

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7209950号
(P7209950)

(45)発行日 令和5年1月23日(2023.1.23)

(24)登録日 令和5年1月13日(2023.1.13)

(51)国際特許分類

F I

C 2 2 C	38/00	(2006.01)	C 2 2 C	38/00	3 0 3 U
C 2 1 D	9/46	(2006.01)	C 2 1 D	9/46	5 0 1 A
H 0 1 F	1/147	(2006.01)	H 0 1 F	1/147	1 7 5
C 2 2 C	38/08	(2006.01)	C 2 2 C	38/08	
C 2 1 D	1/06	(2006.01)	C 2 1 D	1/06	A

請求項の数 17 (全21頁)

(21)出願番号	特願2021-539745(P2021-539745)	(73)特許権者	000003997 日産自動車株式会社 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
(86)(22)出願日	令和1年8月13日(2019.8.13)	(74)代理人	100102141 弁理士 的場 基憲
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/031854	(74)代理人	100137316 弁理士 鈴木 宏
(87)国際公開番号	WO2021/029014	(72)発明者	石川 一郎 日本国神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自動車株式会社 知的財産部内
(87)国際公開日	令和3年2月18日(2021.2.18)	(72)発明者	野田 豪 日本国神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自動車株式会社 知的財産部内
審査請求日	令和4年1月17日(2022.1.17)	(72)発明者	小川 和宏 日本国神奈川県厚木市森の里青山1-1 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電磁鋼板

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

主面と端面とを有する電磁鋼板であって、
母材部と、前記母材部に隣接し、かつ、前記端面に設けられた、窒素を含有する端面窒化層と、を備え、
前記端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下であり、
前記電磁鋼板の前記端面全体に窒素を含有する前記端面窒化層を備えることを特徴とする電磁鋼板。

【請求項2】

主面と端面とを有する電磁鋼板であって、
前記主面における面方向の中心側に位置し前記電磁鋼板の厚み方向全体で窒化層を有さない母材部と、前記母材部に隣接し、かつ、前記端面全体に設けられ、前記電磁鋼板の厚み方向全体に窒素を含有する窒化層を有する端面窒化層と、を備え、
前記端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下であることを特徴とする電磁鋼板。

【請求項3】

主面と端面とを有する電磁鋼板であって、
母材部と、前記母材部に隣接し、かつ、前記端面に設けられた、窒素を含有する端面窒化層と、を備え、
前記端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下であり、

前記電磁鋼板の疲労強度応力比が、 $1.11 \sim 1.41$ であることを特徴とする電磁鋼板。

【請求項 4】

前記端面における窒素濃度が、前記主面における窒素濃度よりも高いことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つの項に記載の電磁鋼板。

【請求項 5】

前記端面窒化層の表面硬さに対する前記端面窒化層の深さ方向に沿った断面における前記端面窒化層の表面から深さが $40 \mu\text{m}$ である位置における硬さの比が、 80% 以下であることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 つの項に記載の電磁鋼板。

【請求項 6】

前記端面窒化層の表面硬さが、 550HV 以上であることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 つの項に記載の電磁鋼板。

【請求項 7】

前記端面窒化層の深さ方向における前記端面窒化層の表面から前記母材部のピッカース硬さ値より 50 高いピッカース硬さ値の点に至るまでの距離が、 0.07mm 以上であることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 つの項に記載の電磁鋼板。

【請求項 8】

前記端面窒化層が、化合物層及び拡散層を含むことを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 つの項に記載の電磁鋼板。

【請求項 9】

前記端面窒化層の表面に占める前記化合物層の割合が、 50% 以下であることを特徴とする請求項 8 に記載の電磁鋼板。

【請求項 10】

前記端面窒化層が、拡散層からなることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 つの項に記載の電磁鋼板。

【請求項 11】

前記端面窒化層における前記電磁鋼板の厚みが、前記母材部における前記電磁鋼板の厚み以下であることを特徴とする請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 つの項に記載の電磁鋼板。

【請求項 12】

前記端面がせん断面を有することを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 つの項に記載の電磁鋼板。

【請求項 13】

前記端面がせん断面と破断面とを有することを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 つの項に記載の電磁鋼板。

【請求項 14】

前記端面がせん断面と破断面とを有し、
前記破断面に近い側の前記電磁鋼板の主面側に位置する前記端面窒化層の側面と前記電磁鋼板の主面とが平坦な面を形成していることを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 つの項に記載の電磁鋼板。

【請求項 15】

前記電磁鋼板の前記母材部の組成が、 $\text{Si} : 2.0 \text{質量}\% \text{以上} 4.0 \text{質量}\% \text{以下}$ 、 $\text{Al} : 0.15 \text{質量}\% \text{以上} 2.00 \text{質量}\% \text{以下}$ 、 $\text{Mn} : 0.10 \text{質量}\% \text{以上} 2.00 \text{質量}\% \text{以下}$ 、 $\text{Ni} : 0.01 \text{質量}\% \text{以上} 3.0 \text{質量}\% \text{以下}$ 含有し、残部が Fe 及び不可避の不純物であることを特徴とする請求項 1 ~ 14 のいずれか 1 つの項に記載の電磁鋼板。

【請求項 16】

前記端面窒化層の表面硬さに対する前記端面窒化層の深さ方向に沿った断面における前記端面窒化層の表面から深さが $40 \mu\text{m}$ である位置における硬さの比が、 80% 以下であり、

前記端面窒化層の深さ方向における前記端面窒化層の表面から前記母材部のピッカース硬さ値より 50 高いピッカース硬さ値の点に至るまでの距離が、 0.07mm 以上 0.1

10

20

30

40

50

5 mm以下であることを特徴とする請求項1～15のいずれか1つの項に記載の電磁鋼板。
【請求項17】

前記端面窒化層の表面硬さに対する前記端面窒化層の深さ方向に沿った断面における前記端面窒化層の表面から深さが40 μmである位置における硬さの比が、80%以下であり、

前記端面窒化層の深さ方向における前記端面窒化層の表面から前記母材部のビッカース硬さ値より50高いビッカース硬さ値の点に至るまでの距離が、0.07 mm以上0.14 mm以下であることを特徴とする請求項1～15のいずれか1つの項に記載の電磁鋼板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、電磁鋼板に係り、さらに詳細には、電気自動車などに搭載される駆動モータのロータに適用可能な電磁鋼板に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、ロータの高速回転に耐え得る高強度を有しかつ磁気特性にも優れた高強度無方向性電磁鋼板が提案されている（特許文献1参照）。この高強度無方向性電磁鋼板は、C：0.0050質量%超0.020質量%以下、N：0.01質量%以下、(C+N)：0.030質量%以下、Si：4.0質量%超10.0質量%以下、Cr：2.0～10.0質量%、P：0.04質量%以下を含有する。この高強度無方向性電磁鋼板は、さら

20

に、Tiを(1)式： $-0.02 \text{ Ti} - 4(C+N) - 0.04$ を満たして含有し、残部がFe及び不可避免的不純物である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】日本国特開2008-240104号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1の高強度無方向性電磁鋼板においては、鉄に合金元素を添加して、高強度化を実現している。このような高強度無方向性電磁鋼板においては、磁気特性が著しく低下してしまう、具体的には、鉄損が著しく大きくなってしまいうという問題点があった。

