



MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラ  
シア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッ  
パ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,  
FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK,  
MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM,  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

発明の名称：耐インバータサージ絶縁ワイヤ及びその製造方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、耐インバータサージ絶縁ワイヤ及びその製造方法に関するものである。

### 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。インバータは数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。インバータサージはその伝搬系内でインピーダンスの不連続点、例えば接続する配線の始端、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現象である。特に、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俊度が高く、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。

[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。しかも前述したように、インバータ関連機器ではそのインバータ出力電圧の2倍近い電圧がかかることから、それら電気機器コイルを構成する材料の一つであるエナメル線のインバータサージ劣化を最小限にすることが要求されるようになってきている。

[0004] ところで、部分放電劣化は、一般に、電気絶縁材料がその部分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或いは熱分解劣化、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である。したがって、実際の部分放電で劣化した電気絶縁材料は厚さが減少することがある。

[0005] 絶縁ワイヤのインバータサージ劣化も一般の部分放電劣化と同様なメカニ

ズムで進行するものと考えられている。すなわち、エナメル線のインバータサージ劣化は、インバータで発生した波高値の高いサージ電圧により絶縁ワイヤに部分放電が起こり、その部分放電により絶縁ワイヤの塗膜が劣化を引き起こす現象、つまり高周波部分放電劣化である。

[0006] 最近の電気機器では、インバータサージ劣化を防止するため、数百Vのサージ電圧に耐えうるような絶縁ワイヤが求められるようになってきた。すなわち、絶縁ワイヤは部分放電開始電圧が500V以上であることが必要ということになる。ここで、部分放電開始電圧とは、市販の部分放電試験器と呼ばれる装置で測定する値である。測定温度、用いる交流電圧の周波数、測定感度等は必要に応じて変更するものであるが、上記の値は、25℃、50Hz、10pCにて測定して、部分放電が発生した電圧である。

部分放電開始電圧を測定する際は、マグネットワイヤとして用いられる場合における最も過酷な状況を想定し、密着する二本の絶縁ワイヤの間について観測できるような試料形状を作製する方法が用いられる。例えば、断面円形の絶縁ワイヤについては、二本の絶縁ワイヤを螺旋状にねじることで線接触させ、二本の間に電圧をかける。また、断面形状が方形の絶縁ワイヤについては、二本の絶縁ワイヤの長辺である面同士を面接触させ、二本の間に電圧をかけるという方法である。

[0007] 上述の部分放電による、絶縁ワイヤのエナメル層の劣化を防ぐため、部分放電を発生させない、すなわち、部分放電開始電圧が高い絶縁ワイヤを得るには、エナメル層に比誘電率が低い樹脂を用いる方法、エナメル層の厚さを増す方法が考えられる。しかし、通常使用される樹脂ワニスの樹脂のほとんどは比誘電率が3~5の間のものであり、比誘電率が特別低いものが無い。また、エナメル層に求められる他の特性（耐熱性、耐溶剤性、可撓性等）を考慮した場合、必ずしも比誘電率が低い樹脂を選択できないのが現実である。したがって、高い部分放電開始電圧を得るためには、エナメル層の厚さを厚くすることが不可欠である。これら比誘電率3~5の樹脂をエナメル層に用いた場合、部分放電開始電圧を目標の500V以上にするには、経験上エ

ナメル層の厚さを60 $\mu\text{m}$ 以上にする必要がある。

[0008] しかし、エナメル層を厚くするためには、製造工程において焼き付け炉を通す回数が多くなり、導体である銅表面の酸化銅からなる被膜の厚さが成長し、それに起因して導体とエナメル層との接着力が低下する。例えば、厚さ60 $\mu\text{m}$ 以上のエナメル層を得る場合、焼き付け炉を通す回数が12回を超える。12回を超えて焼き付け炉を通すと、導体とエナメル層との接着力が極端に低下することがわかってきた。

一方、焼き付け炉を通す回数を増やさないために1回の焼き付けで塗布できる厚さを厚くする方法もあるが、この方法では、ワニスの溶媒が蒸発しきれずにエナメル層の中に気泡として残るという欠点があった。

[0009] ところで、従来、エナメル線の外側に被覆樹脂を設けて特性（部分放電開始電圧以外の特性）を高める試みがなされてきた。エナメル層に押出被覆層を設けた従来技術としては、例えば、特許文献1、2等が挙げられる。このような被覆樹脂を設けた絶縁ワイヤにおいては、エナメル層と被覆樹脂との密着性も要求される。しかし、特許文献1及び2の技術は、部分放電開始電圧及び導体とエナメル層との密着性を両立させるという観点からすると、エナメル層や押出被覆の厚さ等の点から必ずしも満足できるものではなかった。

一方、部分放電開始電圧及び導体とエナメル層との密着性の観点から取り組んだ技術として特許文献3が挙げられる。

[0010] また、近年の電気機器では各種性能、例えば耐熱性、機械的特性、化学的特性、電気的特性、信頼性等を従来のものより一段と高度に上げることが要求されるようになってきている。このような中で宇宙用電気機器、航空機用電気機器、原子力用電気機器、エネルギー用電気機器、自動車用電気機器用のマグネットワイヤとして用いられるエナメル線などの絶縁ワイヤには、優れた耐摩耗性、耐熱老化特性、耐溶剤性が要求されるようになってきている。例えば、近年の電気機器において、優れた耐熱老化特性をより長期間にわたって維持できることが要求されることがある。

[0011] 一方、近年、モーターやトランスに代表される電気機器はこれらの機器の小型化及び高性能化が進展し、絶縁電線を非常に狭い部分へ押しこんで使用する様な使い方が多く見られるようになった。具体的には、ステータスロット中に何本の電線を入れられるかにより、そのモーターなどの回転機の性能が決定するといっても過言ではない。その結果、ステータスロット断面積に対する導体の断面積の比率（占積率）が非常に高くなってきている。

