

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7143247号

(P7143247)

(45)発行日 令和4年9月28日(2022.9.28)

(24)登録日 令和4年9月16日(2022.9.16)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 B 7/02 (2006.01)

H 0 1 B 7/02

A

H 0 1 F 5/06 (2006.01)

H 0 1 B 7/02

G

H 0 1 F 5/06

Q

H 0 1 F 5/06

T

請求項の数 11 (全13頁)

(21)出願番号 特願2019-97354(P2019-97354)

(22)出願日 令和1年5月24日(2019.5.24)

(65)公開番号 特開2020-191271(P2020-191271
A)

(43)公開日 令和2年11月26日(2020.11.26)

審査請求日 令和3年11月19日(2021.11.19)

(73)特許権者 320003426

エセックス古河マグネットワイヤジャパ
ン株式会社

東京都千代田区内神田二丁目16番8号

(74)代理人 110002631弁理士法人イイダアンドパ
ートナーズ

(72)発明者 武藤 大介

東京都千代田区丸の内2丁目2番3号

古河電気工業株式会社内

(72)発明者 富澤 恵一

東京都千代田区丸の内2丁目2番3号

古河電気工業株式会社内

(72)発明者 福田 秀雄

東京都千代田区丸の内2丁目2番3号

古河マグネットワイヤ株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 絶縁電線、コイル、及び電気・電子機器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

導体と、該導体周囲に配された絶縁皮膜とを有する絶縁電線であって、

前記絶縁皮膜の比誘電率()と、前記絶縁皮膜を構成する絶縁層のうち最外層の比誘電率(0)との関係が、 $0.2 \leq \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \leq 1.2$ において下記を満たす、絶縁電線。

$$3.0 \leq \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \leq 1.2$$

【請求項2】

前記絶縁皮膜を構成する絶縁層のうち少なくとも1層が、ポリイミド及びポリアミドイミドの少なくとも1種を含む絶縁層である、請求項1に記載の絶縁電線。

【請求項3】

前記絶縁皮膜を構成する絶縁層のうち少なくとも1層が、ポリイミドを含む絶縁層である、請求項1又は2に記載の絶縁電線。

【請求項4】

前記絶縁皮膜を構成する絶縁層のうち少なくとも1層が気泡を含む層である、請求項1～3のいずれか1項に記載の絶縁電線。

【請求項5】

前記の気泡を含む層の空隙率が5～70体積%である、請求項4に記載の絶縁電線。

【請求項6】

前記の気泡を含む層が熱硬化性樹脂を焼き付けてなるエナメル層である、請求項4又は5に記載の絶縁電線。

【請求項 7】

前記の絶縁皮膜の最外層が無機微粒子を含有する、請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の絶縁電線。

【請求項 8】

前記無機微粒子が二酸化チタンを含む、請求項 7 に記載の絶縁電線。

【請求項 9】

前記の絶縁皮膜の厚さ (T) と、前記の絶縁皮膜の最外層の厚さ (T_0) との関係が下記を満たす、請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の絶縁電線。

$$0 < T_0 / T \leq 0.1 \quad \text{かつ} \quad T \leq 30 \mu\text{m}$$

【請求項 10】

請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の絶縁電線を用いたコイル。

【請求項 11】

請求項 10 に記載のコイルを有する電気・電子機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、絶縁電線、コイル、及び電気・電子機器に関する。

【背景技術】

【0002】

インバータ関連機器（高速スイッチング素子、インバータモーター、変圧器等の電気・電子機器用コイルなど）には、マグネットワイヤとして、導体の周囲に絶縁性樹脂を含む絶縁皮膜を設けた絶縁電線が用いられている。

ハイブリッドカーや電気自動車の普及に伴い、モーター効率の向上が求められ、高電圧におけるモーターの作動やインバータ制御が求められている。このような高電圧下で絶縁電線を使用すると、絶縁皮膜表面に部分放電（コロナ放電）が生じやすく、絶縁皮膜の劣化を誘発する。この部分放電を抑えるために、絶縁皮膜を一定程度厚く形成したり、絶縁皮膜を発泡層として比誘電率を低減したりすることが知られている（例えば特許文献 1）。また、二酸化チタン等の耐部分放電性物質を配合した絶縁層を設けて、部分放電による劣化を抑えることも知られている（例えば特許文献 1）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】国際公開第 2013/133334 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

近年、航空機等の電動化の流れが進み、電気・電子機器用コイルを高圧（低気圧環境下）で使用する機会が増えている。本発明者らが検討したところ、航空機の飛行環境のような低気圧環境下では、コイルを構成する絶縁電線に部分放電が発生しやすくなり、電線の絶縁破壊が生じやすくなってきた。すなわち、電気・電子機器用コイルを航空機等に搭載する場合には、平地使用の場合に比べて使用電圧等に制約が生じる。