30

【0005】

本発明は、このような従来技術の有する課題に鑑みてなされたものである。そして、本発明は、磁気特性を著しく低下させることなく、疲労強度を10%以上向上させた電磁鋼板を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明者らは、上記目的を達成するため鋭意検討を重ねた。その結果、電磁鋼板の端面に所定の窒化層を設けることにより、上記目的が達成できることを見出し、本発明を完成するに至った。

40

【0007】

すなわち、本発明の電磁鋼板は、主面と端面とを有する。電磁鋼板は、母材部と、母材部に隣接し、かつ、端面に設けられた、窒素を含有する端面窒化層と、を備える。端面窒化層の表面硬さが、430 HV以上1250 HV以下である。電磁鋼板の端面全体に窒素を含有する端面窒化層を備える、又は、主面における面方向の中心側に位置し電磁鋼板の厚み方向全体で窒化層を有さない母材部と、母材部に隣接し、かつ、端面全体に設けられ、電磁鋼板の厚み方向全体に窒素を含有する窒化層を有する端面窒化層とを備える、又は、電磁鋼板の疲労強度応力比が1.11～1.41である。

【発明の効果】

50

【 0 0 0 8 】

本発明によれば、電磁鋼板の端面に所定の窒化層を設けたため、磁気特性を著しく低下させることなく、疲労強度を10%以上向上させた電磁鋼板を提供できる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 9 】

【 図 1 】 図 1 は、第 1 の実施形態に係る電磁鋼板の概略を示す斜視図である。

【 図 2 】 図 2 は、図 1 に示した電磁鋼板の I I - I I 線に沿った模式的な断面図である。

【 図 3 】 図 3 は、第 2 の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。

【 図 4 】 図 4 は、第 3 の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。

【 図 5 】 図 5 は、第 4 の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。

10

【 図 6 】 図 6 は、第 5 の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。

【 図 7 】 図 7 は、第 6 の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。

【 図 8 】 図 8 は、第 7 の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 0 】

以下、本発明の一実施形態に係る電磁鋼板について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、以下で参照する図面の寸法比率は、説明の都合上誇張されており、実際の比率とは異なる場合がある。

【 0 0 1 1 】

(第 1 の実施形態)

20

まず、第 1 の実施形態に係る電磁鋼板について詳細に説明する。図 1 は、第 1 の実施形態に係る電磁鋼板の概略を示す斜視図である。図 2 は、図 1 に示した電磁鋼板の I I - I I 線に沿った模式的な断面図である。

【 0 0 1 2 】

図 1 に示すように、第 1 の実施形態の電磁鋼板 1 0 は、主面 1 0 a と、端面 1 0 b , 1 0 b とを有する。図 2 に示すように、電磁鋼板 1 0 は、母材部 1 1 と、母材部に隣接し、かつ、端面 1 0 b に設けられた端面窒化層 1 3 とを備える。特に、限定されないが、図 2 に示すように、電磁鋼板 1 0 は、電磁鋼板の主面 1 0 a 、 1 0 a に形成された絶縁被膜 1 5 , 1 5 を備えていることが好ましい。図示しないが、端面窒化層は、窒素を含有している。図示しないが、端面窒化層の表面硬さは、430HV以上1250HV以下である。

30

【 0 0 1 3 】

ここで、本願において「端面」とは、部品形状や使用目的に応じた形状に加工された端面を意味する。

【 0 0 1 4 】

上述のように、第 1 の実施形態の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下であるので、電磁鋼板の磁気特性が著しく低下せず、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。

【 0 0 1 5 】

端面窒化層の表面硬さが430HV未満である場合には、電磁鋼板の疲労強度を10%以上向上させることができない。端面窒化層の表面硬さが1250HVよりも大きい場合には、電磁鋼板の磁気特性が著しく低下してしまう。より具体的には、端面窒化層の表面硬さが1250HVよりも大きい場合には、電磁鋼板の鉄損が著しく大きくなってしまう。

40

【 0 0 1 6 】

なお、本願において「端面窒化層の表面硬さ」は、日本工業規格 ビッカース硬さ試験 - 試験方法 (J I S Z 2 2 4 4) に準拠して測定する。但し、端面が詳しくは後述するせん断面を有する場合はせん断面の領域において測定する。

【 0 0 1 7 】

現時点においては、以下のような理由により、上述の効果が得られていると考えている。

【 0 0 1 8 】

電磁鋼板の端面に対して、使用ガス、処理温度、処理時間を制御したガス軟窒化又は酸

50

窒化をする。電磁鋼板の端面から窒素が拡散され、窒素を含有し、表面硬さが430HV以上1250HV以下である端面窒化層が電磁鋼板に形成される。これにより、疲労破壊の起点となる電磁鋼板の端面付近の疲労強度を向上させることができる。

【0019】

ガス軟窒化の使用ガスとしては、特に限定されないが、例えば、アンモニア(NH₃) / 二酸化炭素(CO₂)を適用することが好ましい。ガス軟窒化の処理温度は、特に限定されないが、例えば、490以上560以下が好ましく、500以上540以下がより好ましい。ガス軟窒化の処理時間は、特に限定されないが、例えば、0.5時間以上4時間以下が好ましく、0.5時間以上3.5時間以下がより好ましく、1時間以上3時間以下が更に好ましく、1時間以上2.5時間以下が特に好ましい。

10

【0020】

酸窒化の使用ガスとしては、特に限定されないが、例えば、アンモニア(NH₃) / 空気(Air)を適用することが好ましい。酸窒化の処理温度は、特に限定されないが、例えば、450以上480以下が好ましく、455以上465以下がより好ましく、460以上465以下が更に好ましい。酸窒化の処理時間は、特に限定されないが、例えば、0.5時間以上4時間以下が好ましく、1時間以上3.5時間以下がより好ましく、1.5時間以上3.5時間以下が更に好ましく、1.5時間以上3時間以下が特に好ましい。

【0021】

但し、これら以外の理由により上述のような効果が得られていたとしても、本発明の範囲に含まれることは言うまでもない。

20

【0022】

なお、本願においては、例えば、磁気特性として鉄損(W_{15/50})及び鉄損(W_{10/400})を測定する。「W_{15/50}」は、最大磁束密度1.5T、周波数50Hzにおける電磁鋼板1kg当たりの鉄損を意味し、「W_{10/400}」は、最大磁束密度1.0T、周波数400Hzにおける電磁鋼板1kg当たりの鉄損を意味する。本願において「鉄損が著しく大きくなる」とは、上述したガス軟窒化又は酸窒化をしていない電磁鋼板に対するガス軟窒化又は酸窒化をした電磁鋼板の鉄損の増加が60%を超える場合を意味する。換言すれば、本願において「鉄損が著しく大きくなる」とは、上述したガス軟窒化又は酸窒化をしていない電磁鋼板に対するガス軟窒化又は酸窒化をした電磁鋼板の鉄損比(W_{15/50})及び鉄損比(W_{10/400})が1.60を超える場合を意味する。

30

【0023】

各構成要素について更に詳細に説明する。

【0024】

上記電磁鋼板10の組成は、特に限定されないが、例えば、ケイ素(Si):2.0質量%以上4.0質量%以下、アルミニウム(Al):0.15質量%以上2.00質量%以下、マンガン(Mn):0.10質量%以上2.00質量%以下、ニッケル(Ni):0.01質量%以上3.0質量%以下含有し、残部が鉄(Fe)及び不可避免的不純物である電磁鋼板を適用することが好ましい。また、上記電磁鋼板10の厚みは、特に限定されないが、例えば、0.5mm以下であることが好ましく、0.15mm以上0.5mm以下であることがより好ましく、0.15mm以上0.35mm以下であることが更に好ましい。

