径は1mm～3mm、高さは0.1mm～0.35mmにて高さ/直径のアスペクト比は0.08～0.15からなる。

精密小型部品として使用されるリング磁石の薄型部材として求められるサイズとアスペクト比である。

【0018】

<薄型リング磁石>

薄型リング磁石に求められる穴径は、磁石素材の直径1mm～3mmの30%～50%よりなる0.5mm～1.5mmである。穴径が小さいと磁石として磁力は高くなるが穴径の加工が難しく、また精密小型部品としての組み立てや穴に挿入する部材の強度など新たな課題が出てくる。逆に、穴径が大きくなると穴径の加工は容易になるが磁石部分が小さくなって磁力が低下する。

【0019】

<放電加工>

薄型リング磁石の作製において、薄い円板にドリル加工などの機械加工では素材磁石が簡単に割れてしまうことから溶融方法による穴あけが可能な放電加工を採用するが、図3(e)に示すように、この溶融による穴あけ加工は穴外周部の加工面に表面溶融部が存在し、そこにFe粒子を析出する組織変質層を形成して磁石特性に致命的なダメージを与えることから除去が必要である。

そこで、放電加工による穴あけの位置づけは、リング磁石を形成する穴あけのための予備穴とし、その直径は0.35mm～1.35mmである。径方向で0.1mm～0.3mm、組織変質層を含む0.05mm～0.15mmの厚さの除去を見込むものである。

また、この除去層によって加工面の凹凸を減少させることもできる。

【0020】

放電加工の条件は、素材磁石の厚みと予備穴の直径および放電加工によって形成される加工面の凹凸と組織変質層の厚さを考慮して、磁石素材の垂直方向に電流は10A～30A、電圧は30V～80Vとする。電流×電圧のエネルギー投入量が少ないと長時間を要し、エネルギー投入量が多いと短時間で穴あけができる。

【0021】

<ドリル加工>

ドリル加工は、予備穴の加工面の組織変質層の除去と凹凸を減少して平滑化のために行なう機械加工である。その加工量は、径方向で0.1mm～0.3mm、組織変質層を含む0.05mm～0.15mmの厚さである。

なお、除去と平滑化が可能な場合にはドリル加工に限定されるものではない。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 2 】

## &lt; 熱処理 &gt;

放電加工で生じた組織変質層をドリ加工で除去すると、図4に示すように、磁気特性は改善されるものの磁石素材の水準までは回復していない。これは、ドリル加工などの機械加工による磁気特性劣化層をしょうじているからである。図5に示すように、ドリル加工品（穴加工材）に熱処理温度400～500、好ましくは450～550で熱処理すると磁石素材とほぼ同等の磁気特性が得られて歪みは消滅している。

## 【 実施例 】

## 【 0 0 2 3 】

## &lt; 実施例 1 &gt;

直径3.0mm、高さ0.9mm、高さ/直径のアスペクト比0.3の薄型円板状のNdFeB焼結磁石を素材磁石として、20A、50Vの条件で放電加工を行なって1.5mmの穴（予備穴）をあけた。この時点での磁石特性は、3Tの磁場で着磁後、VSMで測定した結果、(BH)maxで34MGOeであった。

次に組織変質層を除去するために直径1.7mmのダイヤモンド砥石のドリルで穴開け加工を行ない、続けて500で1時間、真空雰囲気での熱処理を行なった。その結果、(BH)maxは44.3MGOeまで向上した。

なお、使用した直径3mmの焼結磁石の(BH)maxは44.2MGOeであるため、組織変質層が除去され、熱処理によって穴あけ加工による歪み劣化が除去されたことで(BH)maxは回復した。

## 【 0 0 2 4 】

## &lt; 実施例 2 &gt;

直径2.0mm、高さ0.2mm、高さ/直径のアスペクト比0.1の薄型円板状のNdFeB焼結磁石を素材磁石として、15A、40Vの条件で放電加工を行なって直径の40%である0.8mmの穴（予備穴）をあけた。この時点での磁石特性は、3Tの磁場で着磁後、VSMで測定した結果、(BH)maxで30MGOeであった。

次に組織変質層を除去するために直径1.0mmのダイヤモンド砥石のドリルで穴開け加工を行ない、続けて500で1時間、真空雰囲気での熱処理を行なった。その結果、(BH)maxは40.0MGOeまで向上した。

なお、使用した直径2mmの焼結磁石の(BH)maxは40.2MGOeであるため、組織変質層が除去され、熱処理によって穴あけ加工による磁気特性劣化層が除去されたことで(BH)maxは回復した。

## 【 産業上の利用可能性 】

## 【 0 0 2 5 】

薄型の焼結リング磁石は、薄型の磁性アタッチメントや時計部品を始めとして、精密部品としての利用が期待される。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 2 6 】

10：加工面

11：内部

12：放電加工面（拡大図）

121：表面溶融部

122：Fe粒子

122Fe：Fe粒子の検出ピーク

10

20

30

40

50

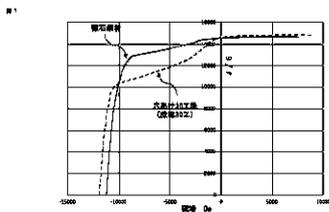
【要約】 (修正有)

【課題】高さ/直径のアスペクト比が0.1程度で、直径に対する穴径が30%~50%と大きい薄型リング磁石は、その製造において割れやすく磁石特性の低下が著しく、その解決法が求められている。

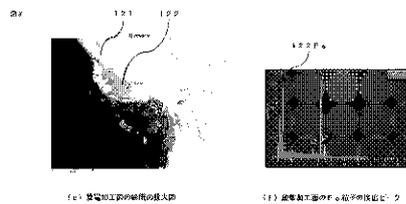
【解決手段】方法は、放電加工による予備穴を形成し、その放電加工熱により生じた予備穴の外周部の組織変質層をドリル加工により除去する。このドリル加工による歪み影響部は、磁気特性劣化層を熱処理により磁気特性を回復する。この製造方法により、直径1mm~3mm、高さ0.1mm~0.35mm、高さ/直径のアスペクト比0.08~0.33、穴径は0.5mm~1.5mmにて直径の30%~50%よりなる薄型リング磁石を提供できる。

【選択図】図4

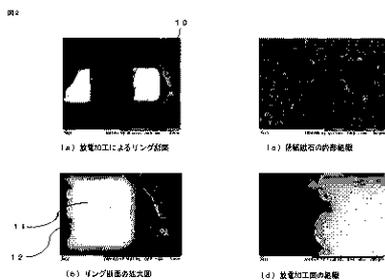
【図1】



【図3】



【図2】

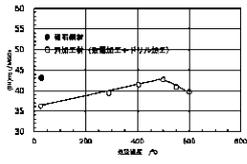


【図4】



【 図 5 】

■



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭54-098999(JP,A)  
特公平05-080121(JP,B2)  
特開平10-064746(JP,A)  
特公昭55-036262(JP,B2)  
特公昭62-052443(JP,B2)  
特開昭64-053515(JP,A)  
特開平01-107641(JP,A)  
特公昭63-067323(JP,B2)  
特開2023-141524(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01F 1/053 - 1/059、7/02、41/02  
H02K 15/03 - 15/038  
B23H 9/00  
B22F 3/00  
C22C 1/04、33/02