

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6858823号
(P6858823)

(45) 発行日 令和3年4月14日(2021.4.14)

(24) 登録日 令和3年3月26日(2021.3.26)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 B 7/02 (2006.01)

H O 1 B 7/02 G

H O 2 K 3/30 (2006.01)

H O 1 B 7/02 Z

H O 2 K 3/40 (2006.01)

H O 1 B 7/02 A

H O 1 F 5/06 (2006.01)

H O 2 K 3/30

H O 2 K 3/40

請求項の数 6 (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2019-184666 (P2019-184666)
 (22) 出願日 令和1年10月7日(2019.10.7)
 (62) 分割の表示 特願2016-557778 (P2016-557778)
 の分割
 原出願日 平成27年11月4日(2015.11.4)
 (65) 公開番号 特開2020-35750 (P2020-35750A)
 (43) 公開日 令和2年3月5日(2020.3.5)
 審査請求日 令和1年10月18日(2019.10.18)
 (31) 優先権主張番号 特願2014-227585 (P2014-227585)
 (32) 優先日 平成26年11月7日(2014.11.7)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 日本国(JP)

(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
 特許業務法人イイダアンドパートナーズ
 (72) 発明者 藤森 健二
 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 大矢 真
 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 小比賀 亮介
 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 絶縁ワイヤおよび回転電機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

導体の外周面上に直接または間接的に少なくとも1層の気泡を有する熱硬化性樹脂からなる発泡絶縁層を有し、該発泡絶縁層は厚さ方向において気泡密度が3%以上異なり、該気泡密度は発泡絶縁層の導体側とは反対側において最大であり、該発泡絶縁層における平均気泡径が10 μm以下であることを特徴とする絶縁ワイヤ。

【請求項2】

前記発泡絶縁層の厚さ方向における気泡密度差が、3%以上90%以下であることを特徴とする請求項1に記載の絶縁ワイヤ。

【請求項3】

前記発泡絶縁層における平均気泡径が、1 nm以上10 μm以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の絶縁ワイヤ。

【請求項4】

前記発泡絶縁層の厚さが、10～200 μmであることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の絶縁ワイヤ。

【請求項5】

前記熱硬化性樹脂が、ポリアミドイミド樹脂、ポリイミド樹脂、ポリアミド樹脂、ポリエーテルイミド樹脂、ポリエステルイミド樹脂およびポリエーテルサルホン樹脂から選択されることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の絶縁ワイヤ。

【請求項6】

10

20

請求項 1～5 のいずれか 1 項に記載の絶縁ワイヤを用いてなることを特徴とする回転電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、絶縁ワイヤおよび回転電機に関する。

【背景技術】

【0002】

インバータは、効率的な可変速制御装置として、多くの電気機器に取り付けられるようになってきている。しかし、数kHz～数十kHzでスイッチングが行われ、それらのパルス毎にサージ電圧が発生する。このようなインバータサージは、伝搬系内におけるインピーダンスの不連続点、例えば接続する配線の始端または終端等において反射が発生し、その結果、最大でインバータ出力電圧の2倍の電圧が印加される。特に、絶縁ゲート型バイポーラ・トランジスタ（IGBT）等の高速スイッチング素子により発生する出力パルスは、電圧峻度が高く、それにより接続ケーブルが短くてもサージ電圧が高く、更にその接続ケーブルによる電圧減衰も小さく、その結果、インバータ出力電圧の2倍近い電圧が発生する。

10

【0003】

インバータ関連機器、例えば高速スイッチング素子、インバータモーター、変圧器等の電気機器コイルには、マグネットワイヤとして主にエナメル線である絶縁ワイヤが用いられている。従って、前述したように、インバータ関連機器では、インバータ出力電圧の2倍近い電圧がかかることから、インバータサージに起因する部分放電劣化を最小限にすることが、絶縁ワイヤに要求されるようになってきている。

20

【0004】

一般に、部分放電劣化とは、電気絶縁材料の部分放電（微小な空隙状欠陥などがある部分の放電）で発生した荷電粒子の衝突による分子鎖切断劣化、スパッタリング劣化、局部温度上昇による熱溶融もしくは熱分解劣化、または、放電で発生したオゾンによる化学的劣化等が複雑に起こる現象を言う。実際に部分放電劣化した電気絶縁材料は、その厚みの減少が見られる。

【0005】

30

絶縁層の材料として常用される樹脂のほとんどの比誘電率が3～4の間にあるように比誘電率が特別低いものがない。また、現実的には、絶縁層に求められる他の特性（可とう性、耐熱性、耐溶剤性等）を考慮した場合、必ずしも、常に、比誘電率が低いものを選択できるという訳ではない。

【0006】

近年、ステータスロット断面積に対する導体断面積の比率（占積率）を、特に高くすることが要求されている。この要求特性を考慮すると、絶縁ワイヤには優れた可とう性が求められる。

【0007】

これに加えて、電気機器コイルの使用周波数がGHz領域まで拡大してきている。使用する周波数が高くなるほど、絶縁ワイヤの絶縁体部分の誘電損失が大きくなる。誘電特性の低減、伝送特性の向上のために、複数の熱可塑性樹脂で構成された発泡絶縁層を設け、中心導体側の発泡絶縁層の発泡密度を高くしたり（特許文献1参照）、外側の発泡絶縁層の発泡密度を30～60％に調整すること（特許文献2参照）が提案されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2007-35417号公報

【特許文献2】特開2007-188742号公報

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明は、上記状況を鑑み、発泡絶縁層を形成する樹脂に、耐熱性、機械的強度、耐クリープ性、耐溶剤性に優れた熱硬化性樹脂を使用することで、上記の課題を解決し、従来より一段と優れた性能の絶縁ワイヤを提供することを課題とする。特に、従来技術では、高い部分放電開始電圧は得られるものの、ますます過酷になる巻線加工に耐えられる極めて優れた可とう性を両立させることは困難であった。

すなわち、本発明は、部分放電開始電圧および絶縁破壊電圧がともに高く、可とう性と耐摩耗性に優れた絶縁ワイヤを提供することを課題とする。さらにこのような優れた性能の絶縁ワイヤを用いた回転電機を提供することを課題とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の課題は下記的手段により解決された。

(1) 導体の外周面上に直接または間接的に少なくとも1層の気泡を有する熱硬化性樹脂からなる発泡絶縁層を有し、該発泡絶縁層が厚さ方向において気泡密度が3%以上異なり、該気泡密度は発泡絶縁層の導体側とは反対側において最大であり、該発泡絶縁層における平均気泡径が10 μm 以下であることを特徴とする絶縁ワイヤ。

(2) 前記発泡絶縁層の厚さ方向における気泡密度差が、3%以上90%未満であることを特徴とする(1)に記載の絶縁ワイヤ。

(3) 前記発泡絶縁層における平均気泡径が、1 nm以上10 μm 以下であることを特徴とする(1)または(2)に記載の絶縁ワイヤ。

20

(4) 前記発泡絶縁層の厚さが、10～200 μm であることを特徴とする(1)～(3)のいずれか1項に記載の絶縁ワイヤ。

(5) 前記熱硬化性樹脂が、ポリアミドイミド樹脂、ポリイミド樹脂、ポリアミド樹脂、ポリエーテルイミド樹脂、ポリエステルイミド樹脂およびポリエーテルサルホン樹脂から選択されることを特徴とする(1)～(4)のいずれか1項に記載の絶縁ワイヤ。

(6) 前記(1)～(5)のいずれか1項に記載の絶縁ワイヤを用いてなることを特徴とする回転電機。

【0011】

本発明では、気泡とは、直径0.1 μm 以上の空隙もしくは発泡によって生じた空隙を意味し、発泡層とは、1つの層の厚さを1とした場合、縦横1×1となる面積当たり5個以上の気泡を含む層を意味する。

30

ここで、本発明において、異なった層とは、樹脂が異なる層だけでなく、樹脂が同一であっても、気泡を有する発泡層と気泡を有しない無発泡層はそれぞれ異なった層である。

また、熱硬化性樹脂を使用する場合、気泡を有さない無発泡層において、同一樹脂ワニスを塗布および焼き付けを繰り返して、単に厚みを調節した層は同一層である。

一方、発泡層の場合、厚さ方向に発泡密度が異なっても同一樹脂で構成されていれば、同一層であり、厚みを調節したり、単に発泡密度を変化させるために、樹脂ワニスを塗布および焼き付けを繰り返したとしても、少なくとも樹脂が同一であれば、同一層である。例えば、同一樹脂ワニスで、塗布後、焼き付け条件を変更した場合、樹脂ワニス中の樹脂が同一で、発泡密度を変更するための発泡剤の種類や量のみ異なる樹脂ワニスで、塗布および焼き付けを繰り返した場合は、いずれも同一層、すなわち、1層である。