例えば、ステータスロットの内部に、丸断面の電線を細密充填した場合、デッドスペースとなる空隙と絶縁皮膜の断面積が問題となる。このため、ユーザーでは、丸断面の電線が変形するほど、ステータスロットへ電線を押し込み、少しでも占積率の向上を狙っている。しかし、絶縁皮膜の断面積を少なくすることは、その電氣的な性能（絶縁破壊など）を犠牲にするため、望ましいとはいえない。

以上の理由から、占積率を向上させる手段として、ごく最近では導体の断面形状が四角型（正方形や長方形）に類似した平角線を使用することが試みられている。平角線の使用は、占積率の向上には劇的な効果を示すが、平角導体上に絶縁皮膜を均一に塗布することが難しく、特に断面積の小さい絶縁電線には絶縁皮膜の厚さの制御が難しいことから、あまり普及していない。

[0012] モーターやトランスのコイル巻を行う場合に必要な絶縁皮膜の特性としては、コイル加工前後での電気絶縁性維持の特性（以下、加工前後の加工前後での電気絶縁性維持特性という。）がある。コイル加工工程によって、電線皮膜に損傷が生じるときは電気絶縁性能が低下し、製品の信頼性を失う結果となる。

[0013] この加工前後での電気絶縁性維持の特性を電線皮膜に付与する方法は各種の方法が考えられている。例えば、皮膜に潤滑性を付与して摩擦係数を下げコイル加工時の外傷を少なくする方法、皮膜と電気導体間の密着性を向上させてその皮膜が導体から剥離することを防止して電気絶縁性能を保持させる方法などである。

前者の潤滑性能を付与させる方法として、電線の表面にワックスなどの潤

滑剤を塗布する方法、絶縁皮膜中に潤滑剤を添加して電線の製造時にその潤滑剤を電線表面にブリードアウトさせて潤滑性能を付与させる方法などが旧来採られており、その実施例は多い。しかしながら、皮膜に潤滑性能を付与させる方法は、電線皮膜自体の強度を向上させる訳ではないので、外傷要因に対しては効果があるように見えるが、実際にはコイル加工時の効果に限界があった。

[0014] 皮膜に潤滑性を付与するその他の従来から行われている手段である、前述の絶縁皮膜の表面の摩擦係数を小さくする方法として、特許文献4などに記載の、絶縁電線表面にワックス、油、界面活性剤、固体潤滑剤などを塗布する方法が挙げられる。また、特許文献5などに記載の、水に乳化可能な蠟と水に乳化可能で加熱により固化する樹脂からなる減摩剤を塗布焼き付けして使用する方法が挙げられる。さらには特許文献6などに記載の、絶縁塗料自体にポリエチレン微粉末を添加し潤滑化を図る方法が挙げられる。以上の方法は、絶縁電線の表面潤滑性を向上させ、結果として電線の表面すべりによって外傷から絶縁層を保護しようと考えられたものである。

しかしながら、これらの微粉末を添加する方法は、微粉末の添加手法が複雑であり、分散が困難であるため、多くは溶剤に分散させたこれらの微粉末を絶縁塗料中に添加する方法が採られている。

これらの自己潤滑成分は、その潤滑成分によって自己潤滑性能（摩擦係数）の向上は見られるが、加工前後での電気絶縁性維持特性の低下に対しては、往復摩耗などの特性向上は見られず、電気絶縁性維持ができない。また、ポリエチレンやポリテトラフルオロエチレンなどの多くの自己潤滑成分は、絶縁塗料との比重の差によって、絶縁塗料中で分離してしまい、これらの塗料を使用する方法は実施上の問題があった。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0015] 特許文献1：特公平7-031944号公報

特許文献2：特開昭63-195913号公報

特許文献3：特開2005-203334号公報

特許文献4：特開昭61-269808号公報

特許文献5：特開昭62-200605号公報

特許文献6：特開昭63-29412号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0016] 本発明は、導体とこれを被覆する樹脂層との接着強度、エナメル層と押出被覆樹脂層のような皮膜層間での接着強度、耐摩耗性、耐溶剤性及び加工前後での電気絶縁性維持特性のいずれにも優れ、部分放電開始電圧も高く、さらに長期間にわたって優れた耐熱老化特性を維持し得る耐インバータサージ絶縁ワイヤ及びその製造方法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

- [0017] 本発明者らは、上記の従来技術が有する課題を解決するため鋭意検討した結果、エナメル層の外側に押出被覆樹脂層を設け、かつ該エナメル層と押出被覆層の間に接着層を設けた絶縁ワイヤにおいて、押出被覆樹脂層を構成する樹脂の特性、接着層の厚さ、さらにはエナメル層及び押出被覆樹脂層それぞれの厚さ及び合計の厚さが課題解決に重要であることを見出した。本発明は、この知見に基づきなされたものである。

- [0018] すなわち、上記課題は以下の手段により解決される。

(1) 矩形状の断面を有する導体の外周に、少なくとも1層のエナメル焼付層と、その外側に少なくとも1層の押出被覆樹脂層とを有し、該エナメル焼付層と該押出被覆樹脂層との間に厚さ2～20 $\mu$ mの接着層を有し、該接着層上の押出被覆層がいずれも同一の樹脂からなり、耐インバータサージ絶縁ワイヤの断面における前記エナメル焼付層と前記押出被覆樹脂層の断面形状が矩形状であって、断面図における前記導体を取り囲む該エナメル焼付層と該押出被覆樹脂層が形成する前記矩形の断面形状において、該導体に対して上下または左右で対向する2対の2辺のうちの少なくとも1対の2辺がともに、該エナメル焼付層と該押出被覆樹脂層との合計厚さが80 $\mu$ m以上、前