そこで本発明は、低圧環境で使用しても部分放電を生じにくい絶縁電線、この絶縁電線を用いたコイル、及びこのコイルを用いた電気・電子機器を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明者らは上記課題に鑑み鋭意検討を重ねた結果、絶縁電線において、絶縁皮膜全体の比誘電率を特定のレベルへと抑えながら、当該比誘電率に対する、絶縁皮膜の最外層の比誘電率の比の値を特定値以上へと高めることにより、上記課題を解決できることを見出した。すなわち、絶縁皮膜の比誘電率をできる限り低減して絶縁電線の部分放電を極力抑える方向で絶縁電線の開発が進められているなかで、本発明者らは、あえて絶縁皮膜の最

10

20

30

40

50

外層の比誘電率を特定のレベルへと高めることにより上記課題を解決できることを見出し、本発明を完成させるに至った。

【 0 0 0 6 】

すなわち、本発明の上記課題は下記的手段により解決された。

[1]

導体と、該導体周囲に配された絶縁皮膜とを有する絶縁電線であって、
前記絶縁皮膜の比誘電率 () と、前記絶縁皮膜を構成する絶縁層のうち最外層の比誘電率 (ϵ_0) との関係が、 0.2 at m において下記を満たす、絶縁電線。

$$3.0 \quad \text{かつ} \quad 0 / \quad 1.2$$

[2]

前記絶縁皮膜を構成する絶縁層のうち少なくとも1層が気泡を含む層である、[1]に記載の絶縁電線。

[3]

前記の気泡を含む層の空隙率が5 ~ 70体積%である、[2]に記載の絶縁電線。

[4]

前記の気泡を含む層が熱硬化性樹脂を焼き付けてなるエナメル層である、[2]又は[3]に記載の絶縁電線。

[5]

前記の絶縁皮膜の最外層が無機微粒子を含有する、[1] ~ [4]のいずれかに記載の絶縁電線。

[6]

前記無機微粒子が二酸化チタンを含む、[5]に記載の絶縁電線。

[7]

前記の絶縁皮膜の厚さ (T) と、前記の絶縁皮膜の最外層の厚さ (T_0) との関係が下記を満たす、[1] ~ [6]のいずれかに記載の絶縁電線。

$$0 < T_0 / T \quad 0.1 \quad \text{かつ} \quad T \quad 30 \mu\text{m}$$

[8]

[1] ~ [7]のいずれかに記載の絶縁電線を用いたコイル。

[9]

[8]に記載のコイルを有する電気・電子機器。

【 0 0 0 7 】

本発明において、「 ~ 」を用いて表される数値範囲は、その前後に記載される数値を下限値及び上限値として含む範囲を意味する。

【発明の効果】

【 0 0 0 8 】

本発明の絶縁電線、コイル及び電気・電子機器は、低圧環境で使用しても絶縁電線の部分放電を生じにくい。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

【図 1】図 1 は、本発明の絶縁電線の一実施形態を示す概略断面図である。

【図 2】図 2 は、本発明の電気・電子機器に用いられるステータの好ましい形態を示す概略斜視図である。

【図 3】図 3 は、本発明の電気・電子機器に用いられるステータの好ましい形態を示す概略分解斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

[絶縁電線]

本発明の絶縁電線の好ましい実施形態について説明する。

図 1 に本発明の絶縁電線の好ましい一形態を示す。本発明の絶縁電線 1 は、導体 11 の周囲に、絶縁皮膜 14 を有する。この絶縁皮膜 14 は2層以上の絶縁層からなる複層構造

10

20

30

40

50

であり、図 1 では、絶縁層 1 2 と絶縁層 1 3（最外層）からなる 2 層の絶縁層で構成された絶縁皮膜を示している。絶縁皮膜 1 4 は、3 層以上の構成とすることも好ましい。以降の説明において、単に「絶縁皮膜 1 4」という場合、図 1 に示す 2 層構造に限定されず、2 層以上の絶縁層からなる絶縁皮膜をすべて包含する意味である。

【0011】

絶縁皮膜 1 4 の厚さは $10 \sim 300 \mu\text{m}$ が好ましく、 $20 \sim 200 \mu\text{m}$ がより好ましく、 $30 \sim 200 \mu\text{m}$ がさらに好ましく、 $35 \sim 200 \mu\text{m}$ がさらに好ましく、 $40 \sim 180 \mu\text{m}$ が特に好ましい。

【0012】

< 導体 >

本発明に用いる導体としては、従来から絶縁電線の導体として用いられているものを広く使用することができる。例えば、銅線、アルミニウム線等の金属導体が挙げられる。

【0013】

図 1 は、導体を断面矩形（平角形状）の形状として示しているが、導体の断面形状に特に制限はなく、正方形や円形、楕円形等の所望の形状とすることができる。

平角形状の導体は、角部からの部分放電を抑制する点において、4 隅に面取り（曲率半径 r ）を設けた形状であることが好ましい。曲率半径 r は、 0.6 mm 以下が好ましく、 $0.2 \sim 0.4 \text{ mm}$ がより好ましい。