40

なお、使用されている樹脂が異なっているかどうかは赤外吸収スペクトルまたはラマンスペクトルを分析することで判断できる。また、気泡を有するかどうかは、厚み方向での断面を走査電子顕微鏡(SEM)により300～3000倍で観測(撮影)することで判断できる。

【発明の効果】

【0012】

本発明により、部分放電開始電圧および絶縁破壊電圧がともに高く、可とう性と耐摩耗性に優れた絶縁ワイヤを提供することが可能となった。これにより、このような優れた性

50

能の絶縁ワイヤを用いた回転電機を提供できる。

【0013】

本発明の上記及び他の特徴及び利点は、適宜添付の図面を参照して、下記の記載からより明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】図1(a)は本発明の絶縁ワイヤの一実施態様を示した断面図であり、図1(b)は本発明の絶縁ワイヤの別の実施態様を示した断面図である。

【図2】図2(a)は本発明の絶縁ワイヤのさらに別の実施態様を示した断面図であり、図2(b)は本発明の絶縁ワイヤのさらにまた別の実施態様を示した断面図である。

【図3】図3(a)は本発明の絶縁ワイヤのまた別の実施態様を示した断面図であり、図3(b)は本発明の絶縁ワイヤの別の実施態様を示した断面図である。

【図4】図4は気泡密度の算出方法を説明するための絶縁ワイヤの断面の走査電子顕微鏡写真である。

【図5】図5は気泡密度の算出方法を説明するための絶縁ワイヤの断面の走査電子顕微鏡写真であり、発泡絶縁層の上方と下方での気泡密度を求めたものである。

【図6】図6は実施例での各試料の気泡密度の差異を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の絶縁ワイヤを説明する。

<<絶縁ワイヤ>>

本発明の絶縁ワイヤ（絶縁電線とも称す）は、導体の外周面上に直接または間接的に少なくとも1層の気泡を有する熱硬化性樹脂からなる発泡絶縁層を有し、該発泡絶縁層が厚さ方向において気泡密度が異なる。

【0016】

本発明では、導体と熱硬化性樹脂からなる発泡絶縁層の間に、熱硬化性樹脂からなる内側絶縁層を有してもよく、熱硬化性樹脂からなる発泡絶縁層の外側に、熱可塑性樹脂からなる外側絶縁層を設けてもよい。また、熱硬化性樹脂からなる発泡絶縁層の外側に、内部絶縁層を介して、外側絶縁層を設けてもよい。

なお、内側絶縁層は、導体の外周面に形成され、後述する発泡絶縁層を形成する熱硬化性樹脂で気泡をもたない状態に形成される層である。また、内部絶縁層は、発泡絶縁層の内部に、後述する発泡絶縁層を形成する熱硬化性樹脂で気泡をもたない状態に形成される層である。本発明では、必要に応じて、内側絶縁層や内部絶縁層が設けられる。

絶縁ワイヤの長手方向と垂直な断面における電線皮膜の総厚み（全ての絶縁層の厚みの合計；導体から表面までの合計厚さ）は20～300 μmが好ましく、50～200 μmがより好ましい。

【0017】

以下に、導体、熱硬化性樹脂からなる発泡絶縁層および熱可塑性樹脂からなる外側絶縁層を有する絶縁ワイヤを例に、図面を参照して説明する。

ただし、本発明は、図面に記載のものに限定されるものではない。

【0018】

図1(a)に断面図を示した本発明の絶縁ワイヤの一実施態様は、断面が円形の導体1と、導体1の外周面を被覆した、熱硬化性樹脂からなり厚み方向に気泡密度が異なる発泡絶縁層2と、発泡絶縁層2の外周面を被覆した、熱可塑性樹脂からなる外側絶縁層3を有してなる。この一実施態様は、発泡絶縁層2および外側絶縁層3も断面は円形である。

図1(b)に断面図を示した本発明の絶縁ワイヤの別の実施態様は、導体1として断面が矩形のものをを用いたもので、それ以外は基本的に図1(a)に示す絶縁ワイヤと同様である。この実施態様は、導体1の断面が矩形であるので、熱硬化性樹脂からなる発泡絶縁層2および熱可塑性樹脂からなる外側絶縁層3も断面が矩形である。

【0019】

図2(a)に断面図を示した本発明の絶縁ワイヤのさらに別の実施態様では、気泡を有する熱硬化性樹脂からなり厚み方向に気泡密度が異なる発泡絶縁層2の内側であって導体1の外周に熱硬化性樹脂からなる内側絶縁層25を設けた以外は図1(a)に示す絶縁ワイヤと同様である。

図2(b)に示した本発明の絶縁ワイヤのさらにまた別の実施態様では、発泡絶縁層2を厚さ方向に2つの層に分割する内部絶縁層26を設け、導体1の断面が矩形のものを用いた以外は図2(a)に示す絶縁ワイヤと同様である。すなわち、この実施態様では、導体1上に、内側絶縁層25、発泡絶縁層2、内部絶縁層26、発泡絶縁層2および外側絶縁層3がこの順で積層形成されている。

本発明において、「内側絶縁層」は、気泡を有していないこと以外は発泡絶縁層と基本的に同様であり、「内部絶縁層」は形成される位置が異なること以外は内側絶縁層と基本的に同様である。

【0020】

図3(a)に断面図を示した本発明の絶縁ワイヤのまた別の実施態様では、気泡を有する熱硬化性樹脂からなる発泡絶縁層2と外側絶縁層3との間に密着層のような内部絶縁層35を介装した以外は図2(a)に示す絶縁ワイヤと同様である。

図3(b)に示した本発明の絶縁ワイヤの別の実施態様では、気泡を有する熱硬化性樹脂からなり厚み方向に気泡密度が異なる発泡絶縁層2と外側絶縁層3との間に密着層のような内部絶縁層35を、図2(b)の内部絶縁層26の代わりに設けた以外は図2(b)に示す絶縁ワイヤと同様である。

【0021】

<導体>

本発明に用いる導体1としては、従来、絶縁電線もしくは絶縁ワイヤで用いられているものを使用することができ、例えば、銅、銅合金、アルミニウム、アルミニウム合金またはそれらの組み合わせ等が挙げられる。好ましくは、酸素含有量が30ppm以下の低酸素銅、さらに好ましくは20ppm以下の低酸素銅または無酸素銅の導体である。酸素含有量が30ppm以下であれば、導体を溶接するために熱で溶融させた場合、溶接部分に含有酸素に起因するボイドの発生がなく、溶接部分の電気抵抗が悪化することを防止するとともに溶接部分の強度を保持することができる。

【0022】

本発明で使用する導体1は、断面形状は、円形（丸形状）、矩形（平角形状）あるいは六角形等いずれの形状でも構わないが、矩形の導体1は円形のものと比較し、巻線時に、ステータスロットに対する占積率が高いため、好ましい。

矩形の導体1の大きさは、特に限定はないが、幅（長辺）は1～5mmが好ましく、1.4～4.0mmがより好ましく、厚み（短辺）は0.4～3.0mmが好ましく、0.5～2.5mmがより好ましい。幅（長辺）と厚み（短辺）の長さの割合は、1：1～1：4が好ましい。

また、矩形の4隅に面取り（曲率半径r）を設けた形状であることが望ましい。曲率半径rは、0.6mm以下が好ましく、0.2～0.4mmがより好ましい。

【0023】

断面が円形の導体1の場合、大きさは、特に限定はないが、直径で0.3～3.0mmが好ましく、0.4～2.7mmがより好ましい。

【0024】

<発泡絶縁層>

発泡絶縁層の厚さに制限はないが、本発明では、10～200μmが好ましい。

また、本発明では、発泡絶縁層は1層でも2層以上の複数の層からなってもよい。

【0025】

発泡絶縁層は、導体に塗布し焼き付けて絶縁皮膜を形成できるようワニス状にできるものが好ましい。本発明では、発泡絶縁層を構成する樹脂は熱硬化性樹脂を使用する。

熱硬化性樹脂としては、従来用いられているものを使用することができる。本発明では

10

20

30

40

50

、ポリアミドイミド（PAI）、ポリイミド（PI）、ポリアミド（PA）、ポリエーテルイミド（PEI）、ポリエステルイミド（PEsI）およびポリエーテルサルホン（PES）から選択される樹脂が好ましく、なかでも耐溶剤性に優れるポリアミドイミド（PAI）およびポリイミド（PI）がより好ましく、ポリアミドイミド（PAI）が特に好ましい。