記エナメル焼付層の厚さが60 $\mu$ m以下、前記押出被覆樹脂層の厚さが200 $\mu$ m以下であり、該押出被覆樹脂層の樹脂が融点300 $^{\circ}$ C以上370 $^{\circ}$ C以下であることを特徴とする耐インバータサージ絶縁ワイヤ。

(2) 前記押出被覆層が、1層であることを特徴とする(1)に記載の耐インバータサージ絶縁ワイヤ。

(3) 前記耐インバータサージ絶縁ワイヤが、300 $^{\circ}$ C168時間熱処理後の絶縁破壊電圧が熱処理前の絶縁破壊電圧と比較して90%以上であることを特徴とする(1)または(2)に記載の耐インバータサージ絶縁ワイヤ。

(4) 前記耐インバータサージ絶縁ワイヤの皮膜層間の接着強度が、100g以上400g未満であることを特徴とする(1)～(3)のいずれか1項に記載の耐インバータサージ絶縁ワイヤ。

(5) 前記押出被覆樹脂層が、ポリエーテルエーテルケトン、変性ポリエーテルエーテルケトン、熱可塑性ポリイミド及び芳香族ポリアミドからなる群より選択される少なくとも1種の熱可塑性樹脂の層であることを特徴とする(1)～(4)のいずれか1項に記載の耐インバータサージ絶縁ワイヤ。

(6) 前記接着層が、ポリエーテルイミド、ポリフェニルサルホン及びポリエーテルサルホンからなる群より選択される少なくとも1種の熱可塑性樹脂の層であることを特徴とする(1)～(5)のいずれか1項に記載の耐インバータサージ絶縁ワイヤ。

(7) 前記耐インバータサージ絶縁ワイヤの部分放電開始電圧のピーク電圧が、1200V<sub>p</sub>以上3200V<sub>p</sub>以下であることを特徴とする(1)～(6)のいずれか1項に記載の耐インバータサージ絶縁ワイヤ。

(8) 前記エナメル焼付層の外周に、ワニス化された樹脂を焼き付けて前記接着層を形成し、その後、該接着層に用いる樹脂のガラス転移温度よりも高い温度で熔融状態となる、押出被覆樹脂層を形成する熱可塑性樹脂を該接着層に押出して接触させ、該エナメル焼付層に該接着層を介して該押出被覆樹脂を熱融着させて該押出被覆樹脂層を形成することを特徴とする(1)～(7)のいずれか1項に記載の耐インバータサージ絶縁ワイヤの製造方法。

## 発明の効果

[0019] 本発明の耐インバータサージ絶縁ワイヤは、導体とこれを被覆する樹脂層との接着強度、エナメル層と押出被覆樹脂層のような皮膜層間での接着強度、耐摩耗性、耐溶剤性及び加工前後での電気絶縁性維持特性のいずれにも優れ、部分放電開始電圧も高く、さらに長期間にわたって優れた耐熱老化特性を維持することができる。

## 発明を実施するための形態

[0020] 本発明は、導体の外周に、少なくとも1層のエナメル焼付層と、その外側に少なくとも1層の押出被覆樹脂層を有し、かつ該エナメル層と該押出被覆樹脂層の間に接着層を有する。接着層の厚みは2～20 $\mu\text{m}$ であり、エナメル焼付層と押出被覆樹脂層の合計厚さが80 $\mu\text{m}$ 以上、エナメル焼付層の厚さが60 $\mu\text{m}$ 以下、押出被覆樹脂層の厚さが200 $\mu\text{m}$ 以下であり、かつ押出被覆樹脂層の樹脂が融点300 $^{\circ}\text{C}$ 以上370 $^{\circ}\text{C}$ 以下である耐インバータサージ絶縁ワイヤである。このような構成にすることで、本発明の耐インバータサージ絶縁ワイヤは、導体とこれを被覆する樹脂層との接着強度、エナメル層と押出被覆樹脂層のような皮膜層間での接着強度、耐摩耗性、耐溶剤性及び加工前後での電気絶縁性維持特性のいずれにも優れ、部分放電開始電圧も高く、さらに長期間にわたって優れた耐熱老化特性を維持することができる。

したがって、本発明の耐インバータサージ絶縁ワイヤ（以下、単に「絶縁ワイヤ」という）は、耐熱巻線用として好適であり、例えば、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、変圧器等の電気機器コイルや宇宙用電気機器、航空機用電気機器、原子力用電気機器、エネルギー用電気機器、自動車用電気機器用のマグネットワイヤ等に用いることができる。

[0021] 本発明では、導体が矩形状の断面を有し、エナメル焼付層と押出被覆樹脂層の合計厚さが、該断面において対向する一方の2辺及び他方の2辺に設けられた押出被覆樹脂層及びエナメル層焼付層の合計厚さの少なくとも一方になるものである。すなわち、矩形状の断面を有する導体の外周に、少なくと

も1層のエナメル焼付層と、その外側に少なくとも1層の押出被覆樹脂層を有し、該断面において対向する一方の2辺及び他方の2辺に設けられた押出被覆樹脂層及びエナメル層焼付層の合計厚さの少なくとも一方の合計厚さが $80\mu\text{m}$ 以上、エナメル層焼付層の厚さが $60\mu\text{m}$ 以下、押出被覆樹脂層の厚さが $200\mu\text{m}$ 以下であり、かつ押出被覆樹脂層の樹脂が融点 $300^{\circ}\text{C}$ 以上 $370^{\circ}\text{C}$ 以下である、矩形状の断面を有する耐インバータサージ絶縁ワイヤである。

[0022] 放電が起きる方の2辺に形成された押出被覆樹脂層及びエナメル層焼付層の合計厚さが所定の厚さであれば、他方の2辺に形成された合計厚さがそれより薄くても部分放電開始電圧を維持することができ、モーターのスロット内の全断面積に対する導体のトータル断面積の割合（占積率）を上げることができる。したがって、一方の2辺及び他方の2辺に設けられた押出被覆樹脂層及びエナメル層焼付層の合計厚さは、放電が起きる方の2辺、すなわち少なくとも一方が $80\mu\text{m}$ 以上であればよく、好ましくは一方の2辺及び他方の2辺共に $80\mu\text{m}$ 以上である。