導体の大きさは特に限定されない。一例を挙げると、平角導体の場合、矩形の断面形状において、幅（長辺）は $1.0 \sim 5.0 \text{ mm}$ が好ましく、 $1.4 \sim 4.0 \text{ mm}$ がより好ましい。厚み（短辺）は $0.4 \sim 3.0 \text{ mm}$ が好ましく、 $0.5 \sim 2.5 \text{ mm}$ がより好ましい。幅（長辺）と厚み（短辺）の長さの割合（厚み：幅）は、 $1:1 \sim 1:4$ が好ましい。断面形状が円形の導体の場合、直径は $0.3 \sim 3.0 \text{ mm}$ が好ましく、 $0.4 \sim 2.7 \text{ mm}$ がより好ましい。

【0014】

< 絶縁皮膜 >

絶縁皮膜 1 4 は上述の通り、2 層以上の複層構造である。本発明において、絶縁皮膜 1 4 を構成する、互いに隣り合う絶縁層の構成材料が異なる場合、当該隣り合う 2 つの絶縁層は互いに異なる層（すなわち、互いに隣り合う 2 層は 2 層構造）である。

また、互いに隣り合う絶縁層が構成材料として同じ材料を用いていても、一方の層に気泡を含有させたり、両層に気泡を含有させながらも互いの気泡含有量、気泡径等を異なるものとしたり、あるいは微粒子を添加したりして、互いに異なる層が形成されていると評価できる形態も、互いに隣り合う 2 層は 2 層構造である。なお、絶縁皮膜の最外層として気泡層を形成した場合でも、当該気泡層の最表面に、気泡を有しない、いわゆるスキン層を有する形態では、当該スキン層は当該気泡層とは異なる別の層としてみる（すなわち、気泡層とその表面のスキン層とを合わせて 2 層構造であり、スキン層が最外層となる。）。

他方、互いに隣り合う絶縁層の構成材料が同じで、各層の層内構造（気泡の状態、微粒子の状態等）も同じ場合、各層を別々に形成していたとしても、互いに隣り合う 2 つの絶縁層を合わせて 1 層の絶縁層としてみる。

絶縁皮膜 1 4 は、好ましくは 2 ～ 5 層構造であり、より好ましくは 2 ～ 4 層構造であり、2 層又は 3 層構造とすることがさらに好ましい。

【0015】

絶縁皮膜 1 4 は、その全体の 0.2 atm （ 1 atm は 101325 Pa ）における比誘電率（ ϵ_r ）と、絶縁皮膜の最外層の 0.2 atm における比誘電率（ ϵ_{r0} ）との関係が下記を満たす。

$$3.0 \leq \epsilon_r / \epsilon_{r0} \leq 1.2$$

比誘電率は、後述する実施例に記載に方法により決定することができる。また、透過型電子顕微鏡（TEM: Transmission Electron Microscopy）に搭載したエネルギー損失分光法（EELS: Electron Energy Loss Spectroscopy）等を用いて決定することもできる。EELS では局所

10

20

30

40

50

的な誘電率の評価が可能である。

比誘電率の測定における温度条件は 1 5 0 である。

【 0 0 1 6 】

3 を満たしながら、 ϵ_0 / ϵ_1 として絶縁皮膜の最外層の比誘電率を高めることにより、低気圧環境下における部分放電を、効果的に、十分に抑制することができる。すなわち、航空機等への適用に適した絶縁電線とすることができる。この理由は定かではないが、空気密度（酸素濃度）の低い低気圧環境では環境中の電荷よりも皮膜表面から放出される初期電子が部分放電の引金となりやすいこと、このような環境下、絶縁皮膜の比誘電率を最外層という限られた領域において高めることにより、絶縁皮膜全体としては比誘電率を低く抑えながら、最外層の電界を小さくして当該最外層からの初期電子の発生を効果的に抑制できることなどが一因と考えられる。

10

【 0 0 1 7 】

上記の絶縁皮膜全体の 0 . 2 a t m 下における比誘電率 () は、2 . 8 以下が好ましく、2 . 7 以下がより好ましく、2 . 6 以下がさらに好ましく、2 . 5 以下がさらに好ましく、2 . 4 以下がさらに好ましく、2 . 3 以下がさらに好ましく、2 . 2 以下が特に好ましい。また、比誘電率 () の下限に特に制限はなく、通常は 1 . 0 以上であり、1 . 4 以上とするのが实际的である。

【 0 0 1 8 】

絶縁皮膜の比誘電率 () は、平板の導体上に平行平板状に n 層積層された絶縁皮膜においては、絶縁皮膜を構成する各層の比誘電率を導体側から順に 1、2、... n とし、絶縁皮膜を構成する各層の膜厚を導体側から順に t_1 、 t_2 ... t_n として、下記式 (1) により算出される値とする。

20

式 (1) :

$$= (t_1 + t_2 + \dots + t_n) / [(t_1 / \epsilon_1) + (t_2 / \epsilon_2) + \dots + (t_n / \epsilon_n)]$$

また、絶縁皮膜の比誘電率 () は、円筒状の導体を中心にその外周に同軸円筒状に n 層積層された絶縁皮膜においては、絶縁皮膜を構成する各層の比誘電率を導体側から順に 1、2、... n) とし、導体外径を R_0 、絶縁皮膜を構成する各層の外径を導体側から順に R_1 、 R_2 ... R_n として、下記式 (2) により算出される。