使用する熱硬化性樹脂は、1種を単独で用いてもよく、2種以上を混合して用いてもよい。

【0026】

ポリアミドイミド樹脂としては、市販品（例えば、HI406（日立化成株式会社製、商品名）など）を用いるか、通常の方法により、例えば極性溶媒中でトリカルボン酸無水物とジイソシアネート類を直接反応させて得たものを用いることができる。

ポリイミドとしては、例えば、UIミド（ユニチカ株式会社製、商品名）、Uーワニス（宇部興産株式会社製、商品名）、HCIシリーズ（日立化成株式会社製、商品名）、オーラム（三井化学株式会社製、商品名）などを使用することができる。

【0027】

発泡絶縁層を形成する熱硬化性樹脂には、結晶性樹脂の場合は融点が240℃以上である熱可塑性樹脂、または、非晶性樹脂の場合はガラス転移温度が240℃以上の熱可塑性樹脂を添加してもよい。このときの熱可塑性樹脂は、25℃での貯蔵弾性率が1GPa以上であることが望ましい。熱可塑性樹脂を含有することで可とう性、伸び特性が改善される。熱可塑性樹脂のガラス転移温度は、好ましくは180℃以上であり、さらに好ましくは210～350℃である。このような熱可塑性樹脂の添加量は樹脂固形分の5～50質量％が好ましい。

【0028】

この目的で使用可能な熱可塑性樹脂は、非晶性樹脂であることが好ましい。例えば、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（PPSU）及びポリイミドから選ばれた少なくとも1種が好ましい。ポリエーテルイミドとしては、例えば、ウルテム（GEプラスチック株式会社製、商品名）などを使用することができる。ポリエーテルスルホンとしては、例えば、スミカエクセルPES（住友化学株式会社製、商品名）、PES（三井化学株式会社製、商品名）、ウルトラゾーンE（BASFジャパン株式会社製、商品名）、レーデルA（ソルベイアドバンスポリマーズ株式会社製、商品名）などを使用することができる。ポリフェニレンエーテルとしては、例えば、ザイロン（旭化成ケミカルズ株式会社製、商品名）、ユピエース（三菱エンジニアリングプラスチックス株式会社製、商品名）などを使用することができる。ポリフェニルスルホンとしては、例えば、レーデルR（ソルベイアドバンスポリマーズ株式会社製、商品名）などを使用することができる。ポリイミドとしては、例えば、Uーワニス（宇部興産株式会社製、商品名）、HCIシリーズ（日立化成株式会社製、商品名）、UIミド（ユニチカ株式会社製、商品名）、オーラム（三井化学株式会社製、商品名）などを使用することができる。溶剤に溶解しやすい点においてポリフェニルスルホン、ポリエーテルイミドがより好ましい。

【0029】

本発明においては、特性に影響を及ぼさない範囲で、発泡絶縁層を形成する熱硬化性樹脂に対して、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、およびエラストマーなどの各種添加剤を配合してもよい。また、得られる絶縁ワイヤに、発泡絶縁層とは別に、これらの添加剤を含有する樹脂からなる層を積層してもよいし、これらの添加剤を含有する塗料をコーティングしてもよい。

【0030】

気泡を有する熱硬化性樹脂で形成された発泡絶縁層の比誘電率を低減するために、発泡絶縁層の発泡倍率は、1.2倍以上が好ましく、1.4倍以上がより好ましい。発泡倍率の上限に制限はないが、通常5.0倍以下とすることが好ましい。発泡倍率は、発泡のた

10

20

30

40

50

めに被覆した樹脂の密度 (ρ_f) および発泡前の密度 (ρ_s) を水中置換法により測定し、(ρ_s / ρ_f) により算出する。

【0031】

本発明では、気泡密度は発泡絶縁層の導体側とは反対側において最大である。

ここで、気泡密度の差は、同一発泡樹脂層内での密度差であり、以下の方法で絶縁ワイヤの絶縁皮膜を観測して、気泡密度を求めることができる。

【0032】

絶縁ワイヤの絶縁皮膜を液体窒素中で冷却しながら厚み方向にへき開し、厚み方向での断面を走査電子顕微鏡 (SEM) により 300~3000 倍で撮影する。皮膜全体の厚さが観察画面に全て収まるように倍率を調整する。例えば、皮膜全体の厚さが 200 μm のときは 300 倍、10 μm のときは 3000 倍にするとよい。撮影した断面の SEM 写真を画像解析ソフト、例えば、「WinROOF ver.7.1」(三谷商事株式会社製) に取り込む。この画像解析ソフトで面積率が算出できる。図 4 に示す写真のように、画面上縦方向は皮膜全層の厚さが見えるようにする。

【0033】

厚み全体の SEM 写真より、発泡絶縁層の空隙の分布に明らかに偏りがある場合、各々の分布の厚みを 1 として、縦横 1×1 の面積を計測範囲とする。例えば、気泡密度が 10 % 以上異なる場合、図 5 に示すように、目視でも分布ありと判別できる場合が多い。

厚み方向の SEM 写真より、空孔の分布が明確ではない場合、導体側より 5 μm × 5 μm ごとに計測範囲を設定する。なお、図 4 に示す SEM 写真がこの場合に相当する。例えば、発泡絶縁層の厚みが 30 μm の場合、計測範囲は縦方向に計 6 ヶ所となる。

計測範囲を画像解析し、面積率を算出する。

ここで、面積率とは、計測範囲の面積における空隙の割合である。算出した面積率 (%) を気泡密度 (%) とする。

【0034】

本発明における気泡密度差 (%) とは、同一層における最大の気泡密度 (%) と最小の気泡密度 (%) の差をいう。

【0035】

本発明では、発泡絶縁層の厚さ方向での気泡密度の差は、3 % 以上が好ましく、5 % 以上が特に好ましい。

なお、厚み方向で 3 % 以上の気泡密度の差があれば、気泡密度に傾斜があると判断される。

本発明では、気泡密度に 3 % 以上の傾斜があれば、気泡密度に傾斜を有しない場合と比較して可とう性が優位に向上することを見出したものである。

【0036】

気泡密度の差は最大 90 %、最小 3 % 異なることが望ましく、最大 90 %、最小 5 % 異なることが特に望ましい。

本発明で、気泡密度を論じる際は、上記の観点で任意に設定した縦横ピクセル数の範囲を「中」、「中」の範囲を含まずにこれより導体側に設定した任意の縦横ピクセル数の範囲を「下」、「中」の範囲を含まずにこれより皮膜表面側に設定した任意の縦横ピクセル数の範囲を「上」と分類することがある。

【0037】

本発明における同一の発泡絶縁層で、上記のような気泡密度が発泡絶縁層の導体側とは反対側において最大となる発泡絶縁層を形成するには、実施例で示すように、炉温を調節し、ワニス塗布、焼付けを複数回繰り返すことで可能である。

【0038】

発泡絶縁層は、平均気泡径が 10 μm 以下が好ましく、5 μm 以下がより好ましく、3 μm 以下がさらに好ましく、1 μm 以下が特に好ましい。10 μm を超えると絶縁破壊電圧が低下することがあり、10 μm 以下とすることで絶縁破壊電圧を良好に維持できる。さらに、5 μm 以下、3 μm 以下とすることにより、順次絶縁破壊電圧をより確実に保持

できる。平均気泡径の下限に制限はないが、1 nm以上であることが实际的であり、好ましい。

【0039】

平均気泡径は、発泡絶縁層の断面を走査電子顕微鏡（SEM）で観察し、発泡密度を観察した範囲から均等に、合計50個の気泡を無作為に選び、画像寸法計測ソフト（三谷商事株式会社製WinROOF）を用いて径測定モードで測定し、これらを平均して算出した値である。この気泡径は、発泡倍率、樹脂の濃度、粘度、温度、発泡剤の添加量、焼付け炉の温度等の製造プロセスによって調整できる。

【0040】

発泡絶縁層は空気を含むことで比誘電率を低下させ、電圧が印加された時に線間の空気ギャップに発生する部分放電やコロナ放電を抑制することができる。

10

【0041】

発泡絶縁層は、熱硬化性樹脂と、特定の有機溶剤および少なくとも1種類の高沸点溶剤を含む2種類以上、好ましくは3種以上の溶剤とを混合した絶縁ワニスとを導体の周囲に塗布、焼き付けることにより得ることができる。ワニスの塗布は導体上に、直接、塗布しても、間に別の絶縁層（樹脂層）を介在させて行ってもよい。