40

【0025】

上記端面10bは、特に限定されないが、例えば、切断端面であることが好ましい。

【0026】

上記切断端面としては、例えば、ワイヤカット放電加工機で加工された切断端面を挙げることができる。なお、特に限定されるものではないが、ワイヤカット放電加工機で加工された切断端面は、更にラッピング加工されていてもよい。端面がワイヤカット放電加工機で加工された切断端面を有する場合は、端面が詳しくは後述するプレス加工機で加工された少なくともせん断面を有する打抜き端面を有する場合と比較して、電磁鋼板における

50

鉄損が大きくなり難い。但し、端面が打抜き端面を有する場合は、端面がワイヤカット放電加工機で加工された切断端面を有する場合と比較して、端面を有する電磁鋼板を大量に生産する際の生産性が高いという利点がある。

【 0 0 2 7 】

上記端面窒化層 1 3 は、4 3 0 H V 以上 1 2 5 0 H V 以下の表面硬さを有すれば、特に限定されないが、例えば、上述した電磁鋼板の端面に対するガス軟窒化又は酸窒化によって形成された端面窒化層であることが好ましい。

【 0 0 2 8 】

上記母材部 1 1 は、部品形状や使用目的に応じて所定の厚みに圧延されたままの状態の部位で、上述したガス軟窒化又は酸窒化等の窒化などの処理により母材の組成が変化していない部位、又は、打抜きなどの加工により変形していない部位である。また、母材部は主面における面方向の中心側に位置する。

【 0 0 2 9 】

上記絶縁被膜 1 5 は、電気絶縁性を有すれば、特に限定されないが、例えば、従来公知の無機質材料若しくは有機質材料又はこれらの混合物からなる絶縁被膜を適用することが好ましい。なお、上記絶縁被膜 1 5 を備えていない電磁鋼板も、本発明の範囲に含まれることは言うまでもない。

【 0 0 3 0 】

電磁鋼板 1 0 においては、端面における窒素濃度が、主面における窒素濃度よりも高いことが好ましい。

【 0 0 3 1 】

端面における窒素濃度が主面における窒素濃度よりも高く、端面窒化層の表面硬さを 4 3 0 H V 以上 1 2 5 0 H V 以下にした電磁鋼板であるので、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が 1 0 % 以上向上する。さらに、電磁鋼板に歪みが生じ難いという利点もある。

【 0 0 3 2 】

なお、本願において「端面における窒素濃度」と「主面における窒素濃度」の大小関係は、電磁鋼板の厚み方向に沿った断面において、電子プローブマイクロアナライザー分析によって窒素分布を測定することにより特定できる。特に、「主面における窒素濃度」は、端面窒化層の深さ方向における端面から深さが 5 0 0 μm である位置で測定する。

【 0 0 3 3 】

電磁鋼板 1 0 においては、端面窒化層 1 3 の表面硬さに対する端面窒化層 1 3 の深さ方向（図 2 において矢印 Z で示す。）に沿った断面における端面窒化層 1 3 の表面 1 3 a から深さが 4 0 μm である位置における硬さの比が、8 0 % 以下であることが好ましい。

【 0 0 3 4 】

なお、本願において「断面における端面窒化層の表面から深さが 4 0 μm である位置における硬さ」は、日本工業規格 ビッカース硬さ試験 - 試験方法（J I S Z 2 2 4 4）に準拠して測定する。但し、断面における硬さを測定する際には、断面を鏡面研磨する。また、端面が詳しくは後述するせん断面を有する場合はせん断面の領域において測定する。

【 0 0 3 5 】

上記比が 8 0 % 以下である電磁鋼板においては、疲労強度を向上させる要因である窒素の拡散範囲、換言すれば、硬さ上昇範囲が狭くなっているため、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が 1 0 % 以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損（ $W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$ ）の増加を 1 0 % 以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を 1 0 % 以上向上させることが可能である。

【 0 0 3 6 】

電磁鋼板 1 0 においては、端面窒化層 1 3 の表面硬さが、5 5 0 H V 以上であることが好ましく、5 5 0 H V 以上 9 5 0 H V 以下であることがより好ましい。

【 0 0 3 7 】

10

20

30

40

50

端面窒化層の表面硬さが550HV以上である電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損($W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$)の増加を10%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を10%以上向上させることが可能である。

【0038】

電磁鋼板10においては、端面窒化層13の深さ方向における端面窒化層13の表面13aから母材部11のピッカース硬さ値より50高いピッカース硬さ値の点に至るまでの距離が、0.07mm以上であることが好ましく、0.07mm以上0.14mm以下であることがより好ましい。

10

【0039】

なお、本願において「端面窒化層の深さ方向における端面窒化層の表面から母材部のピッカース硬さ値より50高いピッカース硬さ値の点に至るまでの距離」を「実用窒化層深さ」ということがある。なお、「実用窒化層深さ」は、日本工業規格 鉄鋼の窒化層深さ測定方法(JIS G 0562)に準拠して測定する。但し、端面が詳しくは後述するせん断面を有する場合はせん断面の領域において測定する。

【0040】

実用窒化層深さが0.07mm以上である電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損($W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$)の増加を10%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を10%以上向上させることが可能である。

20

【0041】

電磁鋼板10においては、端面窒化層13が、拡散層133からなることが好ましい。換言すれば、電磁鋼板においては、端面窒化層が鉄の窒素化合物、鉄の炭窒素化合物を含む化合物層を有しないことが好ましい。端面窒化層が化合物層を有しないので、切欠き感受性が上昇せず、電磁鋼板の疲労強度が向上する。鉄の窒素化合物としては、例えば、 $-Fe_4N$ 、 $-Fe_2N$ 、 $-Fe_3N$ を挙げることができる。

【0042】

なお、化合物層の有無は、断面を走査型電子顕微鏡によって観察し、更にエネルギー分散型X線分析によって元素分析することによって特定できる。

30

【0043】

端面窒化層が拡散層からなる電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損($W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$)の増加を10%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を10%以上向上させることが可能である。

【0044】

電磁鋼板10においては、端面窒化層における電磁鋼板の厚みが、母材部における電磁鋼板の厚み以下であることが好ましく、母材部における電磁鋼板の厚みより小さいことがより好ましい。一般的に、ロータのコアは電磁鋼板を積層して形成する。そのため、このような用途において、上記厚みの関係があることは好適である。

40

【0045】

(第2の実施形態)

次に、第2の実施形態に係る電磁鋼板について詳細に説明する。図3は、第2の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。なお、図3は、第2の実施形態に係る電磁鋼板の図1に示したII-II線で示した部分と同じ部分の模式的な断面図である。なお、上記の実施形態において説明したものと同等の構成要素については、それらと同一の符号を付して説明を省略する。

【0046】

図3に示すように、第2の実施形態に係る電磁鋼板10Aは、端面窒化層13が化合物

50

層 1 3 1 及び拡散層 1 3 3 を含むことが、第 1 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 と相違している。

【 0 0 4 7 】

上述のように、第 2 の実施形態の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、4 3 0 H V 以上 1 2 5 0 H V 以下であるので、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が 1 0 % 以上向上する。さらに、第 2 の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層が化合物層及び拡散層を含む。このような電磁鋼板においては、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が 1 0 % 以上向上する。