式 (2) :

$$= \log (R_n / R_0) / [(\log (R_1 / R_0) / \epsilon_1) + (\log (R_2 / R_1) / \epsilon_2) + \dots + (\log (R_n / R_{(n-1)}) / \epsilon_n)]$$

30

例えば、平行平板状に積層された絶縁皮膜が 2 層構造であり、内層 (導体側) の比誘電率が 2 . 0 で厚さが 4 0 μm 、外層 (最外層) の比誘電率が 4 . 0 で厚さが 2 0 μm の場合、

比誘電率 () = $(4 0 + 2 0) / [(4 0 / 2 . 0) + (2 0 / 4 . 0)] = 2 . 4$ となる。

【 0 0 1 9 】

上記の絶縁皮膜最外層の 0 . 2 a t m における比誘電率 (ϵ_0) は、2 . 8 以上が好ましく、3 . 0 以上がより好ましく、3 . 2 以上とすることも好ましい。また、比誘電率 (ϵ_0) は 6 . 0 以下が好ましく、5 . 0 以下とすることも好ましく、4 . 8 以下とすることも好ましい。

40

【 0 0 2 0 】

上記「 ϵ_0 / ϵ_1 」は、1 . 3 以上が好ましく、1 . 4 以上がより好ましく、1 . 5 以上がさらに好ましく、1 . 6 以上とすることも好ましい。

【 0 0 2 1 】

絶縁皮膜 1 4 を構成する複数の絶縁層のうち、少なくとも 1 層は気泡を含む層 (気泡層) であることが好ましい。この気泡層を構成する気泡の平均気泡径は、気泡層の厚さにもよるが、1 0 μm 以下とすることが好ましい。気泡層を構成する気泡の平均気泡径は 7 μm 以下が好ましく、5 μm 以下とすることも好ましい。気泡層を構成する気泡の平均気泡

50

径は、通常は $0.1 \mu\text{m}$ 以上である。

平均気泡径は、絶縁層の厚み方向断面の走査電子顕微鏡 (SEM) 像において、無作為に 20 個の気泡について、画像寸法計測ソフト (ino tech 製 Pixs 2000_Pro) を用いて、径測定モードにて平均の気泡径を算出することにより決定することができる。

上記気泡層は、空隙率 (気泡層に占める気泡部分の体積の割合) が 5 ~ 70 体積% が好ましく、10 ~ 60 体積% がより好ましく、20 ~ 50 体積% がさらに好ましい。

このような気泡層は、例えば、熱硬化性樹脂を焼き付けてエナメル層を形成する際に、目的の気泡を生じさせることにより形成することができる。例えば、ワニスの主たる溶剤成分である有機溶剤と、気泡核剤ないし発泡剤としての少なくとも 1 種の高沸点溶剤とを混合した絶縁ワニスを、導体周囲に塗布し、焼き付けることにより、気泡層を形成することができる。気泡層の形成方法それ自体は本発明の技術分野において公知であり、例えば、国際公開第 2013/133334 号を参照することができる。

【0022】

本発明の絶縁電線を構成する絶縁皮膜 14 は、最外層以外の層として気泡層を有することが好ましい。この場合、最外層は上述したスキン層ではないことが好ましい (例えば、当該気泡層の外周に絶縁塗料を塗布し、焼付けて、当該気泡層の外周に別の絶縁層を形成した形態であることが好ましい)。この密着層は、例えば、気泡層と同じ構成材料を用いて発泡させずに形成した絶縁層とすることができる。

本発明の絶縁電線は、絶縁皮膜 14 を 3 層以上の絶縁層からなる構造として、最内層 (導体に接する層) 以外で、かつ最外層以外の層の少なくとも 1 層を気泡層とすることが好ましい。この場合、絶縁皮膜は 3 ~ 5 層の絶縁層からなることが好ましく、3 層又は 4 層の絶縁層からなる形態とすることも好ましい。

【0023】

本発明の絶縁電線は、絶縁皮膜 14 の最外層が無機微粒子を含有することも好ましい。この無機微粒子は耐部分放電性物質として作用し、絶縁電線の課電寿命特性の向上に寄与し得る。上記無機微粒子は一次粒子径が $1 \mu\text{m}$ 以下 (好ましくは一次粒子径 1nm 以上 500nm 以下) の無機微粒子であることが好ましい。無機微粒子の一次粒子径は、走査電子顕微鏡 (SEM) 像において、無作為に選んだ 20 個の一次粒子について、画像寸法計測ソフト (ino tech 製 Pixs 2000_Pro) を用いて、径測定モードにて平均の粒子径を算出することにより決定することができる。

【0024】

上記無機微粒子の具体例として、例えば、シリカ (SiO_2)、二酸化チタン、アルミナ、チタン酸バリウム、酸化亜鉛、及び窒化ガリウムを挙げることができる。なかでもシリカ及び / 又は二酸化チタンが好ましく、二酸化チタンがより好ましい。