【0042】

発泡絶縁層に使用されるワニスの有機溶剤は熱硬化性樹脂を溶解させる溶媒として作用する。この有機溶剤としては熱硬化性樹脂の反応を阻害しない限りは特に制限はなく、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）、ジメチルスルホキシド、N,N-ジメチルホルムアミド等のアミド系溶媒、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、γ-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、ジグライム、トリグライム、テトラグライム等のグライム系溶媒、トルエン、キシレン、シクロヘキサン等の炭化水素系溶媒、スルホラン等のスルホン系溶媒などが挙げられる。これらのうちでは高溶解性、高反応促進性等の点でアミド系溶媒、尿素系溶媒が好ましく、加熱による架橋反応を阻害しやすい水素原子をもたない等の点で、N-メチル-2-ピロリドン、N,N-ジメチルアセトアミド、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、テトラメチル尿素がより好ましく、N-メチル-2-ピロリドンが特に好ましい。この有機溶剤の沸点は、好ましくは160℃～250℃、より好ましくは165℃～210℃のものである。

20

30

【0043】

気泡形成用を使用可能な高沸点溶剤は沸点が好ましくは180℃～300℃、より好ましくは210℃～260℃のものである。具体的には、ジエチレングリコールジメチルエーテル、トリエチレングリコールジメチルエーテル、ジエチレングリコールジブチルエーテル、テトラエチレングリコールジメチルエーテル、テトラエチレングリコールモノメチルエーテルなどを用いることができる。気泡径のばらつきが小さい点においてトリエチレングリコールジメチルエーテルがより好ましい。これら以外にも、ジプロピレングリコールジメチルエーテル、ジエチレングリコールエチルメチルエーテル、ジプロピレングリコールモノメチルエーテル、ジエチレングリコールジエチルエーテル、ジエチレングリコールモノメチルエーテル、ジエチレングリコールブチルメチルエーテル、トリプロピレングリコールジメチルエーテル、ジエチレングリコールモノブチルエーテル、エチレングリコールモノフェニルエーテル、トリエチレングリコールモノメチルエーテル、トリエチレングリコールブチルメチルエーテル、ポリエチレングリコールジメチルエーテル、ポリエチレングリコールモノメチルエーテル、プロピレングリコールモノメチルエーテルなどが使用できる。

40

【0044】

50

高沸点溶剤は、1種であってもよいが、気泡が広い温度範囲で発生する効果が得られる点で、少なくとも2種を組み合わせて用いるのが好ましい。高沸点溶媒の少なくとも2種の好ましい組み合わせは、テトラエチレングリコールジメチルエーテルとジエチレングリコールジブチルエーテル、ジエチレングリコールジブチルエーテルとトリエチレングリコールジメチルエーテル、トリエチレングリコールモノメチルエーテルとテトラエチレングリコールジメチルエーテル、トリエチレングリコールジブチルメチルエーテルとテトラエチレングリコールジメチルエーテル、より好ましくはジエチレングリコールジブチルエーテルとトリエチレングリコールジメチルエーテル、トリエチレングリコールモノメチルエーテルとテトラエチレングリコールジメチルエーテルの組を含むものである。

【0045】

気泡形成用の高沸点溶媒は熱硬化性樹脂を溶解させる溶媒よりも高沸点であるのが好ましく、1種類でワニスに添加される場合には熱硬化性樹脂の溶媒より10℃以上高いことが好ましい。また、1種類で使用した場合には高沸点溶媒は気泡核剤と発泡剤の両方の役割を有することがわかっている。一方、2種類以上の高沸点溶媒を使用した場合には、最も高い沸点のものが発泡剤、中間の沸点を持つ気泡形成用の高沸点溶媒が気泡核剤として作用する。最も沸点の高い溶媒は特定の有機溶剤より20℃以上高いことが好ましく、30～60℃高いのがより好ましい。中間の沸点を持つ気泡形成用の高沸点溶媒は、発泡剤として作用する溶媒の沸点と特定の有機溶剤の中間に沸点があればよく、発泡剤の沸点と10℃以上の沸点差を持っていることが好ましい。中間の沸点を持つ気泡形成用の高沸点溶媒は発泡剤として作用する溶媒より熱硬化性の溶解度が高い場合、ワニス焼き付け後に均一な気泡を形成させることができる。2種類以上の高沸点溶媒を使用する場合に、使用比率は、中間の沸点を持つ高沸点溶媒に対する最も高い沸点を持つ高沸点溶媒との使用比率は、例えば、質量比で99/1～1/99であるのが好ましく、気泡の生成のしやすさの点において10/1～1/10であることがより好ましい。

【0046】

<内側絶縁層>

本発明の絶縁ワイヤは、導体と熱硬化性樹脂からなる発泡絶縁層の間に、熱硬化性樹脂からなる内側絶縁層を有してもよい。なお、この内側絶縁層は、発泡絶縁層でないことが好ましい。

内側絶縁層の厚みは、1～40μmが好ましく、1～25μmがより好ましい。

【0047】

<外側絶縁層>

本発明の絶縁ワイヤは、発泡絶縁層の外周に、直接もしくは内部絶縁層を介して、外側絶縁層が形成されていてもよい。

本発明者らは、発泡絶縁層に空気が含まれることによって形状を変形させられることを利用し、この発泡絶縁層の上層に外側絶縁層として熱可塑性樹脂の層を設けることで空気ギャップを埋めることができ、よって部分放電の発生を抑制する性能に優れることを見出した。この効果をさらに高めるために、外側絶縁層に使用される熱可塑性樹脂として、非晶性樹脂である場合には240℃以上のガラス転移温度を有する熱可塑性樹脂、または、結晶性樹脂である場合には240℃以上の融点を有する熱可塑性樹脂を用いることが好ましい。

【0048】

本発明の絶縁ワイヤは電気部品用の部材に用いられるので、耐熱性、耐化学薬品性に優れた熱可塑性樹脂を外側絶縁層の材料として使用することが好ましい。このような熱可塑性樹脂として、本発明においては、例えば、エンジニアリングプラスチックおよびスーパーエンジニアリングプラスチック等の熱可塑性樹脂が好適である。

【0049】

エンジニアリングプラスチックおよびスーパーエンジニアリングプラスチックとしては、ポリアミド(PA)(ナイロン)、ポリアセタール(POM)、ポリカーボネート(PC)、ポリフェニレンエーテル(変性ポリフェニレンエーテルを含む)、ポリブチレンテ

レフタレート（PBT）、ポリエチレンテレフタレート（PET）、シンジオタクチックポリスチレン樹脂（SPS）、ポリエチレンナフタレート（PEN）、超高分子量ポリエチレン等の汎用エンジニアリングプラスチックの他、ポリスルホン（PSF）、ポリエーテルスルホン（PES）、ポリフェニレンスルフィド（PPS）、ポリアリレート（UPリマー）、ポリアミドイミド、ポリエーテルケトン（PEEK）、ポリアリールエーテルケトン（PAEK）、ポリエーテルエーテルケトン（PEEK）、ポリイミド（PI）、熱可塑性ポリイミド樹脂（TPI）、ポリアミドイミド（PAI）、液晶ポリエステル等のスーパーエンジニアリングプラスチック、さらに、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリエチレンナフタレート（PEN）をベース樹脂とするポリマーアロイ、ABS／ポリカーボネート、ポリフェニレンエーテル／ナイロン6, 6、ポリフェニレンエーテル／ポリスチレン、ポリブチレンテレフタレート／ポリカーボネート等の前記エンジニアリングプラスチックを含むポリマーアロイが挙げられる。本発明においては、耐熱性と耐ストレスクラック性の点において、シンジオタクチックポリスチレン樹脂（SPS）、ポリフェニレンスルフィド（PPS）、ポリアリールエーテルケトン（PAEK）、ポリエーテルエーテルケトン（PEEK）、熱可塑性ポリイミド樹脂（TPI）を特に好ましく用いることができる。また、上記に示した樹脂名によって使用樹脂が限定されるものではなく、先に列挙した樹脂以外にも、それらの樹脂より性能的に優れる樹脂であれば使用可能であるのは勿論である。