この合計厚さは、2辺共同一であっても異なってもよく、ステータースロットに対する占有率の観点から以下のように異なっているのが好ましい。すなわち、モーター等のステータースロット内でおきる部分放電はスロットと電線の間で起きる場合、及び電線と電線の間で起きる場合の2種類ある。そこで、絶縁ワイヤにおいて、フラット面に設けられた押出被覆樹脂層の厚さが、エッジ面に設けられた押出被覆樹脂層の厚さと異なる絶縁ワイヤを用いることによって、部分放電開始電圧の値を維持しつつ、モーターのスロット内の全断面積に対する導体のトータル断面積の割合（占積率）を向上させることができる。

ここで、フラット面とは平角線の断面が矩形の対の対向する2辺のうち長辺の対をいい、エッジ面とは対向する2辺のうち短辺の対をいう。

[0023] スロット内に1列にエッジ面とフラット面での厚さが異なる電線を並べるとき、スロットと電線の間で放電が起きる場合はスロットに対して厚膜面が

接するように並べ、隣あう電線間の膜厚は薄い方で並べる。膜厚が薄い分、より多くの本数を挿入することができ、占積率は向上する。またこの時、部分放電開始電圧の値は維持できる。同様に電線と電線の間で放電が起きやすい場合は膜厚の厚い面を電線と接する面にして、スロットに面する方は薄くすると必要以上にスロットの大きさを大きくしないため占積率は向上する。またこの時、部分放電開始電圧の値は維持できる。

押出被覆樹脂層の厚さが、該断面の一对の対向する2辺と他の一对の対向する2辺とで異なる場合は、一对の対向する2辺の厚さを1とした時もう1対の対向する2辺の厚さは1.01～5の範囲にするのが好ましく、さらに好ましくは1.01～3の範囲である。

[0024] (導体)

本発明の絶縁ワイヤにおける導体としては、従来、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るが、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。

また、導体はその横断面が所望の形状のものを使用できるが、ステータースロットに対する占有率の点で、円形以外の形状を有するものが好ましく、特に平角形状のものが好ましい。更には、角部からの部分放電を抑制するという点において、4隅に面取り(半径 $r$ )を設けた形状であることが望ましい。

[0025] (エナメル焼付層)

本発明の絶縁ワイヤにおけるエナメル焼付層(以下、単に「エナメル層」ともいう)は、エナメル樹脂で少なくとも1層に形成され、1層であっても複数層であってもよい。

なお、本発明において、1層とは、層を構成する樹脂および含有する添加

物が全く同じ層を積層した場合は同一層とするものであり、同一樹脂で構成されていても添加物の種類や配合量が異なるなど、層を構成する組成物が異なる場合を層の数としてカウントする。

これは、エナメル層以外の他の層においても同様である。

[0026] エナメル層を形成するエナメル樹脂としては、従来用いられているものを使用することができ、例えば、ポリイミド、ポリアミドイミド、ポリエステルイミド、ポリエーテルイミド、ポリイミドヒダントイン変性ポリエステル、ポリアミド、ホルマール、ポリウレタン、ポリエステル、ポリビニルホルマール、エポキシ、ポリヒダントインが挙げられる。エナメル樹脂は、耐熱性に優れる、ポリイミド、ポリアミドイミド、ポリエステルイミド、ポリエーテルイミド、ポリイミドヒダントイン変性ポリエステルなどのポリイミド系樹脂が好ましく、なかでもポリアミドイミド、ポリイミドが好ましく、ポリアミドイミドが特に好ましい。エナメル樹脂は、これらを1種独で使用してもよく、また2種以上を混合して使用してもよい。

本発明では、エナメル樹脂層が複数層で積層される場合は、これらの層間で同一の樹脂を使用するのが好ましく、各層とも1種の樹脂からなるのが好ましい。本発明では、エナメル層が1層の場合が特に好ましい。

[0027] エナメル層の厚さは、高い部分放電開始電圧を実現できるほどに厚肉化しても、エナメル層を形成するときの焼付炉を通す回数を減らし、導体とエナメル層との接着力が極端に低下することを防止できる点で、60  $\mu\text{m}$ 以下であり、50  $\mu\text{m}$ 以下であるのが好ましい。また、絶縁ワイヤとしてのエナメル線に必要な特性である、耐電圧特性、耐熱特性を損なわないためには、エナメル層がある程度の厚さを有しているのが好ましい。エナメル層の厚さは、ピンホールが生じない程度の厚さであれば特に制限されるものではなく、好ましくは3  $\mu\text{m}$ 以上、より好ましくは6  $\mu\text{m}$ 以上であり、さらに好ましくは30  $\mu\text{m}$ 以上である。この好適な実施態様においては、一方の2辺及び他方の2辺に設けられたエナメル層の厚さそれぞれが60  $\mu\text{m}$ 以下になっている。

[0028] このエナメル層は、上述のエナメル樹脂を含む樹脂ワニスを導体上に好ましくは複数回塗布、焼付して形成することができる。樹脂ワニスを塗布する方法は、常法でよく、例えば、導体形状の相似形としたワニス塗布用ダイスを用いる方法、導体断面形状が四角形であるならば井桁状に形成された「ユニバーサルダイス」と呼ばれるダイスを用いる方法が挙げられる。これらの樹脂ワニスを塗布した導体は常法にて焼付炉で焼き付けされる。具体的な焼付条件はその使用される炉の形状などに左右されるが、およそ5 mの自然対流式の竪型炉であれば、400～500℃にて通過時間を10～90秒に設定することにより達成することができる。

[0029] (押出被覆樹脂層)