絶縁皮膜の最外層に上記無機微粒子を含有させる場合、最外層中の無機微粒子の含有量は、最外層中の無機微粒子以外の成分 (典型的には絶縁性樹脂成分) 100 質量部に対し、5 ~ 40 質量部が好ましく、10 ~ 30 質量部がより好ましい。

【0025】

絶縁皮膜 14 は、その全体の厚さ (T) と、絶縁皮膜の最外層の厚さ (T_0) との関係が下記を満たすことが好ましい。 T と T_0 の単位はいずれも「 μm 」である。

$$0 < T_0 / T \leq 0.1 \quad \text{かつ} \quad T \leq 30 \mu\text{m}$$

T と T_0 が上記関係を満たすことにより、絶縁層全体として比誘電率をより抑えながら皮膜表面からの初期電子の放出も抑えて、部分放電の発生をより効果的に抑えることができる。

【0026】

絶縁皮膜 14 の厚さ (T) は、 $35 \mu\text{m}$ 以上としてもよく、 $40 \mu\text{m}$ 以上としてもよい。また、厚さ (T) は $300 \mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $200 \mu\text{m}$ 以下がより好ましく、 $180 \mu\text{m}$ 以下がさらに好ましく、 $160 \mu\text{m}$ 以下とすることも好ましい。

また、絶縁皮膜 14 の最外層の厚さ (T_0) は、 $0.1 \mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $0.3 \mu\text{m}$

m以上とすることも好ましく、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上とすることも好ましく、 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上とすることも好ましく、 $3\text{ }\mu\text{m}$ 以上とすることも好ましい。また、厚さ(T_0)は $30\text{ }\mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下がより好ましく、 $15\text{ }\mu\text{m}$ 以下がさらに好ましい。

【0027】

上記「 T_0/T 」は、 0.03 以上が好ましく、 0.04 以上がより好ましく、 0.05 以上とすることも好ましい。

【0028】

絶縁皮膜14を構成する各絶縁層の構成材料としては、この種の絶縁層の構成材料として一般的に用いられているものを広く適用することができる。例えば、ポリアリールエーテルケトン、ポリエーテルケトン、ポリエーテルエーテルケトン、ポリフェニレンスルフィド、ポリエチレンテレフタレート、ポリエチレンナフタレート、芳香族ポリアミド、ポリテトラフルオロエチレン、テトラフルオロエチレン-ヘキサフルオロプロピレン共重合体、テトラフルオロエチレン-エチレン共重合体、テトラフルオロエチレン・パーフルオロアルキルビニルエーテル共重合体、ポリエーテルイミド、ポリエーテルスルホン、ポリフェニレンエーテル、ポリフェニルスルホン、ポリイミド、ポリアミドイミド、熱可塑性ポリイミド、及びポリケトンの少なくとも1種を含む樹脂材料を、絶縁層の構成材料とすることができる。なかでもポリイミド及びポリアミドイミドの少なくとも1種を含む樹脂材料を、絶縁層の構成材料とすることが好ましく、ポリイミド又はポリアミドイミドを含む樹脂材料により絶縁層を構成することがさらに好ましい。

また、本発明の効果を損なわない範囲で、上記の絶縁層の構成材料には、気泡化核剤、酸化防止剤、帯電防止剤、紫外線防止剤、光安定剤、蛍光増白剤、顔料、染料、相溶化剤、滑剤、強化剤、難燃剤、架橋剤、架橋助剤、可塑剤、増粘剤、減粘剤、エラストマー等の各種添加剤を配合してもよい。

【0029】

[絶縁電線の作製]

本発明の絶縁電線は、例えば、絶縁層の構成材料(絶縁性樹脂)とこれを溶解する有機溶媒とを含有するワニス(樹脂)を導体の周囲に塗布し、焼付けて絶縁層を形成することを繰り返して得ることができる。この焼付けによりワニス中の溶媒は揮発して除去される。上記有機溶媒として、例えば、N-メチル-2-ピロリドン(NMP)、N,N-ジメチルアセトアミド(DMAC)、N,N-ジメチルホルムアミド(DMF)等のアミド系溶媒、N,N-ジメチルエチレンウレア、N,N-ジメチルプロピレンウレア、テトラメチル尿素等の尿素系溶媒、 γ -ブチロラクトン、 ϵ -カプロラクトン等のラクトン系溶媒、プロピレンカーボネート等のカーボネート系溶媒、メチルエチルケトン、メチルイソブチルケトン、シクロヘキサノン等のケトン系溶媒、酢酸エチル、酢酸n-ブチル、ブチルセロソルブアセテート、ブチルカルビトールアセテート、エチルセロソルブアセテート、エチルカルビトールアセテート等のエステル系溶媒、ジグリム、トリグリム、テトラグリム等のグリム系溶媒、トルエン、キシレン、シクロヘキサン等の炭化水素系溶媒、クレゾール、フェノール、ハロゲン化フェノール等のフェノール系溶媒、スルホラン等のスルホン系溶媒、ジメチルスルホキシド(DMSO)等が挙げられる。