10

【0050】

これらのうち、結晶性熱可塑性樹脂としては、例えば、ポリアミド（PA）、ポリアセタール（POM）、ポリブチレンテレフタレート（PBT）、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリフェニレンスルフィド（PPS）、超高分子量ポリエチレン等の汎用エンジニアリングプラスチック、ポリエーテルエーテルケトン（PEEK）、ポリエーテルケトン（PEK）、ポリアリールエーテルケトン（PAEK）（変性PEEKを含む）、熱可塑性ポリイミド樹脂（TPI）が挙げられる。また、上記結晶性樹脂を用いたポリマーアロイが挙げられる。一方、非晶性熱可塑性樹脂としては、例えば、ポリカーボネート（PC）、ポリフェニレンエーテル、ポリアリレート、シンジオタクチックポリスチレン樹脂（SPS）、ポリアミドイミド（PAI）、ポリベンゾイミダゾール（PBI）、ポリスルホン（PSF）、ポリエーテルスルホン（PES）、ポリエーテルイミド（PEI）、ポリフェニルサルホン（PPSU）、非晶性熱可塑性ポリイミド樹脂などが挙げられる。

20

30

【0051】

本発明においては、これら熱可塑性樹脂の中から、融点（mp）が240℃以上である結晶性の熱可塑性樹脂、または、ガラス転移温度（Tg）が240℃以上である非晶性樹脂の熱可塑性樹脂を選択することが好ましい。例えば、融点が240℃以上である結晶性の熱可塑性樹脂としては、熱可塑性ポリイミド樹脂（TPI）（mp. 388℃）、PPS（mp. 275℃）、PEEK（mp. 340℃）、ポリアリールエーテルケトン（PAEK）（mp. 340℃）等が挙げられる。ガラス転移温度が240℃以上である非晶性樹脂の熱可塑性樹脂としては、非晶性熱可塑性ポリイミド樹脂（Tg. 250℃）、ポリアミドイミド（PAI）（Tg. 280～290℃）、ポリアミドイミド（PAI）（Tg. 435℃）、シンジオタクチックポリスチレン樹脂（SPS）（Tg. 280℃）等が挙げられる。融点は、DSC（示差走査熱量分析）、例えば、株式会社島津製作所製DSC-60（商品名）を用いてサンプル10mg、昇温速度10℃/minのときの融解点を観察することにより測定できる。ガラス転移温度は、融点と同様にDSCを用いてサンプル10mg、昇温速度10℃/minのときのガラス転移温度を観察することにより測定できる。

40

【0052】

外側絶縁層は、融点が240℃以上である結晶性の熱可塑性樹脂、または、ガラス転移温度が240℃以上である非晶性樹脂の熱可塑性樹脂を含有していれば好ましいが、これらに代えて、またはこれらに加えて、融点が270℃以上である結晶性の熱可塑性樹脂を

50

含有していると、さらに耐熱性が向上し、そのほか機械強度も上昇する傾向があるためより巻線としての性能が上がるという効果が得られる点で、好ましい。外側絶縁層における融点が270℃以上である結晶性の熱可塑性樹脂の含有量は、外側絶縁層を形成する樹脂成分中10質量%以上が好ましく、60質量%以上が特に好ましい。なお、融点が270℃以上である結晶性の熱可塑性樹脂は前術の通りである。

【0053】

本発明では、外側絶縁層は、上記のような熱可塑性樹脂に限らず、熱硬化性樹脂を使用してもよい。

【0054】

外側絶縁層に含有される熱可塑性樹脂は、その貯蔵弾性率が25℃において1GPa以上であることがより好ましい。25℃での貯蔵弾性率が1GPa未満の場合には熱可塑性樹脂が変形する効果は高いが、摩耗特性が低下するためコイル成形する際に低負荷の条件にしなければならないなどの問題が発生する。1GPa以上の場合には熱可塑性の形状可変の能力を損なうことなく、さらに耐摩耗特性を良好なレベルで維持することが可能である。熱可塑性樹脂の貯蔵弾性率は25℃において、2GPa以上であるのがさらに好ましい。この貯蔵弾性率の上限値は特に限定されないが、高すぎても巻線として必要な可とう性が低下するという問題があるため、例えば、6GPaであるのがよい。

【0055】

本発明において、絶縁ワイヤの各絶縁層を形成する熱可塑性樹脂の貯蔵弾性率は、粘弾性アナライザー〔セイコーインスツルメンツ株式会社製：DMS200（商品名）〕を用いて測定される値である。具体的には、絶縁ワイヤの各絶縁層を形成する熱可塑性樹脂で作製された厚さ0.2mmの試験片を用いて、昇温速度2℃/minおよび周波数10Hzの条件で、25℃に安定させた状態での貯蔵弾性率の測定値を記録し、この記録値を熱可塑性樹脂の25℃貯蔵弾性率とする。

【0056】

25℃における貯蔵弾性率が1GPa以上である、外側絶縁層に含有される熱可塑性樹脂は、例えば、PEEKとしてビクトレックスジャパン株式会社製のPEEK450G（商品名、25℃の貯蔵弾性率：3840MPa、300℃の貯蔵弾性率：187MPa、融点：340℃）、変性PEEKとしてソルベイ株式会社製のアバスパイアAV-650（商品名、25℃の貯蔵弾性率：3700MPa、300℃の貯蔵弾性率：144MPa、融点：345℃）またはAV-651（商品名、25℃の貯蔵弾性率：3500MPa、300℃の貯蔵弾性率：130MPa、融点：345℃）、TPIとして三井化学株式会社のオーラムPL450C（商品名、25℃の貯蔵弾性率：1880MPa、300℃の貯蔵弾性率：18.9MPa、融点：388℃）、PPSとしてポリプラスチックス株式会社製のフォートロン0220A9（商品名、25℃の貯蔵弾性率：2800MPa、300℃の貯蔵弾性率：<10MPa、融点：278℃）またはDIC株式会社製のPPSFZ-2100（商品名、25℃の貯蔵弾性率：1600MPa、300℃の貯蔵弾性率：<10MPa、融点：275℃）、SPSとして出光興産株式会社製：ザレックス105（商品名、25℃の貯蔵弾性率：2200MPa、ガラス転移温度：280℃）、PAとしてナイロン6,6（ユニチカ株式会社製：FDK-1（商品名）、25℃の貯蔵弾性率：1200MPa、300℃の貯蔵弾性率：<10MPa、融点：265℃）、ナイロン4,6（ユニチカ株式会社製：F-5000（商品名）、25℃の貯蔵弾性率：1100MPa、融点：292℃）、ナイロン6,T（三井石油化学株式会社製：アーレンAE-420（商品名）、25℃の貯蔵弾性率：2400MPa、融点：320℃）、ナイロン9,T（クラレ株式会社製：ジェネスタN1006D（商品名）、25℃の貯蔵弾性率：1400MPa、融点：262℃）等の市販品を挙げることができる。

【0057】

本発明では、外側絶縁層の熱可塑性樹脂は、PEEKまたは変性PEEKが特に好ましい。

【0058】

外側絶縁層は、耐部分放電性物質を実質的に含有していない。ここで、耐部分放電性物質は、部分放電劣化を受けにくい絶縁材料で、電線の絶縁皮膜に分散させることで、課電寿命特性を向上させる作用を有する物質を言う。耐部分放電性物質としては、例えば、酸化物(金属もしくは非金属元素の酸化物)、窒化物、ガラス、マイカなどがあり、具体例としては耐部分放電性物質3は、シリカ、二酸化チタン、アルミナ、チタン酸バリウム、酸化亜鉛、窒化ガリウムなどの微粒子が挙げられる。また、耐部分放電性物質を「実質的に含有していない」とは耐部分放電性物質を外側絶縁層に積極的に含有させないことを意味し、完全に含有していないことに加えて、本発明の目的を損なわない程度の含有量で含有されている場合をも包含する。例えば、本発明の目的を損なわない程度の含有量として、外側絶縁層を形成する樹脂成分100質量部に対して30質量部以下の含有量が挙げられる。

10

【0059】

外側絶縁層を形成する熱可塑性樹脂に対して、特性に影響を及ぼさない範囲で、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、およびエラストマーなどの各種添加剤を配合してもよい。

【0060】

外側絶縁層の厚さに制限はないが、20～150 μm が实际的であり、好ましい。また、発泡絶縁層と外側絶縁層の厚さの比は、適切であるのがよい。すなわち、発泡絶縁層が厚いほど比誘電率が低下し、部分放電開始電圧を上昇させることが可能である。強度および可とう性などの機械特性を上昇させたい場合には外側絶縁層を厚く設計すればよい。発泡絶縁層と外側絶縁層のとの厚さの比が5/95～95/5であれば強度および放電開始電圧の特長を発現することを見出した。特に機械特性が求められる場合には5/95～60/40が好ましい。