本発明の絶縁ワイヤにおける押出被覆樹脂層は、部分放電開始電圧の高い絶縁ワイヤを得るために、エナメル層の外側に少なくとも1層設けられ、1層であっても複数層であってもよい。なお、本発明においては、押出被覆樹脂層を複数層有する場合は、各層間で同一の樹脂が使用される。すなわち、エナメル層側に最も近い押出被覆樹脂層に含まれる樹脂と同じ樹脂で形成された層が積層される。ここで、樹脂が同じであれば、各層間で樹脂以外の添加物の有無、種類、配合量が異なってもよい。本発明では、押出被覆樹脂層は1層または2層が好ましく、1層が特に好ましい。

[0030] 押出被覆樹脂層は熱可塑性樹脂の層であり、押出被覆樹脂層を形成する熱可塑性樹脂は、押出成形可能な熱可塑性樹脂であって、耐熱老化特性に加えて、加工前後での電気絶縁性維持特性、エナメル層と押出被覆樹脂層と接着強度及び耐溶剤性にも優れる点で、融点が310℃以上370℃以下の熱可塑性樹脂を使用する。融点の下限は330℃以上が好ましく、融点の上限は360℃以下が好ましい。熱可塑性樹脂の融点は、示差走査熱量分析(DSC)により、後述する方法によって、測定できる。

この熱可塑性樹脂は、部分放電開始電圧をより一層高くできる点で、比誘電率が4.5以下が好ましく、4.0以下がさらに好ましい。ここで、比誘電率とは市販の誘電率測定装置で測定することができる。測定温度、周波数

については、必要に応じて変更するものであるが、本発明においては、特に記載の無い限り、25℃、50Hzにおいて測定した値を意味する。

[0031] 押出被覆樹脂層を形成する熱可塑性樹脂としては、例えば、ポリエーテルエーテルケトン（PEEK）、変性ポリエーテルエーテルケトン（変性PEEK）、熱可塑性ポリイミド（PI）、芳香環を有するポリアミド（芳香族ポリアミドという）、芳香環を有するポリエステル（芳香族ポリエステルという）、ポリケトン（PK）等が挙げられる。これらの中でも、ポリエーテルエーテルケトン、変性ポリエーテルエーテルケトン、熱可塑性ポリイミド及び芳香族ポリアミドからなる群より選択される少なくとも1種の熱可塑性樹脂が好ましく、特にポリエーテルエーテルケトン樹脂、変性ポリエーテルエーテルケトン樹脂が好ましい。これらの熱可塑性樹脂の中から、融点が300℃以上で、好ましくは比誘電率が4.5以下である熱可塑性樹脂を用いる。熱可塑性樹脂は1種独でもよく、2種以上を用いてもよい。なお、熱可塑性樹脂は、少なくとも融点が上記の範囲から外れない程度であれば、他の樹脂やエラストマー等をブレンドしたものでよい。

本発明では、ポリエーテルエーテルケトン樹脂、変性ポリエーテルエーテルケトン樹脂が好ましいが、これらを単独でもブレンドしたものでよいが、単独で使用するのがなかでも好ましい。

[0032] 押出被覆樹脂層の厚さは、200μm以下であり、180μm以下が発明の効果を実現する上で好ましい。押出被覆樹脂層の厚さが厚すぎると、後述する押出被覆樹脂層の皮膜結晶化度の割合に依らず、絶縁ワイヤを鉄芯に巻付け、加熱した際に絶縁ワイヤ表面に白色化した箇所が生じることがある。このように、押出被覆樹脂層が厚すぎると、押出被覆樹脂層自体に剛性があるため、絶縁ワイヤとしての可とう性に乏しくなって、加工前後での電気絶縁性維持特性の変化に影響することがある。一方、押出被覆樹脂層の厚さは、絶縁不良を防止できる点で、5μm以上が好ましく、15μm以上がより好ましく、40μmがさらに好ましい。この好適な実施態様においては、一方の2辺及び他方の2辺に設けられた押出被覆樹脂層の厚さそれぞれが20

0 μm以下になっている。

[0033] ここで、押出被覆樹脂層の結晶化の割合（皮膜結晶化度ともいう）が50%以上の場合に絶縁性能の1つである加工前後での電気絶縁性維持特性の低下が見られなくなり、特に鉄芯に巻き付けて加熱した後も絶縁破壊電圧を維持できる。このため、押出被覆樹脂層は、絶縁性能、特に巻き付け加熱後の絶縁破壊電圧を維持できる点で、皮膜結晶化度は50%以上が好ましく、60%以上がより好ましく、65%以上であるのが特に好ましい。押出被覆樹脂層の皮膜結晶化度は、示差走査熱量分析（DSC）〔例えば、熱分析装置「DSC-60」（島津製作所製）〕を用いて測定できる。

具体的には、押出被覆樹脂層の皮膜を10mg採取し、5℃/minの速度で昇温させた。このとき、300℃を超える領域で見られる融解に起因する熱量（融解熱量）と150℃周辺で見られる結晶化に起因する熱量（結晶化熱量）とを算出し、融解熱量に対する、融解熱量から結晶化熱量を差し引いた熱量の差分を、皮膜結晶化度とする。この計算式を以下に示す。

[0034] 式： 皮膜結晶化度（%）＝〔（融解熱量－結晶化熱量）／（融解熱量）〕×100

[0035] 押出被覆樹脂層は、導体に形成したエナメル層に上述の熱可塑性樹脂を押出成形して形成することができる。押出成形時の条件、例えば、押出温度条件は、用いる熱可塑性樹脂に応じて適宜に設定される。好ましい押出温度の一例を挙げると、具体的には、押出被覆に適した溶融粘度にするために融点よりも約40℃～60℃高い温度で押出温度を設定する。このように、押出成形によって押出被覆樹脂層を形成すると、製造工程にて被覆樹脂層を形成する際に焼き付け炉を通す必要がないため、導体の酸化被膜層の厚さを成長させることなく、絶縁層すなわち押出被覆樹脂層の厚さを厚くできるという利点がある。