また、本発明の絶縁電線は、熱可塑性の構成材料(押出樹脂)を、導体周囲あるいは導体周囲に形成した絶縁層の周囲に押出成形することによって得ることもできる。

また、上述のように、ワニス中や押出樹脂に気泡核剤や発泡剤を配合すれば、所望の発泡層を形成することができる。

【0030】

[コイル及び電気・電子機器]

本発明の絶縁電線は、コイルとして、各種電気・電子機器など、電気特性(耐電圧性)や耐熱性を必要とする分野に利用可能である。例えば、本発明の絶縁電線はモーターやトランス等に用いられ、高性能の電気・電子機器を構成できる。特にハイブリッド自動車(HV)や電気自動車(EV)の駆動モーター用の巻線として好適に用いられる。このように、本発明によれば、本発明の絶縁電線をコイルとして用いた、電気・電子機器、例えば

10

20

30

40

50

H V 及び E V の駆動モーターを提供できる。

【 0 0 3 1 】

本発明のコイルは、各種電気・電子機器に適した形態を有していればよく、本発明の絶縁電線をコイル加工して形成したもの、本発明の絶縁電線を曲げ加工した後に所定の部分を電氣的に接続してなるもの等が挙げられる。

本発明の絶縁電線をコイル加工して形成したコイルとしては、特に限定されず、長尺の絶縁電線を螺旋状に巻き回したものが挙げられる。このようなコイルにおいて、絶縁電線の巻線数等は特に限定されない。通常、絶縁電線を巻き回す際には鉄芯等が用いられる。

【 0 0 3 2 】

本発明の絶縁電線を曲げ加工した後に所定の部分を電氣的に接続してなるものとして、
10 回転電機等のステータに用いられるコイルが挙げられる。このようなコイルは、例えば、
図 3 に示されるように、本発明の絶縁電線を所定の長さに切断して U 字形状等に曲げ加工
して複数の電線セグメント 3 4 を作製し、各電線セグメント 3 4 の U 字形状等の 2 つの開
放端部（末端）3 4 a を互い違いに接続して、作製されたコイル 3 3（図 2 参照）が挙げ
られる。

【 0 0 3 3 】

このコイルを用いてなる電気・電子機器としては、特に限定されない。このような電気
・電子機器の好ましい一態様として、トランスが挙げられる。また、例えば、図 2 に示さ
れるステータ 3 0 を備えた回転電機（特に H V 及び E V の駆動モーター）が挙げられる。
この回転電機は、ステータ 3 0 を備えていること以外は、従来の回転電機と同様の構成と
20 することができる。

ステータ 3 0 は、電線セグメント 3 4 が本発明の絶縁電線で形成されていること以外は
従来のステータと同様の構成とすることができる。すなわち、ステータ 3 0 は、ステータ
コア 3 1 と、例えば図 2 に示されるように本発明の絶縁電線からなる電線セグメント 3 4
がステータコア 3 1 のスロット 3 2 に組み込まれ、開放端部 3 4 a が電氣的に接続されて
なるコイル 3 3 とを有している。このコイル 3 3 は、隣接する融着層同士、あるいは融着
層とスロット 3 2 とが固着されて固定化された状態となっている。ここで、電線セグメン
ト 3 4 は、スロット 3 2 に 1 本で組み込まれてもよいが、好ましくは図 3 に示されるよう
に 2 本 1 組として組み込まれる。このステータ 3 0 は、上記のように曲げ加工した電線セ
グメント 3 4 を、その 2 つの末端である開放端部 3 4 a を互い違いに接続してなるコイル
3 3 が、ステータコア 3 1 のスロット 3 2 に収納されている。このとき、電線セグメント
3 4 の開放端部 3 4 a を接続してからスロット 3 2 に収納してもよく、また、絶縁セグメン
ト 3 4 をスロット 3 2 に収納した後に、電線セグメント 3 4 の開放端部 3 4 a を折り曲
げ加工して接続してもよい。
30

【 0 0 3 4 】

本発明を実施例に基づいて、さらに詳細に説明するが、本発明がこれらの形態に限定さ
れるものではない。

【実施例】

【 0 0 3 5 】

[製造例 1] 絶縁電線の製造

< 導体 1 1 >

導体 1 1 として、断面円形（断面の外径 1 mm）の銅線を用いた。

【 0 0 3 6 】

< 絶縁塗料 - I >

ポリイミド（P I）樹脂ワニス（商品名：U イミド、ユニチカ社製）を絶縁塗料 - I と
した。この P I 樹脂ワニスは、ポリイミド前駆体であるポリアミック酸が溶媒中に溶解し
てなるワニスであり、後述の塗布・焼付けにより P I 樹脂層が形成される。

【 0 0 3 7 】

< 絶縁塗料 - II >

ポリアミドイミド（P A I）樹脂ワニス（商品名：H I - 4 0 6、日立化成社製）を絶

10

20

30

40

50

縁塗料 - IIとした。

【 0 0 3 8 】

< 絶縁電線 >

乾燥後の膜厚が $3 \mu\text{m}$ になるようにダイスを設定し、上記導体の外周面に絶縁塗料 - I を塗布して塗布膜を形成した。

およそ 10m の熱風循環式の縦型炉を用いて、 520°C にて通過時間を $10 \sim 20$ 秒として焼付けを行った。この塗布・焼付けを 15 回繰り返し、絶縁皮膜の厚さが $45 \mu\text{m}$ の絶縁層 - I を形成した。