【 0 0 4 8 】

化合物層について更に詳細に説明する。

10

【 0 0 4 9 】

上記化合物層 1 3 1 としては、鉄の窒素化合物、鉄の炭窒素化合物を含む化合物層を挙げることができる。鉄の窒素化合物としては、例えば、 γ -Fe₄N、 δ -Fe₂N、 ϵ -Fe₃N を挙げることができる。

【 0 0 5 0 】

このような化合物層は硬さが高いので、一般的には電磁鋼板の疲労強度の向上に有効である。

【 0 0 5 1 】

第 2 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 A は、上述した第 1 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 において説明した好適形態を適宜採用することができる。

20

【 0 0 5 2 】

(第 3 の実施形態)

次に、第 3 の実施形態に係る電磁鋼板について詳細に説明する。図 4 は、第 3 の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。なお、図 4 は、第 3 の実施形態に係る電磁鋼板の図 1 に示した I I - I I 線で示した部分と同じ部分の模式的な断面図である。なお、上記の実施形態において説明したものと同等の構成要素については、それらと同一の符号を付して説明を省略する。

【 0 0 5 3 】

図 4 に示すように、第 3 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 B は、端面窒化層 1 3 の表面 1 3 a に占める化合物層 1 3 1 の割合が 5 0 % 以下であることが、第 2 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 A と相違している。

30

【 0 0 5 4 】

上述のように、第 3 の実施形態の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、4 3 0 H V 以上 1 2 5 0 H V 以下であるので、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が 1 0 % 以上向上する。さらに、第 3 の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層が化合物層及び拡散層を含む。このような電磁鋼板においては、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が 1 0 % 以上向上する。さらに、第 3 の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層の表面に占める化合物層の割合が 5 0 % 以下、好ましくは 4 0 % 以下、より好ましくは 3 0 % 以下、更に好ましくは 2 0 % 以下、特に好ましくは 1 0 % 以下である。このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が 1 0 % 以上向上する。

40

【 0 0 5 5 】

なお、本願において「端面窒化層の表面に占める化合物層の割合」とは、電磁鋼板の厚み方向に沿った断面に観察される端面における端面窒素層の表面を規定する輪郭線の長さに対する化合物層の表面を規定する輪郭線の長さの比を意味する。

【 0 0 5 6 】

上述したように化合物層は硬さが高いので、一般的には電磁鋼板の疲労強度の向上に有効である。一方、化合物層は脆いので、繰り返し入力によってクラックが発生し易い。繰り返し入力によってクラックが発生すると、クラックを起点として亀裂が徐々に進展する疲労破壊の原因となる。亀裂進展部の断面は残存断面積が減少することになるため、断面

50

にかかる応力は逆に増加することになる。電磁鋼板は厚みが薄いため、亀裂進展部の断面は応力増加の影響を受けやすく、亀裂発生初期から中期段階で材料の耐力を超えてしまうため、亀裂発生から破断に至るまでの繰り返し数が短くなる傾向がある。その影響を少なくするため、端面窒化層の表面に占める化合物層の割合は小さければ小さいほど好ましい。

【 0 0 5 7 】

第 3 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 B は、上述した第 1 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 又は第 2 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 A において説明した好適形態を適宜採用することができる。

【 0 0 5 8 】

(第 4 の実施形態)

次に、第 4 の実施形態に係る電磁鋼板について詳細に説明する。図 5 は、第 4 の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。なお、図 5 は、第 4 の実施形態に係る電磁鋼板の図 1 に示した I I - I I 線で示した部分と同じ部分の模式的な断面図である。なお、上記の実施形態において説明したものと同等の構成要素については、それらと同一の符号を付して説明を省略する。

【 0 0 5 9 】

図 5 に示すように、第 4 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 C は、端面 1 0 b がせん断面 1 0 c を有していることが、第 1 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 と相違している。

【 0 0 6 0 】

上述のように、第 4 の実施形態の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、4 3 0 H V 以上 1 2 5 0 H V 以下であるので、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が 1 0 % 以上向上する。さらに、第 4 の実施形態の電磁鋼板においては、端面がせん断面を有する。このような電磁鋼板は、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が 1 0 % 以上向上する。

【 0 0 6 1 】

せん断面について更に詳細に説明する。

【 0 0 6 2 】

上述のように、端面 1 0 b は、特に限定されないが、例えば、切断端面であることが好ましい。

【 0 0 6 3 】

上記切断端面は、例えば、プレス加工機で加工された打抜き端面であることが好ましい。打抜き端面は、少なくともせん断面 1 0 c を有している。端面窒化層を打抜き端面の変形部位内、換言すれば、たれが形成されている部位内に形成することにより、磁気特性の低下をより抑制することができる。

【 0 0 6 4 】

電磁鋼板 1 0 C においては、端面における窒素濃度が、主面における窒素濃度よりも高いことが好ましい。

【 0 0 6 5 】

端面における窒素濃度が主面における窒素濃度よりも高く、端面窒化層の表面硬さを 4 3 0 H V 以上 1 2 5 0 H V 以下にした電磁鋼板であるので、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が 1 0 % 以上向上する。さらに、電磁鋼板に歪みが生じ難いという利点もある。なお、主面側は、プレス加工機による加工によって変形している辺りまでであれば窒化されていても良い。

【 0 0 6 6 】

電磁鋼板 1 0 C においては、端面窒化層 1 3 の表面硬さに対する端面窒化層 1 3 の深さ方向 (図 5 において矢印 Z で示す。) に沿った断面における端面窒化層 1 3 の表面 1 3 a から深さが 4 0 μ m である位置における硬さの比が、8 0 % 以下であることが好ましい。

【 0 0 6 7 】

上記比が 8 0 % 以下である電磁鋼板においては、疲労強度を向上させる要因である窒素の拡散範囲、換言すれば、硬さ上昇範囲が狭くなっているため、電磁鋼板の磁気特性の低

10

20

30

40

50

下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が15%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損（ $W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$ ）の増加を10%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を15%以上向上させることが可能である。

【0068】

電磁鋼板10Cにおいては、端面窒化層13の表面硬さが、550HV以上であることが好ましく、550HV以上950HV以下であることがより好ましい。

【0069】

端面窒化層の表面硬さが550HV以上である電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損（ $W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$ ）の増加を10%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を15%以上向上させることが可能である。

10

【0070】

端面窒化層の表面硬さが550HV以上950HV以下である電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が30%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損（ $W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$ ）の増加を10%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を30%以上向上させることが可能である。

【0071】

電磁鋼板10Cにおいては、端面窒化層13の深さ方向における端面窒化層13の表面13aから母材部11のピッカース硬さ値より50高いピッカース硬さ値の点に至るまでの距離が、0.07mm以上であることが好ましく、0.07mm以上0.14mm以下であることがより好ましい。

20

【0072】

実用窒化層深さが0.07mm以上である電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損（ $W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$ ）の増加を10%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を10%以上向上させることが可能である。

30

【0073】

実用窒化層深さが0.07mm以上0.14mm以下である電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が30%以上向上する。特に、このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の鉄損（ $W_{15/50}$ 及び $W_{10/400}$ ）の増加を1%以下に抑制すること、及び、電磁鋼板の疲労強度を30%以上向上させることが可能である。

【0074】

電磁鋼板10Cにおいては、端面窒化層における電磁鋼板の厚みが、母材部における電磁鋼板の厚み以下であることが好ましく、母材部における電磁鋼板の厚みより小さいことがより好ましい。このような電磁鋼板は、積層して使用する電磁鋼板として好適であるという利点がある。