20

【0061】

さらに本発明のように、発泡絶縁層中に気泡を形成し、かつこの発泡絶縁層の外層に気泡をもたない外側絶縁層を形成した場合にはコイル形成した際にワイヤ間に形成される隙間を該発泡絶縁層が若干潰れて変形することによって埋めることが可能である。隙間がない場合には線間で発生する部分放電およびコロナ放電をより効果的に抑制することができる。

30

本発明において「気泡をもたない」とは完全に気泡のない状態に加えて、本発明の目的を損なわない程度、すなわち、直径0.1 μm 未満の空隙の場合は気泡をもたない状態に包含される。直径0.1 μm 未満の気泡径の有無については、発泡絶縁層の断面を走査電子顕微鏡(SEM)で観察することで確認できる。

【0062】

外側絶縁層は、熱可塑性樹脂を含有する熱可塑性樹脂組成物を、発泡絶縁層の周囲に押出成形などの成形方法によって成形することにより形成することができる。

【0063】

<内部絶縁層>

熱可塑性樹脂組成物の成形は発泡絶縁層の周囲に直接または間に別の樹脂層、すなわち内部絶縁層を介在させることもできる。

40

内部絶縁層を形成する樹脂は、熱可塑性樹脂が好ましく、外側絶縁層で挙げた熱可塑性樹脂が挙げられる。内部絶縁層を形成するための熱可塑性樹脂組成物は、熱可塑性樹脂に加えて、例えば、発泡絶縁層を形成するワニスに添加される各種添加剤または前記有機溶剤などを、特性に影響を及ぼさない範囲で、含有していてもよい。

【0064】

内部絶縁層は、例えば、発泡絶縁層と外側絶縁層の層間の密着性を向上させるための密着層であることが好ましい。密着層は、発泡絶縁層と外側絶縁層との間に、上記のように、外側絶縁層を形成する非晶性熱可塑性樹脂と同様の非晶性熱可塑性樹脂で形成されるのが好ましい。この場合、密着層と外側絶縁層とは同じ非晶性熱可塑性樹脂で形成されても

50

異なる非晶性熱可塑性樹脂で形成されてもよい。内部絶縁層、好ましくは、密着層は、例えば、 $40\text{ }\mu\text{m}$ 未満（好ましくは、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $25\text{ }\mu\text{m}$ 未満）の薄い皮膜として形成される。なお、外側絶縁層の成形条件によっては内部絶縁層、好ましくは密着層と外側絶縁層とが混ざり合っ

【0065】

本発明の絶縁ワイヤは、導体の外周面に発泡絶縁層を形成し、次いで外側絶縁層を形成することで、製造できる。具体的には、導体の外周面に、直接または間接的に、すなわち所望により内側絶縁層などを介して発泡絶縁層を形成するワニス

10

を塗布し、焼き付ける過程で発泡させて発泡絶縁層を形成する工程、および、発泡絶縁層の外周面に外側絶縁層を形成する熱可塑性樹脂組成物を押出成形して外側絶縁層を形成する工程を実施することで、製造できる。

内側絶縁層や内部絶縁層は、内側絶縁層または内部絶縁層を形成するワニスを塗布し、内側絶縁層は焼付けることによって、内部絶縁層は、樹脂組成物を押出成形、溶媒蒸発などの成形方法によって、それぞれ、形成できる。

なお、厚みの薄い密着層では、発泡絶縁層上に、外側絶縁層を形成する非晶性熱可塑性樹脂と同様の非晶性熱可塑性樹脂を溶媒に溶解させた塗料を塗布し、溶媒を蒸発させることによって、形成できる。

【0066】

本発明の絶縁ワイヤは、前記のような優れた特徴を有していることから、各種電気機器（電子機器ともいう。）など、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、本発明の絶縁ワイヤはモーターやトランスなどに用いられ、高性能の電気機器を構成できる。特にHV（ハイブリッドカー）やEV（電気自動車）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、絶縁ワイヤを備えた、電気機器、特に回転電機、なかでもHVおよびEVの駆動モーターを提供できる。なお、本発明の絶縁ワイヤがモーターコイルに用いられる場合にはモーターコイル用絶縁ワイヤとも称する。

20

【実施例】

【0067】

次に、本発明を実施例に基づいてさらに詳細に説明するが、これは本発明を制限するものではない。なお、下記の例中、組成を示す%は質量%をいう。

30

【0068】

実施例および比較例の絶縁ワイヤを、図2（a）に示す絶縁ワイヤを基本にして、以下のようにして作製した。

【0069】

（実施例1）

外側絶縁層3を有しない以外は、図2（a）に示す絶縁ワイヤを下記のようにして作製した。

まず、発泡絶縁層2を形成するのに用いる発泡ポリイミドワニスを以下のように作製した。2L容セパラブルフラスコに、UIミド（樹脂成分25質量%のNMP溶液）（商品名、ユニチカ株式会社製）1000gを入れ、NMP（沸点 202°C ）75g、DMAC（沸点 165°C ）150gおよびテトラエチレングリコールジメチルエーテル（沸点 275°C ）200gを添加することにより得た。

40

また、内側絶縁層25である導体側絶縁層を形成するのに用いる内側絶縁層形成用ポリイミドワニスはUIミド（樹脂成分25質量%のNMP溶液）（商品名、ユニチカ株式会社製）を用いた。この樹脂1000gに溶剤としてNMPを用いて30質量%樹脂溶液として用いた。

各ワニスはディップコーティングにより塗布し、ダイスによって塗布量を調節した。具体的には、 $1.0\text{ mm}\phi$ の銅導体1上に調製した内側絶縁層形成用ポリイミドワニスを塗布し、これを炉温 500°C にて焼き付けて厚さ $5\text{ }\mu\text{m}$ の内側絶縁層25を形成した。次いで、内側絶縁層25上に、上記で調製した発泡ポリイミドワニスを塗布し、これを前半は

50

炉温 440℃、後半は炉温 460℃で焼き付けて厚さ 50 μm の発泡絶縁層 2 を形成した。「前半」で、炉温 440℃で焼き付けた部分は気泡密度が 20% の部分に相当し、「後半」の炉温 460℃で焼き付けた部分は気泡密度が 23% の部分に相当する。

このようにして内側絶縁層 25 および発泡絶縁層 2 が形成された絶縁ワイヤを作製した。

【0070】

(実施例 2)

実施例 1 と同様に、導体 1 上に、内側絶縁層 25、発泡絶縁層 2 を設け、さらに該発泡絶縁層 2 上に、外側絶縁層 3 を設けた。

まず、発泡絶縁層 2 を形成するのに用いる発泡ポリイミドワニスを用いるように作製した。2 L 容セパラブルフラスコに、UIミド（樹脂成分 25 質量% の NMP 溶液）（商品名、ユニチカ株式会社製）1000 g を入れ、気泡形成剤として NMP（沸点 202℃）75 g、DMAC（沸点 165℃）150 g およびテトラエチレングリコールジメチルエーテル（沸点 275℃）200 g を添加することにより得た。

また、内側絶縁層 25 である導体側絶縁層を形成するのに用いる内側絶縁層形成用ポリイミドワニスは HI-406 シリーズ（樹脂成分 32 質量% の NMP 溶液）（商品名、日立化成株式会社製）を用いた。この樹脂 1000 g に溶剤として NMP を用いて 30 質量% 樹脂溶液として用いた。

各ワニスはディップコーティングにより塗布し、ダイスによって塗布量を調節した。

実施例 1 と同じ銅導体 1 に、調製した内側絶縁層形成用ポリイミドワニスを塗布し、これを炉温 500℃にて焼き付けて厚さ 5 μm の内側絶縁層 25 を形成した。次いで、内側絶縁層 25 上に、上記で調整した発泡ポリイミドワニスを塗布し、これを前半は炉温 420℃、後半は炉温 560℃にて焼き付けて、厚さ 8 μm の発泡絶縁層 2 を形成した。「前半」で、炉温 420℃で焼き付けた部分は気泡密度が 15% の部分に相当し、「後半」の炉温 560℃で焼き付けた部分は気泡密度が 55% の部分に相当する。

【0071】

さらに、発泡絶縁層 2 の外側に、外側側絶縁層を形成するのに用いる外側絶縁層形成用ポリイミドワニスは UIミド（樹脂成分 25 質量% の NMP 溶液）（商品名、ユニチカ株式会社製）を用いた。この樹脂 1000 g に溶剤として NMP を用いて 30 質量% 樹脂溶液として用いた。