次いで、乾燥後の膜厚が $2.5 \mu\text{m}$ になるようにダイスを設定し、絶縁層 - I の外周面に絶縁塗料 - II を塗布して塗布膜を形成した。

およそ 10m の熱風循環式の縦型炉を用いて、 520°C にて通過時間を $10 \sim 20$ 秒として焼付けを行った。この塗布・焼付けを 2 回繰り返し、絶縁皮膜の厚さが $5 \mu\text{m}$ の絶縁層 - II (最外層) を形成した。

こうして、導体周囲に絶縁層 - I と絶縁層 - II の 2 層構造の絶縁皮膜を有する実施例 1 の絶縁電線を得た。

【 0 0 3 9 】

[製造例 2 ~ 6、比較製造例 1 ~ 3] 絶縁電線の製造

絶縁皮膜を構成する各絶縁層の構成材料、厚さを下表の通りに変更したこと以外は、製造例 1 と同様にして、それぞれ実施例 2 ~ 6、比較例 1 ~ 3 の各絶縁電線を得た。

下表中、絶縁層 1 は導体に接する層であり、絶縁層 2 は絶縁層 1 の外周に設けられ、かつ最外層よりも導体側の層であり、絶縁層 3 は最外層である。

下表中、「PI」層は、上記絶縁塗料 - I を用いて形成した絶縁層であり、「PAI」層は、上記絶縁塗料 - II を用いて形成した絶縁層である。

下表中、「気泡PI」層は、絶縁塗料 - I 中に、溶剤として N,N - ジメチルアセトアミドとテトラエチレングリコールジメチルエーテルを添加し、上記と同様にして塗布、焼付けを行うことにより形成した。この「気泡PI」層中に形成された気泡の平均気泡径は $1 \sim 3 \mu\text{m}$ の間にあり、「気泡PI」層中の空隙率はいずれも $20 \sim 50$ 体積%の間にあった。

下表中、「PI + SiO_2 」層は、絶縁塗料 - I において、ポリアミク酸とシリカ (SiO_2 、一次粒子径 15nm) の各配合量が質量比でポリアミク酸 : $\text{SiO}_2 = 100 : 20$ となるようにシリカを配合し、これを塗布、焼付けして形成した。また、「PI + TiO_2 」層もまた、絶縁塗料 - I において、ポリアミク酸と二酸化チタン (TiO_2 、一次粒子径 15nm) の各配合量が質量比でポリアミク酸 : $\text{TiO}_2 = 100 : 30$ となるように二酸化チタンを配合し、これを塗布、焼付けして形成した。

【 0 0 4 0 】

[比誘電率]

絶縁皮膜を構成する各絶縁層の比誘電率は、導体 11 の周囲に絶縁皮膜として、各絶縁層に対応する絶縁層を 1 層だけ有する絶縁電線 (絶縁皮膜が 1 層構造) を作製し、それらの静電容量を測定し、静電容量と絶縁皮膜の厚さから得られた比誘電率を各絶縁層の比誘電率とした。静電容量の測定には、LCR ハイテスタ (日置電機社製、型式 IM 3536) を用いた。測定条件としては、測定温度を 150°C 、測定気圧を 0.2atm とし、測定周波数を 1kHz とした。

比誘電率は下記式によって算出した。

$$\text{比誘電率 } r^* = C_p \cdot \text{Log} (b/a) / (2 \epsilon_0)$$

上記式において、 r^* は絶縁層の比誘電率、 C_p は単位長さ当りの静電容量 [pF/m]、 a は導体の外径 (mm)、 b は絶縁電線の外径 (mm)、 ϵ_0 は真空の誘電率 ($8.854 \times 10^{-12} [\text{F/m}]$) である。

得られた各絶縁層の比誘電率から、上述した式 (2) により、絶縁皮膜全体の比誘電率を決定した。

【 0 0 4 1 】

10

20

30

40

50

[部分放電開始電圧 (P D I V)]

2本の絶縁電線をツイスト状に撚り合わせた試験片を作製し、各々の導体間に正弦波50Hzの交流電圧を印加して、連続的に昇圧させながら放電電荷量が10pCのときの電圧(実効値)を測定し、下記評価基準に当てはめ評価した。測定温度は常温(20)とし、1atmと0.2atmの異なる気圧下で測定した。部分放電開始電圧の測定には部分放電試験機(菊水電子工業製、KPD2050)を用いた。

- 部分放電開始電圧の評価基準 -

< 1atmにおける部分放電開始電圧 >

+ : 1500Vrms以上

: 1000Vrms以上1500Vrms未満

: 500Vrms以上1000Vrms未満

x : 500Vrms未満

< 0.2atmにおける部分放電開始電圧(部分放電開始電圧維持率(%)) >

: 70% $100 \times (0.2\text{atmにおける部分放電開始電圧}) / (1\text{atmにおける部分放電開始電圧})$

: 65% $100 \times (0.2\text{atmにおける部分放電開始電圧}) / (1\text{atmにおける部分放電開始電圧}) < 70\%$

x : $100 \times (0.2\text{atmにおける部分放電開始電圧}) / (1\text{atmにおける部分放電開始電圧}) < 65\%$ 未満