40

【0075】

第4の実施形態に係る電磁鋼板10Cは、上述した第1～第3の実施形態に係る電磁鋼板10、10A、10Bにおいて説明した好適形態を適宜採用することができる。

【0076】

（第5の実施形態）

次に、第5の実施形態に係る電磁鋼板について詳細に説明する。図6は、第5の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。なお、図6は、第5の実施形態に係る電磁鋼板の図1に示したII-II線で示した部分と同じ部分の模式的な断面図である。なお、上記の実施形態において説明したものと同等の構成要素については、それらと

50

同一の符号を付して説明を省略する。

【0077】

図6に示すように、第5の実施形態に係る電磁鋼板10Dは、端面窒化層13が化合物層131及び拡散層133を含み、端面窒化層13の表面13aに占める化合物層131の割合が50%以下であることが、第4の実施形態に係る電磁鋼板10Cと相違している。

【0078】

上述のように、第5の実施形態の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下であるので、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第5の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層が化合物層及び拡散層を含む。このような電磁鋼板は、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第5の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層の表面に占める化合物層の割合が50%以下である。このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。

10

【0079】

第5の実施形態に係る電磁鋼板10Dは、上述した第1～第4の実施形態に係る電磁鋼板10、10A、10B、10Cにおいて説明した好適形態を適宜採用することができる。

【0080】

(第6の実施形態)

次に、第6の実施形態に係る電磁鋼板について詳細に説明する。図7は、第6の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。なお、図7は、第6の実施形態に係る電磁鋼板の図1に示したII-II線で示した部分と同じ部分の模式的な断面図である。なお、上記の実施形態において説明したものと同等の構成要素については、それらと同一の符号を付して説明を省略する。

20

【0081】

図7に示すように、第6の実施形態に係る電磁鋼板10Eは、端面窒化層13が化合物層131及び拡散層133を含み、端面10bがせん断面10cと破断面10dとを有し、端面窒化層13の表面13aに占める化合物層131の割合が50%以下であることが、第4の実施形態に係る電磁鋼板10Cと相違している。

【0082】

上述のように、第6の実施形態の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、430HV以上1250HV以下であるので、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第6の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層が化合物層及び拡散層を含む。このような電磁鋼板は、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第6の実施形態の電磁鋼板においては、端面がせん断面と破断面とを有する。このような電磁鋼板は、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が10%以上向上する。さらに、第6の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層の表面に占める化合物層の割合が50%以下である。このような電磁鋼板においては、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が10%以上向上する。

30

40

【0083】

破断面について更に詳細に説明する。

【0084】

上述のように、端面10bは、特に限定されないが、例えば、切断端面であることが好ましい。

【0085】

上記切断端面は、例えば、プレス加工機で加工された打抜き端面であることが好ましい。打抜き端面は、通常、せん断面10cと破断面10dを有している。このような打抜き端面は、研磨された端面と比較すると、化合物層が形成されにくく、窒素の拡散も抑制されるので好ましい。

50

【 0 0 8 6 】

電磁鋼板 1 0 E においては、破断面 1 0 d に近い側の電磁鋼板 1 0 E の主面 1 0 a 側に位置する端面窒化層 1 3 の側面 1 3 b と電磁鋼板 1 0 E の主面 1 0 a とが平坦な面を形成していることが好ましい。

【 0 0 8 7 】

上記平坦な面を形成している電磁鋼板においては、上述した電磁鋼板の端面に対するガス軟窒化又は酸窒化による電磁鋼板の膨張又は変形が抑制され、電磁鋼板の磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が 1 5 % 以上向上する。さらに、電磁鋼板の寸法精度をより確実に維持することができるという利点もある。

【 0 0 8 8 】

第 6 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 E は、上述した第 1 ~ 第 5 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 、 1 0 A 、 1 0 B 、 1 0 C 、 1 0 D において説明した好適形態を適宜採用することができる。

【 0 0 8 9 】

(第 7 の実施形態)

次に、第 7 の実施形態に係る電磁鋼板について詳細に説明する。図 8 は、第 7 の実施形態に係る電磁鋼板の要部を示す模式的な断面図である。なお、図 8 は、第 7 の実施形態に係る電磁鋼板の図 1 に示した I I - I I 線で示した部分と同じ部分の模式的な断面図である。なお、上記の実施形態において説明したものと同等の構成要素については、それらと同一の符号を付して説明を省略する。

【 0 0 9 0 】

図 8 に示すように、第 7 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 F は、端面 1 0 b がせん断面 1 0 c と破断面 1 0 d とを有することが、第 4 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 C と相違している。

【 0 0 9 1 】

上述のように、第 7 の実施形態の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、4 3 0 H V 以上 1 2 5 0 H V 以下であるので、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が 1 0 % 以上向上する。さらに、第 7 の実施形態の電磁鋼板においては、端面窒化層が拡散層からなる。このような電磁鋼板は、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が 1 0 % 以上向上する。さらに、第 7 の実施形態の電磁鋼板においては、端面がせん断面と破断面とを有する。このような電磁鋼板は、磁気特性の低下がより抑制されると共に、疲労強度が 1 0 % 以上向上する。

【 0 0 9 2 】

第 7 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 F は、上述した第 1 ~ 第 4 、第 6 の実施形態に係る電磁鋼板 1 0 、 1 0 A 、 1 0 B 、 1 0 C 、 1 0 E において説明した好適形態を適宜採用することができる。

【 実施例 】

【 0 0 9 3 】

以下、本発明を実施例により更に詳細に説明するが、本発明はこれら実施例に限定されるものではない。

【 0 0 9 4 】

(実施例 1)

プレス加工機 (プレスクリアランス : 0 . 0 6 m m) を用いた打抜き加工によって電磁鋼板 (日本製鉄株式会社製、2 5 H X 1 4 0 0) からダンベル形状試験片 (評価部の幅 : 2 5 m m 、評価部の平行部の長さ : 4 5 m m) を得た。

【 0 0 9 5 】

次いで、得られダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉 (株式会社オーネックス所有処理炉、P N T - 2) を用いたガス軟窒化 (処理温度 : 5 4 0 、処理時間 : 1 時間、使用ガス : N H ₃ / C O ₂) をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

【 0 0 9 6 】

10

20

30

40

50

(実施例 2)

実施例 1 で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PNT - 2）を用いたガス軟窒化（処理温度：500、処理時間：2時間、使用ガス：NH₃/CO₂）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

【0097】

(実施例 3)

実施例 1 で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PNT - 2）を用いたガス軟窒化（処理温度：500、処理時間：3時間、使用ガス：NH₃/CO₂）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

【0098】

10

(実施例 4)

実施例 1 で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PN - 3）を用いた酸窒化（処理温度：465、処理時間：3時間、使用ガス：NH₃/Air）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

【0099】

(実施例 5)

実施例 1 で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PN - 3）を用いた酸窒化（処理温度：465、処理時間：2時間、使用ガス：NH₃/Air）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

【0100】

20

(実施例 6)

実施例 1 で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PNT - 2）を用いたガス軟窒化（処理温度：520、処理時間：1時間、使用ガス：NH₃/CO₂）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

【0101】

(実施例 7)

実施例 1 で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PNT - 2）を用いたガス軟窒化（処理温度：520、処理時間：3時間、使用ガス：NH₃/CO₂）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

【0102】

30

(実施例 8)