これを発泡絶縁層 2 上にディップコーティングにより塗布し、炉温 500℃にて焼き付けて厚さ 25 μm の外側絶縁層 3 を形成した。

このようにして、内側絶縁層 25、発泡絶縁層 2 および外側絶縁層 3 を有する絶縁ワイヤを作製した。

【0072】

(比較例 1)

導体 1 上に、内側絶縁層 25 と発泡絶縁層でない通常の熱硬化性樹脂からなる絶縁層を設けた。

まず、熱硬化性樹脂からなる絶縁層を形成するのに用いるポリイミドワニスを以下のように作製した。2 L 容セパラブルフラスコに、HI-406 シリーズ（樹脂成分 32 質量% の NMP 溶液、NMP の沸点 202℃）（商品名、日立化成株式会社製）1000 g を入れ、この溶液に溶剤として NMP を用いて 30 質量% 樹脂溶液として用いた。

また、内側絶縁層 25 である導体側絶縁層を形成するのに用いる内側絶縁層形成用ポリイミドは UIミド（樹脂成分 25 質量% の NMP 溶液）（商品名、ユニチカ株式会社製）を用いた。この樹脂 1000 g に溶剤として NMP を用いて 30 質量% 樹脂溶液として用いた。

各ワニスはディップコーティングにより塗布し、ダイスによって塗布量を調節した。具体的には、実施例 1 と同じ銅導体 1 上に調製した内側絶縁層形成用ポリイミドワニスを塗布し、これを炉温 500℃にて焼き付けて厚さ 3 μm の内側絶縁層 25 を形成した。次いで、内側絶縁層 25 上に、上記で調製したポリイミドワニスを塗布し、これ

を炉温 500℃で焼き付けて厚さ 30 μm の熱硬化性樹脂からなる絶縁層を形成した。

このようにして、内側絶縁層 25、発泡絶縁層でない通常の絶縁層を有する絶縁ワイヤを作製した。

【0073】

(比較例 2)

実施例 1 と同様に、導体 1 上に、内側絶縁層 25、発泡絶縁層 2 を設けた。

まず、発泡絶縁層 2 を形成するのに用いる発泡ポリイミドワニスを用いるように作製した。2 L 容セパラブルフラスコに、Uイミド（樹脂成分 25 質量%の NMP 溶液）（商品名、ユニチカ株式会社製）1000 g を入れ、NMP（沸点 202℃）75 g、DMAC（沸点 165℃）150 g およびテトラエチレングリコールジメチルエーテル（沸点 275℃）200 g を添加することにより得た。

10

また、内側絶縁層 25 である導体側絶縁層を形成するのに用いる内側絶縁層形成用ポリイミドワニスは Uイミド（樹脂成分 25 質量%の NMP 溶液）（商品名、ユニチカ株式会社製）を用いた。この樹脂 1000 g に溶剤として NMP を用いて 30 質量%樹脂溶液として用いた。

各ワニスはディップコーティングにより塗布し、ダイスによって塗布量を調節した。具体的には、実施例 1 と同じ銅導体 1 上に調製した内側絶縁層形成用ポリイミドワニスを塗布し、これを炉温 500℃にて焼き付けて厚さ 3 μm の内側絶縁層 25 を形成した。次いで、内側絶縁層 25 上に、上記で調製した発泡ポリイミドワニスを塗布し、これを炉温 600℃で焼き付けて厚さ 50 μm で、気泡密度 70% の発泡絶縁層 2 を形成した。

20

このようにして内側絶縁層 25 および発泡絶縁層 2 が形成された絶縁ワイヤを作製した。

【0074】

(比較例 3)

実施例 1 と同様に、導体 1 上に、内側絶縁層 25、発泡絶縁層 2 を設けた。

まず、発泡絶縁層 2 を形成するのに用いる発泡ポリアミドイミドワニスを以下のように作製した。2 L 容セパラブルフラスコに、HI-406 シリーズ〔樹脂成分 32 質量%の N-メチルピロリドン（NMP）溶液、NMP の沸点 202℃〕（商品名、日立化成株式会社製）1000 g を入れ、この溶液に気泡形成剤としてトリエチレングリコールジメチルエーテル（沸点 216℃）100 g とジエチレングリコールジブチルエーテル（沸点 256℃）150 g を添加することにより得た。

30

また、内側絶縁層 25 である導体側絶縁層を形成するのに用いる内側絶縁層形成用ポリアミドイミドワニスは HI-406 シリーズ（樹脂成分 32 質量%の NMP 溶液）（商品名、日立化成株式会社製）を用いた。この樹脂 1000 g に溶剤として NMP を用いて 30 質量%樹脂溶液として用いた。

各ワニスはディップコーティングにより塗布し、ダイスによって塗布量を調節した。

実施例 1 と同じ銅導体 1 に、調製した内側絶縁層形成用ポリアミドイミドワニスを塗布し、これを炉温 500℃にて焼き付けて厚さ 5 μm の内側絶縁層 25 を形成した。次いで、内側絶縁層 25 上に、上記で調製した発泡ポリイミドワニスを塗布し、これを炉温 580℃で焼き付けて厚さ 25 μm で、気泡密度 65% の発泡絶縁層 2 を形成した。

40

このようにして内側絶縁層 25 および発泡絶縁層 2 が形成された絶縁ワイヤを作製した。

【0075】

得られた各絶縁ワイヤの各絶縁層の厚み、気泡密度、平均気泡径を測定し、さらに部分放電開始電圧、可とう性、一方向摩耗性、絶縁破壊電圧の評価を、以下のようにして行った。

【0076】

「気泡密度の算出」

前述のようにして、絶縁ワイヤの絶縁皮膜を液体窒素中で冷却しながら厚み方向にへき開し、厚み方向での断面を走査電子顕微鏡（SEM）により 300～3000 倍で撮影し

50

た。皮膜全体の厚さが観察画面に全て収まるように倍率を調整した。撮影した断面のSEM写真を、面積率が算出できる画像解析ソフト「WinROOF ver.7.1」（三谷商事社製）に取り込んだ。得られた計測範囲を画像解析し、面積率（%）を算出し、気泡密度（%）とした。

なお、下記表1中の「上」、「中」、「下」は、SEM写真を視覚的に判断した大まかな気泡密度の区分であり、表の個々のセルに記載の気泡密度は、観測した視野における実際の観測範囲における気泡密度である。

【0077】

[各絶縁層の厚みおよび平均気泡径の算出]

実施例及び比較例における各層の厚さ、発泡絶縁層を含む各絶縁層の厚さおよび発泡絶縁層中の平均気泡径は、絶縁ワイヤの厚み方向の断面の走査電子顕微鏡（SEM）像で測定および算出した。発泡絶縁層中の平均気泡径は上記走査電子顕微鏡（SEM）像において、50個の気泡を無作為に選び、画像寸法計測ソフト（三谷商事社製WinROOF）を用い、径測定モードにて平均の気泡径を算出し、得られた値を気泡径とした。

【0078】

[部分放電開始電圧]

上記で製造した各絶縁ワイヤを絶縁ワイヤ毎に、それぞれ2本をツイスト状に撚り合わせた試験片を作製し、2本の導体間に正弦波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）を測定した。測定温度は常温とした。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。部分放電開始電圧は、850V以上であれば、部分放電が発生しにくく絶縁ワイヤの部分劣化を防止できる。このため、得られた部分放電開始電圧を下記のランクで評価した。

【0079】

評価ランク

- A：部分放電開始電圧が900V以上
- B：部分放電開始電圧が850V以上900V未満
- C：部分放電開始電圧が500V以上850V未満
- D：部分放電開始電圧が500V未満

【0080】

[可とう性]

可とう性の試験はJIS C 3216-3に従って実施した。直線状の絶縁ワイヤを、個別規格に規定する直径をもつ表面の滑らかな丸棒に沿って線と線とが接触するように10回巻いた。丸棒の回転速度は、毎秒1～3回の割合とし、線と丸棒とが接触するように張力をかけた。作製した試験片について、目視および15倍の拡大鏡にて亀裂の有無を調べ、可とう性を、以下のランクで評価した。

【0081】

評価ランク

- A：目視および15倍の拡大鏡で観察して全く亀裂がみられない
- B：目視にて亀裂は観測されず15倍の拡大鏡では僅かな亀裂がみられる
- C：JIS C 3216-5規定のピンホール試験で微小な欠陥が観測される
- D：目視で亀裂が観測される