押出成形によって押出被覆樹脂層を形成する場合に、熱可塑性樹脂をエナメル層上に押出成形した後に10秒以上の時間を空けて冷却、例えば水冷するか、又は、熱可塑性樹脂をエナメル層上に押出成形した後に約250℃ま

で例えば水冷し、次いで外気温に2秒以上晒すと、押出被覆樹脂層の皮膜結晶化度を50%以上にすることができ、所望の絶縁破壊電圧を維持できる。

[0036] (接着層)

接着層は、熱可塑性樹脂の層であり、熱可塑性樹脂はエナメル層に押出被覆樹脂層を熱融着可能な樹脂であればいずれの樹脂を用いてもよい。このような樹脂として、ワニス化する必要性があることから溶剤に溶けやすい非結晶性樹脂であるのが好ましい。さらには、絶縁ワイヤとしての耐熱性を低下させないためにも耐熱性に優れた樹脂であるのが好ましい。これらのことを考慮すると、好ましい熱可塑性樹脂として、例えば、ポリサルホン（PSU）、ポリエーテルサルホン（PES）、ポリエーテルイミド（PEI）、ポリフェニルサルホン（PPSU）等が挙げられる。これらの中でも、ガラス転移温度（ $T_g$ ）が $200^{\circ}\text{C}$ を超え、耐熱性に優れた非結晶性樹脂である、ポリエーテルイミド、ポリフェニルサルホン及びポリエーテルサルホンからなる群より選択される少なくとも1種の熱可塑性樹脂であるのが好ましく、押出被覆樹脂と相溶性が高いポリエーテルイミドがさらに好ましい。

[0037] 接着層の厚さは、 $2\sim 20\ \mu\text{m}$ であり、 $3\sim 15\ \mu\text{m}$ がより好ましく、 $3\sim 12\ \mu\text{m}$ がさらに好ましく、 $3\sim 10\ \mu\text{m}$ が特に好ましい。

また、接着層は2層以上の積層構造であっても構わないが、この場合、各層の樹脂は互いに同じ樹脂が好ましい。本発明においては、接着層は1層が好ましい。

[0038] 押出被覆樹脂層とエナメル層の間の接着力が十分でない場合、過酷な加工条件例えば小さな半径に曲げ加工される場合には、曲げの円弧内側に、押出被覆樹脂層のシワが発生する場合がある。このようなシワが発生すると、エナメル層と押出被覆樹脂層との間に空間が生じることから、部分放電開始電圧が低下するという現象につながる場合がある。この部分放電開始電圧の低下を防止するためには、曲げの円弧内側にシワが生じないようにする必要があり、エナメル層と押出被覆樹脂層との間に接着機能を有する層を導入して接着強度をさらに高めることで、上記のようなシワの発生を高度に防ぐこと

ができる。すなわち、本発明の絶縁ワイヤは、エナメル層と押出被覆樹脂層との接着強度が高いので高い部分放電開始電圧を発揮するが、エナメル層と押出被覆樹脂層との間に接着層を設けることで、より一層高い部分放電開始電圧を発揮させ、インバータサージ劣化を効果的に防止できる。また、エナメル層と押出被覆樹脂層との接着強度をさらに高めることによって、加工時の層間剥離等の問題を解決することができる。

[0039] 接着層は、導体に形成したエナメル層に上述の熱可塑性樹脂を焼き付けて形成することができる。このような接着層を有する、本発明の別の好適な実施態様における絶縁ワイヤは、好適には、エナメル層の外周に、ワニス化された熱可塑性樹脂を焼き付けて接着層を形成し、その後、押出被覆工程において接着層に用いられる樹脂のガラス転移温度よりも高い温度で熔融状態にある、押出被覆樹脂層を形成する熱可塑性樹脂を接着層上に押出して接触させることで、エナメル層と押出被覆樹脂層とを熱融着させて、製造することができる。

この製造方法において、接着層、すなわちエナメル層と押出被覆樹脂層を十分に熱融着させるためには、押出被覆工程における、押出被覆樹脂層を形成する熱可塑性樹脂の加熱温度は、接着層を形成する熱可塑性樹脂のガラス転移温度（ $T_g$ ）以上であるのが好ましく、さらに好ましくは $T_g$ よりも $30^\circ\text{C}$ 以上高い温度、特に好ましくは $T_g$ よりも $50^\circ\text{C}$ 以上高い温度である。ここで、押出被覆樹脂層を形成する熱可塑性樹脂の加熱温度は、ダイス部の温度である。

接着層を形成する熱可塑性樹脂をワニス化する溶剤は、選択した熱可塑性樹脂を溶解させ得る溶剤であればいずれでもよい。

[0040] この好適な実施態様において、エナメル層と押出被覆樹脂層との合計厚さは $80\ \mu\text{m}$ 以上である。合計厚さが $50\ \mu\text{m}$ 以上であると、絶縁ワイヤの部分放電開始電圧（ $V$ ）のピーク電圧（ $V_p$ ）が $1000\ V_p$ 以上になり、 $80\ \mu\text{m}$ 以上であると $1200\ V_p$ 以上になり、インバータサージ劣化防止の観点で好ましい。この合計厚さは、より一層高い部分放電開始電圧を発現し

、インバータサージ劣化を高度に防止できる点で、 $100\mu\text{m}$ 以上であるのが特に好ましい。この好適な実施態様においては、少なくとも、一方の2辺のエナメル層と押出被覆樹脂層との合計厚さは $80\mu\text{m}$ 以上で他方の1辺のエナメル層と押出被覆樹脂層との合計厚さは $50\mu\text{m}$ 以上であるのが好ましく、両方の2辺に設けられたエナメル層および押出被覆樹脂層の合計厚さがともに $80\mu\text{m}$ 以上になっている場合がなかでも好ましく、少なくとも一方の2辺の上記合計厚さが $100\mu\text{m}$ 以上である場合がより好ましく、両方の2辺の上記合計厚さがともに $100\mu\text{m}$ 以上の場合が特に好ましい。