ワイヤカット放電加工機を用いた切断加工によって電磁鋼板（日本製鉄株式会社製、25H X 1400）からダンベル形状試験片（評価部の幅：25mm、評価部の平行部の長さ：45mm）を得た。

【0103】

次いで、得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PNT - 2）を用いたガス軟窒化（処理温度：540、処理時間：1時間、使用ガス：NH₃/CO₂）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

【0104】

(比較例 1)

実施例 1 で得られたダンベル形状試験片を、本例の電磁鋼板試験片とした。

【0105】

40

(比較例 2)

実施例 1 で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PV - 3）を用いた焼鈍（処理温度：750、処理時間：1時間）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

【0106】

(比較例 3)

実施例 1 で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PNT - 2）を用いたガス軟窒化（処理温度：540、処理時間：4

50

． 5 時間、使用ガス：NH₃ / CO₂) をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

【 0 1 0 7 】

(比較例 4)

実施例 8 で得られたダンベル形状試験片を、本例の電磁鋼板試験片とした。

【 0 1 0 8 】

(比較例 5)

実施例 1 で得られたダンベル形状試験片に対して、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PV - 3）を用いた焼鈍（処理温度：750、処理時間：1 時間）をし、しかる後、ピット型窒化炉（株式会社オーネックス所有処理炉、PNT - 2）を用いたガス軟窒化（処理温度：500、処理時間：3 時間、使用ガス：NH₃ / CO₂）をすることによって、本例の電磁鋼板試験片を得た。

10

【 0 1 0 9 】

上記各例の仕様の一部を表 1 に示す。

【 0 1 1 0 】

20

30

40

50

【表 1】

	端面窒化層の 表面硬さ(X) (HV)	深さ40μm位置 における硬さ(Y) (HV)	X/Y × 100 (%)	実用窒化層深さ (300HV基準) (-)	化合物層 の有無 (-)	鉄損比 (W _{10/400})		疲労強度応力比 評価 (-)	評価部 加工方法
						(W _{15/30}) (-)	(-)		
実施例1	703	389	55.4	ND-HV0.025-P0.07	無し	1.01	0.99	1.41	プレス打抜き
実施例2	845	433	51.3	ND-HV0.025-P0.14	無し	0.98	0.96	1.33	プレス打抜き
実施例3	612	389	63.6	ND-HV0.025-P0.15	無し	1.08	1.08	1.37	プレス打抜き
実施例4	1065	436	41.0	ND-HV0.025-P0.16	無し	0.99	0.99	1.15	プレス打抜き
実施例5	437	362	82.8	ND-HV0.025-P0.07	無し	1.03	1.02	1.11	プレス打抜き
実施例6	579	424	73.2	ND-HV0.025-P0.09	無し	0.98	0.96	1.33	プレス打抜き
実施例7	912	559	61.3	ND-HV0.025-P0.11	無し	0.98	0.95	1.37	プレス打抜き
実施例8	1062	-	-	-	有 ^{*)1)}	*3)-	*3)-	1.15	ワイヤカット
比較例1	270	-	-	-	無し	1	1	1	プレス打抜き
比較例2	252	-	-	-	無し	*4)-	*4)-	1.02	プレス打抜き
比較例3	1276	692	93.5	ND-HV0.025-P0.11	有 ^{*)2)}	1.67	1.73	1.37	プレス打抜き
比較例4	230	-	-	-	-	-	-	1.19	ワイヤカット
比較例5	240	-	-	-	-	-	-	1.08	プレス打抜き

*1)端面窒化層の表面に占める化合物層の割合:100%

*2)端面窒化層の表面に占める化合物層の割合:50%超

*3)比較例4)に対する実施例8の鉄損比は著しく大きくなっていない。

*4)比較例1)に対する実施例2の鉄損比は著しく大きくなっていない。

【0111】

表1中の「端面窒化層の表面硬さ」は、マイクロピッカース硬度計2号機(株式会社フューチュアテック製、FM-700、測定荷重:25gf)を用いて、日本工業規格ピッカース硬さ試験-試験方法(JIS Z 2244)に準拠して測定した。但し、打抜き加工によって得られた電磁鋼板試験片においては、せん断面の領域において測定した。

【0112】

表1中の「深さ40μm位置における硬さ」は、端面窒化層の深さ方向に沿った断面における端面窒化層の表面から深さが40μmである位置における硬さを意味する。表1中の「深さ40μm位置における硬さ」は、日本工業規格ピッカース硬さ試験-試験方法

10

20

30

40

50

(J I S Z 2244) に準拠して測定した。但し、断面における硬さを測定する際には、断面を鏡面研磨した。また、打抜き加工によって得られた電磁鋼板試験片においては、せん断面の領域において測定した。

【 0 1 1 3 】

表 1 中の「実用窒化層深さ」は、日本工業規格 鉄鋼の窒化層深さ測定方法 (J I S G 0562) に準拠して測定した。なお、表 1 中の実施例 1 の「 N D - H V 0 . 0 2 5 - P 0 . 0 7 」は、ピッカー硬さ試験による測定方法によって、試験荷重 0 . 2 4 5 2 N で測定し、実用窒化層深さが 0 . 0 7 m m である場合を意味する。他の例においても同様である。また、基準となる母材部の硬さを 3 0 0 H V とした。但し、打抜き加工によって得られた電磁鋼板試験片においては、せん断面の領域において測定した。

10

【 0 1 1 4 】

表 1 中の「化合物層の有無」は、電磁鋼板試験片の厚み方向に沿った断面を走査型電子顕微鏡 (株式会社日立ハイテクノロジーズ製、 F l e x S E M 1000) を用いて観察し、更にエネルギー分散型 X 線分析によって元素分析することによって特定した。なお、断面の観察前に、日本工業規格 鋼のマクロ組織試験方法 (J I S G 0553) に準拠し、硝酸とエタノールとを体積比で 0 . 5 : 9 . 5 に混合した腐食液を使用し、3 ~ 10 分間の腐食処理をした。

【 0 1 1 5 】

[性能評価]

上記各例の磁気特性及び疲労強度を測定した。

20

【 0 1 1 6 】

(磁気特性)

上記各例の電磁鋼板試験片の鉄損をエプスタイン鉄損測定機 (メトロン技研株式会社製、 S K 300) を用いて、日本工業規格 電磁鋼帯試験方法 (J I S C 2550 - 1) に準拠して測定した。得られた結果を表 1 に示す。なお、表 1 中の各例の「鉄損比 ($W_{15/50}$) 」は、比較例 1 の鉄損 ($W_{15/50}$) に対する各例の鉄損 ($W_{15/50}$) の比を意味し、各例の「鉄損比 ($W_{10/400}$) 」は、比較例 1 の鉄損 ($W_{10/400}$) に対する各例の鉄損 ($W_{10/400}$) の比を意味する。

【 0 1 1 7 】

(疲労強度)

上記各例の電磁鋼板試験片の疲労強度を低荷重油圧サーボ疲労試験機 (株式会社サム電子機械製、 V 6 9 1) を用いて、日本工業規格 金属材料の疲れ試験方法通則 (J I S Z 2273) に準拠し、部分片振り入力にて測定した。得られた結果を表 1 に示す。なお、表 1 中の各例の「疲労強度応力比」 (実施例 8 を除く。) は、比較例 1 の疲労強度応力に対する各例の疲労強度応力の比を意味する。但し、表 1 中の実施例 8 の「疲労強度応力比」は、比較例 4 の疲労強度応力に対する実施例 8 の疲労強度応力の比を意味する。