【0082】

[一方向摩耗性]

一方向摩耗試験はJIS C 3216に準じて実施した。試験装置はNEMAスクレープテスター（株式会社東洋精機製作所社製）を用いた。この試験は直線状の試験片について連続的に増加する力が針に加わるようにし、その針で試験片の表面を擦っていくものである。針と導体の間で導通が生じたときの力を破壊力とした。得られた結果を、下記ランクで評価した。

【0083】

評価ランク

- A：破壊力が2500g以上
- B：破壊力が1500g以上2500g未満
- C：破壊力が1000g以上1500g未満
- D：破壊力が1000g未満

【0084】

[絶縁破壊電圧]

以下に示す導電性銅箔テープ法で評価した。

上記で作製した絶縁ワイヤを、適切な長さ（約20cmの長さ）に切り出し、中央付近に20mm幅の導電性銅箔テープを巻き付け、銅箔と導体間に正弦波50Hzの交流電圧を印加して、連続的に昇圧させながら絶縁破壊した。電圧（実効値）を測定した。なお、測定温度は25℃で行った。この結果を下記ランクで評価した。

10

【0085】

評価ランク

- A：絶縁破壊電圧が10kV以上
- B：絶縁破壊電圧が8kV以上10kV未満
- C：絶縁破壊電圧が5kV以上8kV未満
- D：絶縁破壊電圧が5kV未満

【0086】

なお、上記の各評価項目における評価ランクは、いずれもCが、最低限達成すべきレベルであり、B以上の評価ランクであることが好ましい。

20

【0087】

[総合評価]

総合評価は、4項目における「A」の個数により判定した。「A」が3個以上のものは「A」、2個のものは「B」、1個のものは「D」とした。また、「C」が2個の場合も総合評価は「D」とした。すなわち、総合評価は、少なくとも「B」以上が要求される。

【0088】

得られた結果をまとめて下記表1に示す。

また、実施例1、2および比較例1～3の絶縁ワイヤの厚さ方向での模式的な断面図を図6に示した。

30

【0089】

【表 1】

			実施例 1	実施例 2	比較例 1	比較例 2	比較例 3		
内側絶縁層 (導体側絶縁層)	樹脂		PI	PAI	PAI	PI	PAI		
	厚さ(μm)		5	5	3	3	5		
発泡絶縁層 a	樹脂		発泡 PI	発泡 PI	PI	発泡 PI	発泡 PAI		
	厚さ(μm)		50	8	30	50	25		
	各測定範囲での 気泡密度(%)	上	23	55	—	70	65		
			23			70			
			23			70			
		中	23	—		70	65		
			23			70			
			23			70			
			下(導体側)			20	15	70	65
						20		70	
						20		70	
	気泡密度差(%)		3	40	—	0	0		
	平均気泡径(μm)		2	3	—	3	3		
	発泡絶縁層 b	樹脂		—	—	—	—		
厚さ(μm)									
各測定範囲での 気泡密度(%)		上							
		中							
		下(導体側)							
気泡密度差(%)									
平均気泡径(μm)									
外側絶縁層	樹脂		—	PI	—	—	—		
	厚さ(μm)		—	25	—	—	—		
合計厚さ(μm)			55	38	33	53	30		
部分放電開始電圧			A	A	C	A	A		
可とう性			A	A	B	B	B		
一方向磨耗性			A	A	A	C	C		
絶縁破壊電圧			A	B	C	C	C		
総合評価			A	A	D	D	D		

【0090】

上記表 1 から明らかなように、実施例 1 及び 2 の絶縁ワイヤは、いずれも部分放電開始電圧が 900 V 以上（評価ランク A）であり、可とう性も、評価ランクが A であり、しかも一方向摩耗性に優れ、絶縁破壊電圧も 5 kV 以上と高い。

この結果、当初、両立が困難と予想された、高い部分放電開始電圧と優れた可とう性を両立させることができた。

これに対し、発泡絶縁層を有さない比較例 1 では、部分放電開始電圧が低かった。また、発泡絶縁層の厚さ方向で発泡密度に差がなく、均一な発泡密度である比較例 2、3 では、部分放電開始電圧は高いものの、可とう性は、本発明の絶縁ワイヤ（実施例 1 及び 2）より、ランクが低かった。

これに加えて、発泡絶縁層を有さない比較例 1 では、絶縁破壊電圧が低く、比較例 2、3 では絶縁破壊電圧および一方向摩擦性での破壊力がともに低かった。

すなわち、比較例 1～3 はいずれも、ランク A が 1 つであって、しかもランク C が 2 つであり、総合的に劣っていた。

【0091】

このように、本発明の絶縁ワイヤは、自動車をはじめ、各種電気・電子機器等、耐電圧性や耐熱性を必要とする分野に利用可能である。特に、本発明の絶縁ワイヤはモーターや

トランスなどに用い高性能の電気・電子機器を提供できる。なかでも、HV（ハイブリッドカー）やEV（電気自動車）の駆動モーター用の巻線などの回転電機に使用することが好適であることがわかる。

【0092】

本発明をその実施態様とともに説明したが、我々は特に指定しない限り我々の発明を説明のどの細部においても限定しようとするものではなく、添付の請求の範囲に示した発明の精神と範囲に反することなく幅広く解釈されるべきであるとする。

【0093】

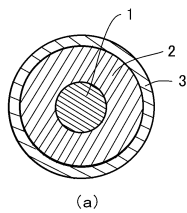
本願は、2014年11月7日に日本国で特許出願された特願2014-227585に基づく優先権を主張するものであり、これはここに参照してその内容を本明細書の記載の一部として取り込む。

【符号の説明】

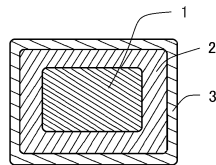
【0094】

- 1 導体
- 2 発泡絶縁層
- 3 外側絶縁層
- 25 内側絶縁層
- 26 内部絶縁層
- 35 内部絶縁層

【図1】

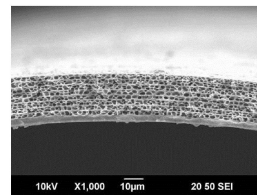


(a)

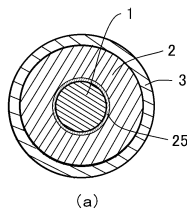


(b)

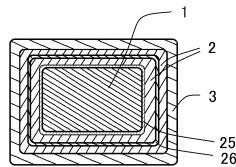
【図4】



【図2】

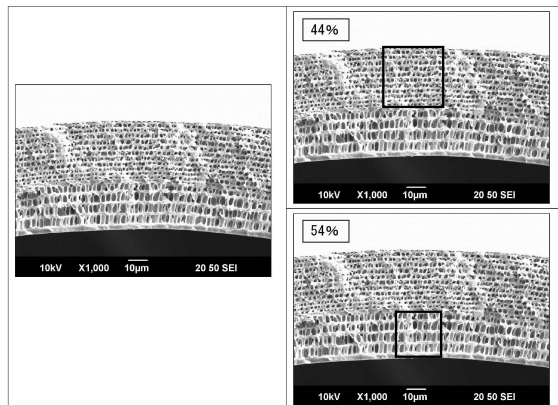


(a)

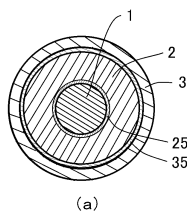


(b)

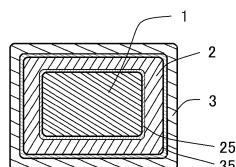
【図5】



【図3】

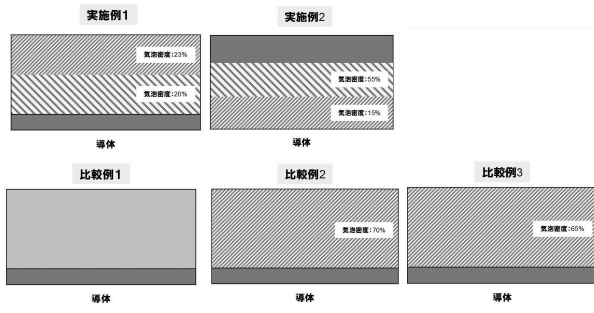


(a)



(b)

【図 6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 F 5/06 Q

審査官 北嶋 賢二

(56)参考文献 国際公開第2014/103665 (WO, A1)
特開2007-35417 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H 0 1 B 7/02
H 0 1 F 5/06
H 0 2 K 3/30
H 0 2 K 3/40