なお、本発明では、絶縁ワイヤの部分放電開始電圧（V）のピーク電圧（ $V_p$ ）は、 $1200\sim 3200V_p$ が好ましい。

[0041]（部分放電開始電圧の測定）

絶縁ワイヤの部分放電開始電圧の測定は、部分放電試験機（例えば、菊水電子工業製の部分放電試験機「KPD2050」）を用いて、以下のようにして測定する。

まず、断面形状が方形の絶縁ワイヤを、2本の絶縁ワイヤの長辺となる面同士を長さ $150\text{mm}$ に亘って隙間がないように密着させた試料を作製する。この2本の導体間に電極をつなぎ、温度は $25^\circ\text{C}$ にて、 $50\text{Hz}$ の交流電圧かけながら連続的に昇圧していき、 $10\text{pC}$ の部分放電が発生した時点の電圧（V）をピーク電圧（ $V_p$ ）で読み取る。

[0042] このように、エナメル層の厚さを $60\mu\text{m}$ 以下、押出被覆樹脂層の厚さを $200\mu\text{m}$ 以下、かつエナメル層および押出被覆樹脂層の合計厚さを $80\mu\text{m}$ 以上にすると、少なくとも、絶縁ワイヤの部分放電開始電圧、すなわちインバータサージ劣化の防止、導体とこれを被覆する樹脂層との接着強度、エナメル層と押出被覆樹脂層のような皮膜層間での接着強度を満足できる。なお、エナメル層と押出被覆樹脂層との合計厚さは、 $260\mu\text{m}$ 以下が好ましく、加工前後での電気絶縁性維持特性を考慮し、問題なく加工できるためには $235\mu\text{m}$ 以下がより好ましい。

[0043] したがって、この好適な実施態様における絶縁ワイヤは、導体とエナメル

層などの被覆層との接着強度及び皮膜層間の接着強度の接着強度がいずれも高い。これらの接着強度は、例えば、J I S C 3 0 0 3 エナメル線試験方法の、8. 密着性、8. 1 b) ねじり法と同じ要領で行い、エナメル層の浮きが生じるまでの回転数で評価することができる。断面方形の平角線においても同様に行うことができる。本発明において、エナメル層の浮き、もしくは、皮膜層間では上層の皮膜層の浮きが生じるまでの回転数は15回転以上であるものを密着性の良いものとし、この好適な実施態様における絶縁ワイヤは15回転以上の回転数になる。

[0044] 導体と被覆層（皮膜層）の接着強度及び皮膜層間の接着強度は具体的には以下のようにして測定され、これらの好ましい接着強度は以下の通りである。

[0045] （導体との接着強度）

絶縁ワイヤの導体に最も近い絶縁被覆層のみを一部剥離した電線試料を引張試験機（例えば、島津製作所製の引張試験機「オートグラフAG-X」）にセットし、4mm/minの速度で押出被覆樹脂層を上方へ引き剥がす（180℃剥離）際に、浮きが生じた引張荷重が接着強度である。

浮きが生じた引張荷重が、20g以上40g未満である場合が好ましく、40g以上100g未満がなかでも好ましい。

[0046] （皮膜層間の接着強度）

絶縁ワイヤの押出被覆樹脂層のみを一部剥離した電線試料を引張試験機（例えば、島津製作所製の引張試験機「オートグラフAG-X」）にセットし、4mm/minの速度で押出被覆樹脂層を上方へ引き剥がす（180℃剥離）際に、浮きが生じた引張荷重が接着強度である。

浮きが生じた引張荷重が、100g以上400g未満である場合が好ましい。

[0047] 皮膜層間の接着強度が400g以上の場合、接着強度が強すぎるため、2層のうち一方の層が酸化劣化もしくは熱劣化をして皮膜に亀裂が生じた場合に、もう一方の層は劣化していなくても亀裂発生の原因となった層と共に亀裂

を起こすことがある。

[0048] 本発明の絶縁ワイヤは、耐熱老化特性に優れている。この耐熱老化特性は、高温の環境で使用されても長時間、絶縁性能が低下しないという信頼性を保つための指標になるものであり、300℃168時間熱処理後の絶縁破壊電圧が熱処理前の絶縁破壊電圧と比較して90%以上であることが特に好ましい。

300℃熱処理後の絶縁破壊電圧は以下のようにして測定できる。

[0049] (300℃熱処理後絶縁破壊電圧測定)

直状片の絶縁ワイヤを300mm切り出し、300℃168時間加熱処理する。加熱処理後、中央部にアルミホイルを巻きつけ、300mmの一方の末端の被覆層を剥離し、末端剥離箇所とアルミホイル部の間に通電する。500V/minで昇圧させ、絶縁破壊を起こした電圧を「加熱後絶縁破壊電圧」とし、(「加熱後絶縁破壊電圧」/「加熱前絶縁破壊電圧」)×100で算出する。

[0050] なお、絶縁ワイヤの耐熱老化特性は、JIS C 3003エナメル線試験方法の、7. 可撓性に従って巻き付けたものを、190℃高温槽へ1000時間静置した後の、エナメル層又は押出被覆樹脂層に発生する亀裂の有無を目視にて評価する方法もあり、本発明の絶縁ワイヤはこの評価でも亀裂を生じない。

[0051] 本発明においては、加工前後での電気絶縁性維持特性にも優れる。

加工前後での電気絶縁性維持特性は、以下のように、鉄芯に巻付け、加熱前後での絶縁破壊電圧を測定して評価する。

[0052] (鉄芯巻付、加熱後絶縁破壊電圧測定)