30

【 0 1 1 8 】

表 1 より、本発明の範囲に属する実施例 1 ~ 7 の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、 4 3 0 H V 以上 1 2 5 0 H V 以下である。従って、本発明の範囲に属する実施例 1 ~ 7 は、本発明外の比較例 1 ~ 3 と比較して、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が 1 0 % 以上向上するという効果を奏する。

40

【 0 1 1 9 】

表 1 より、本発明の範囲に属する実施例 8 の電磁鋼板においては、電磁鋼板の端面に設けられた端面窒化層の表面硬さが、 4 3 0 H V 以上 1 2 5 0 H V 以下である。従って、本発明の範囲に属する実施例 8 は、本発明外の比較例 4 と比較して、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が 1 0 % 以上向上するという効果を奏する。

【 0 1 2 0 】

表 1 より、本発明の範囲に属する実施例 1 ~ 8 は、端面における窒素濃度が、主面における窒素濃度よりも高い。従って、本発明の範囲に属する実施例 1 ~ 8 は、本発明外の比較例 1 及び 2 と比較して、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が 1 0 % 以上向上すると

50

いう効果を奏する。

【0121】

表1より、本発明の範囲に属する実施例1～4、6、7においては、端面窒化層の表面硬さに対する端面窒化層の深さ方向に沿った断面における端面窒化層の表面から深さが40 μ mである位置における硬さの比が、80%以下である。従って、本発明の範囲に属する実施例1～4、6、7は、実施例5と比較して、磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が15%以上向上するという効果を奏する。

【0122】

表1より、本発明の範囲に属する実施例1～4、6、7においては、端面窒化層の表面硬さが550HV以上である。従って、本発明の範囲に属する実施例1～4、6、7は、実施例5と比較して、磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が15%以上向上するという効果を奏する。

10

【0123】

表1より、本発明の範囲に属する実施例1～7においては、実用窒化層深さが0.07mm以上であるため、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上したとも考えられる。

【0124】

表1より、本発明の範囲に属する実施例8においては、端面窒化層が、化合物層及び拡散層を含む。従って、本発明の範囲に属する実施例8は、比較例4と比較して、磁気特性の低下がより抑制されると共に、電磁鋼板の疲労強度が15%以上向上するという効果を奏する。

20

【0125】

表1より、本発明の範囲に属する実施例1～7においては、端面窒化層が、拡散層からなる。従って、本発明の範囲に属する実施例1～7は、本発明外の比較例3と比較して、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上するという効果を奏する。

【0126】

本発明の範囲に属する実施例1～8においては、端面窒化層における電磁鋼板の厚みが、母材部における電磁鋼板の厚み以下、好ましくは母材部における電磁鋼板の厚みより小さい。従って、本発明の範囲に属する実施例1～8は、積層して使用する電磁鋼板として好適であるという利点がある。

30

【0127】

本発明の範囲に属する実施例1～7は、少なくともせん断面を有するか又はせん断面及び破断面を有するため、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上したとも考えられる。

【0128】

本発明の範囲に属する実施例1、2、4～7は、せん断面と破断面とを有し、破断面に近い側の電磁鋼板の主面側に位置する端面窒化層の側面と電磁鋼板の主面とが平坦な面を形成しているため、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上したとも考えられる。

【0129】

本発明の範囲に属する実施例3と本発明外の比較例5とを比較すると、焼鈍した後に、ガス軟窒化をした場合には、磁気特性が著しく低下せず、疲労強度が10%以上向上するという効果が得られないことが分かる。

40

【0130】

上述した各実施形態の電磁鋼板に記載した構成要素は、各実施形態に限定されるものではなく、例えば、各実施形態の構成要素を上述した各実施形態以外の組み合わせにしたり、各実施形態の構成要素の細部を変更したりすることができる。

【符号の説明】

【0131】

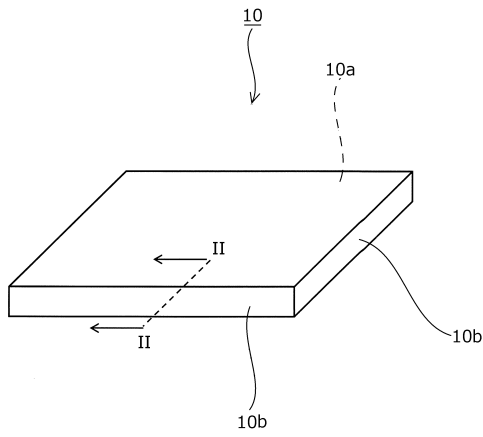
10, 10A, 10B, 10C, 10D, 10E, 10F 電磁鋼板

50

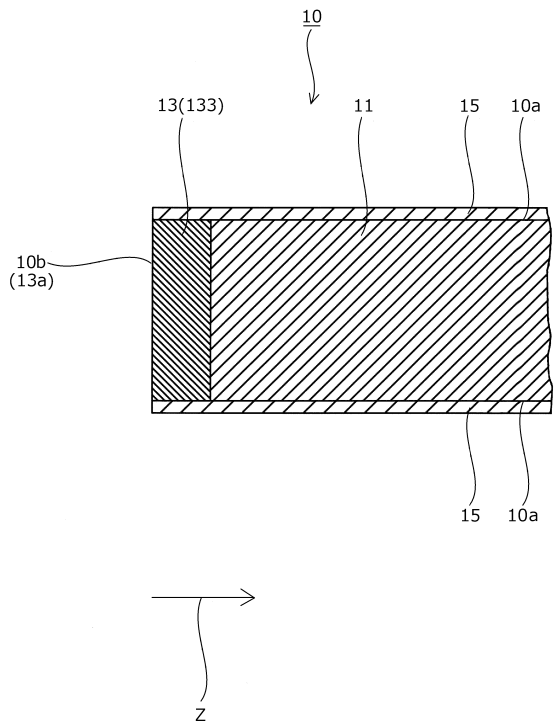
- 10 a 主面
- 10 b 端面
- 10 c せん断面
- 10 d 破断面
- 11 母材部
- 13 端面窒化層
- 13 a 表面
- 13 b 側面
- 13 1 化合物層
- 13 3 拡散層
- 15 絶縁被膜