【0042】

[課電寿命]

2本の電線を撚り合わせ、各々の導体間に、0.2atm下における部分放電開始電圧の1.5倍の大きさの交流電圧(正弦波10kHz)を印加して、絶縁破壊するまでの時間を測定し、下記評価基準に当てはめ評価した。測定温度は常温(20)とし、0.2atmの低気圧下で測定した。絶縁破壊するまでの時間が100分以上を合格とした。

- 課電寿命の評価基準 -

: 1000分以上

: 100分以上1000分未満

x : 100分未満

【0043】

結果を下表に示す。

【0044】

10

20

30

40

50

【表 1】

表 1

	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	実施例6	比較例1	比較例2	比較例3
絶縁層1 (厚さ μm)	PI (45)	気泡PI (70)	PI (5)	PI (5)	PI (5)	PI (5)	PAI (25)	PI (50)	気泡PI (70)
絶縁層2 (厚さ μm)	無し	無し	気泡PI (85)	気泡PI (85)	気泡PI (85)	気泡PI (125)	無し	無し	無し
絶縁層3 (厚さ μm)	PAI (5)	PI (5)	PI+ SiO_2 層 (0.5)	PI (10)	PI+ SiO_2 (10)	PI+ TiO_2 (10)	無し	無し	PI (5)
T	50	75	90.5	100	100	140	25	50	75
T_0	5	5	0.5	10	10	10	—	—	5
T_0/T	0.1	0.067	0.006	0.1	0.1	0.071	—	—	0.067
ε	3.0	2.5	2.0	2.0	2.0	1.9	4.2	3.0	2.8
ε_0	4.2	3.0	3.0	3.0	3.1	4.5	4.2	3.0	3.0
$\varepsilon_0/\varepsilon$	1.4	1.2	1.5	1.5	1.6	2.4	1.0	1.0	1.1
PDIV	1atm	○	○	◎	◎	◎	◎+	×	○
	0.2atm	○	○	◎	◎	◎	◎	×	×
課電寿命 (0.2atm)	○	○	○	○	◎	◎	×	×	○

【0045】

上記表において、 ε は絶縁皮膜全体の 0.2atm における比誘電率、 ε_0 は絶縁皮膜の最外層の 0.2atm における比誘電率である（表中の ε_0 は請求項で規定する ε_0 であり、上述した比誘電率算出式における ε_0 （真空の誘電率）とは異なる意味である）。

上記表に示されるように、絶縁皮膜を単層に形成した場合には、特に低気圧下において部分放電開始電圧が低下し、絶縁破壊も生じやすかった（比較例 1、2）。また、絶縁皮膜を複層構造として、絶縁皮膜全体の比誘電率を抑えながら最外層の比誘電率を相対的に高めた場合でも、 $\varepsilon_0/\varepsilon$ 1.2 を満たさないと低気圧下における部分放電開始電圧を十分に高めることができなかった（比較例 3）。

これに対し、絶縁皮膜が本発明の規定を満たす絶縁電線はいずれも、低気圧環境においても部分放電開始電圧が効果的に高められ、また、絶縁破壊も生じにくかった（実施例 1～6）。

【符号の説明】

【0046】

- 1 絶縁電線
- 11 導体
- 12 絶縁層（内層）
- 13 絶縁層（最外層）
- 14 絶縁皮膜
- 30 ステータ
- 31 ステータコア
- 32 スロット
- 33 コイル
- 34 電線セグメント
- 34a 開放端部

10

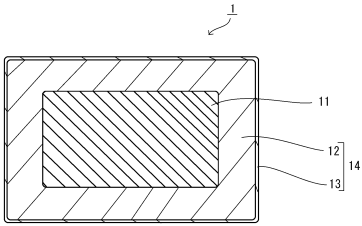
20

30

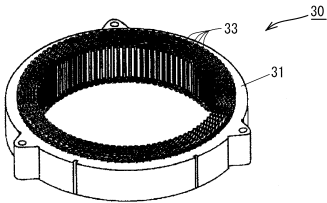
40

50

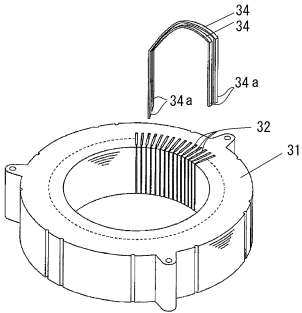
【図面】
【図 1】



【図 2】



【図 3】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 中嶋 久雄

(56)参考文献 国際公開第 2 0 1 3 / 1 3 3 3 3 3 (W O , A 1)

国際公開第 2 0 1 3 / 1 3 3 3 3 4 (W O , A 1)

国際公開第 2 0 1 4 / 1 2 3 1 2 3 (W O , A 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 B 7 / 0 2

H 0 1 F 5 / 0 6