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

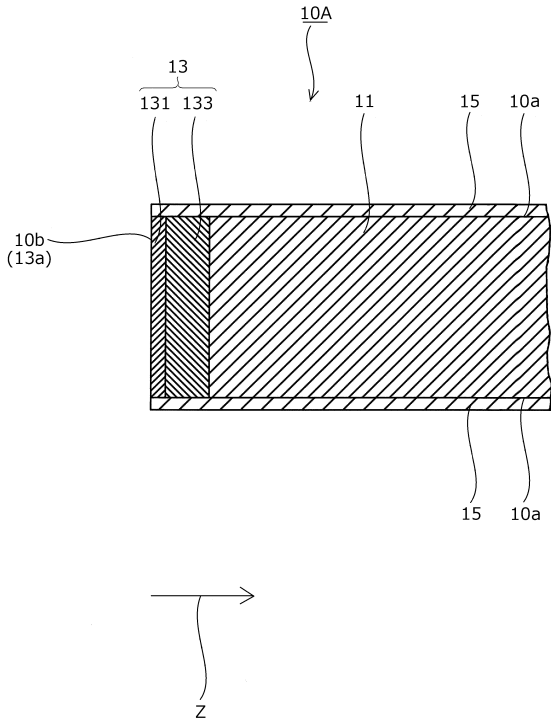
20

30

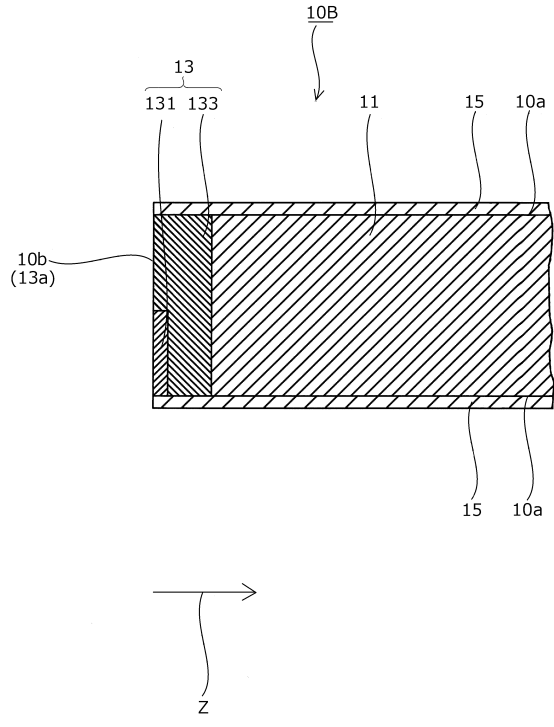
40

50

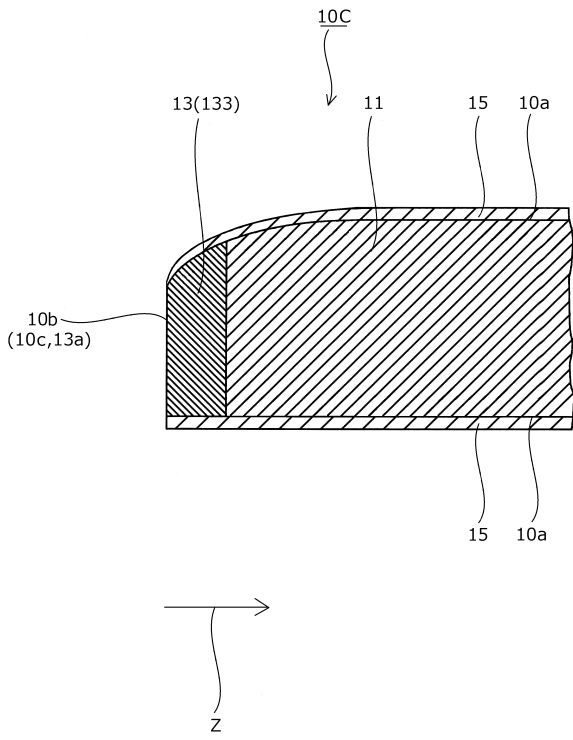
【図3】



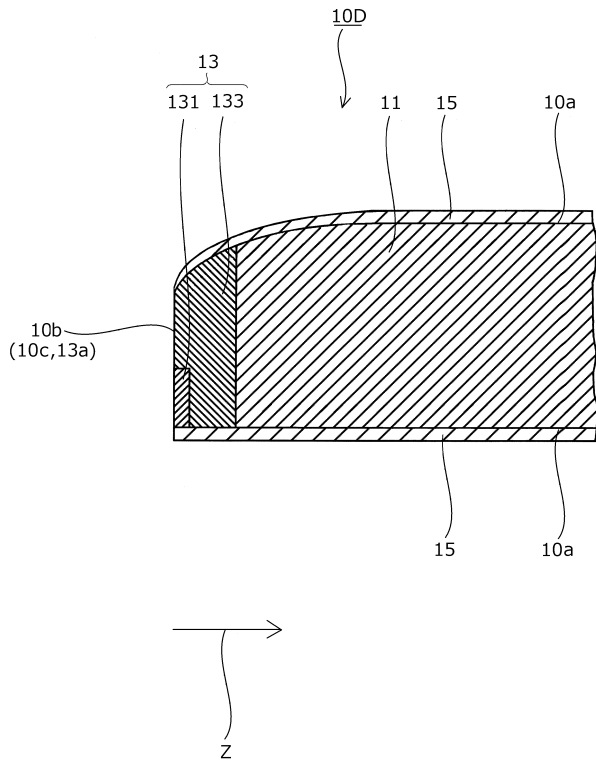
【図4】



【図5】



【図6】



10

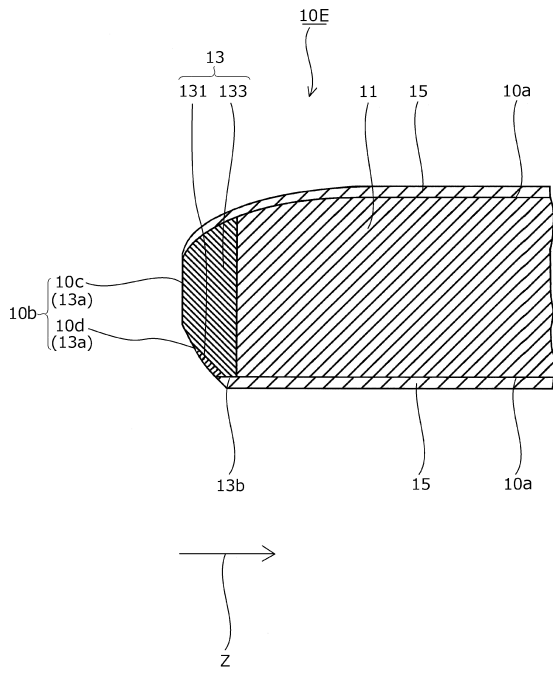
20

30

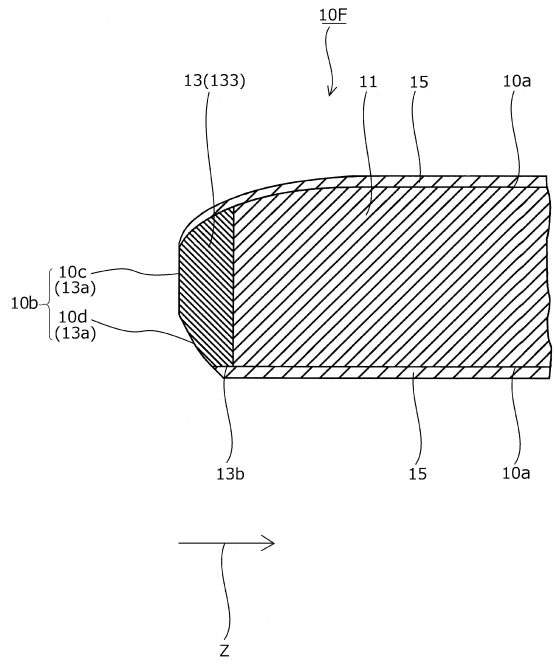
40

50

【 図 7 】



【 図 8 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

日産自動車株式会社 知的財産部内

審査官 鈴木 葉子

(56)参考文献 米国特許出願公開第2018/0198352 (US, A1)

特開昭52-063814 (JP, A)

特開2011-132584 (JP, A)

特開2008-031490 (JP, A)

特開2005-094941 (JP, A)

特開2005-226118 (JP, A)

特開2016-196697 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

C22C 38/00 - 38/60

C21D 8/12, 9/46

C21D 1/06

C23C 8/26

H01F 1/147

H02K 15/02