加熱前後での電気絶縁性維持特性を次のようにして評価する。

絶縁ワイヤを直径が30mmの鉄芯に巻付けて恒温槽内で280℃まで昇温させて30分保持する。恒温槽から取り出した後に、鉄芯に巻き付けたままの状態鉄芯を銅粒に挿し込んで巻き付けた一端を電極につなぎ、10kVの電圧において絶縁破壊を起こすことなく1分間の通電を保持できること

が好ましい。

[0053] 本発明の絶縁ワイヤは、上述のように、押出被覆樹脂層を形成する熱可塑性樹脂を選択し、導体と被覆層や皮膜層間の接着強度が高いから、昨今絶縁ワイヤに要求されている、耐摩耗性及び耐溶剤性にも優れる。耐摩耗性は、絶縁ワイヤをモーター等へ加工した場合にうける傷の度合いの指標になり、静摩擦係数はステータスロット中への挿入しやすさの度合いになる。耐溶剤性は使用環境や組立工程の多様化から絶縁ワイヤに必要とされている。

[0054] 耐摩耗性は、例えば、25℃で、JIS C 3003エナメル線試験方法の、9. 耐摩耗（丸線）と同じ要領で評価することができる。断面方形の平角線の場合は四隅のコーナーについて行う。具体的には、JIS C 3003で決められた摩耗試験機を用いて、ある荷重下で皮膜が剥離するまで一方向に滑らせる。皮膜が剥離した目盛を読み取り、この目盛値と使用した荷重との積が2000g以上であると非常に優れたものと評価できる。本発明の絶縁ワイヤは、上述の目盛値と使用した荷重の積が2000g以上になる。

[0055] 耐溶剤性は、例えば、JIS C 3003エナメル線試験方法の、7. 可撓性に従って巻き付けたものを溶剤に10秒間浸漬後、エナメル層又は押出被覆樹脂層の表面を目視にて確認して行うことができる。本発明においては、アセトン、キシレン及びスチレンの3種類の溶剤を用いて行い、温度は常温と150℃（試料を150℃×30分加熱後に熱い状態で溶剤へ浸漬する）の2水準によって行い、エナメル層または押出被覆樹脂層の表面にいずれも異常無いと非常に優れたものと評価できる。本発明の絶縁ワイヤは、アセトン、キシレンまたはスチレンのいずれの溶剤であっても、また常温及び150℃であっても、エナメル層および押出被覆樹脂層の表面にも以上は見られない。

[0056] （絶縁ワイヤの製造方法）

絶縁ワイヤの製造方法は、個々の層で説明した通りである。

すなわち、前記エナメル焼付層の外周に、ワニス化された樹脂を焼き付け

て前記接着層を形成し、その後、該接着層に用いる樹脂のガラス転移温度よりも高い温度で熔融状態となる、押出被覆樹脂層を形成する熱可塑性樹脂を該接着層に押出して接触させ、該エナメル焼付層に該接着層を介して該押出被覆樹脂を熱融着させて該押出被覆樹脂層を形成する。

ここで、本発明では、接着層は、押出加工で被覆するのではなく、ワニス化した樹脂を塗布して設けるものである。

## 実施例

[0057] 以下に本発明を実施例に基づいてさらに詳細に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0058] (実施例1)

1. 8×3.4 mm (厚さ×幅) で四隅の面取り半径  $r = 0.3$  mm の平角導体 (酸素含有量 15 ppm の銅) を準備した。エナメル層の形成に際しては、導体の形状と相似形のダイスを使用して、ポリアミドイミド樹脂 (PAI) ワニス (日立化成 (株) 製、商品名: HI406) を導体へコーティングし、450°C に設定した炉長 8 m の焼付炉内を、焼き付け時間 15 秒となる速度で通過させ、この 1 回の焼き付け工程で厚さ 5  $\mu$  m のエナメルを形成した。これを繰り返し 8 回行うことで厚さ 40  $\mu$  m のエナメル層を形成し、エナメル線を得た。

次に、N-メチル-2-ピロリドン (NMP) にポリエーテルイミド樹脂 (PEI) (サビックイノベータィブプラスチックス製、商品名: ウルテム 1010) を溶解させ、20 質量% 溶液とした樹脂ワニスを、導体の形状と相似形のダイスを使用して、前記エナメル線へコーティングし、450°C に設定した炉長 8 m の焼付炉内を、焼き付け時間 15 秒となる速度で通過させ、これを繰り返し 1 回行うことで厚さ 5  $\mu$  m の接着層を形成し (1 回の焼き付け工程で形成される厚さは 5  $\mu$  m)、厚さ 45  $\mu$  m の接着層付きエナメル線を得た。

[0059] 得られた接着層付きエナメル線を心線とし、押出機のスクリュウは、30 mm フルフライト、 $L/D = 20$ 、圧縮比 3 を用いた。材料はポリエーテル

エーテルケトン（PEEK）（ソルベイスペシャルティポリマーズ製、商品名：キータスパイアKT-820、比誘電率3.1）を用い、押出温条件は表1に従って行った。C1、C2、C3は押出機内のシリンダー温度を示し、樹脂投入側から順に3ゾーンの温度をそれぞれ示す。Hはヘッド部、Dはダイス部の温度を示す。なお、このときの、押出被覆樹脂層を形成する熱可塑性樹脂の押出温度は、D地点（400℃）で接着層を形成するPEIのガラス転移温度（217℃）よりも183℃高かった。押出ダイを用いてPEEKの押出被覆を行った後、10秒の時間を空けて水冷してエナメル層の外側に厚さ40μmの押出被覆樹脂層を形成した。このようにして、合計厚さ（エナメル層と押出被覆樹脂層の厚さの合計）80μmの、PEEK押出被覆エナメル線からなる絶縁ワイヤを得た。

[0060]（実施例2～18、並びに比較例1～10および13）

エナメル層の樹脂、接着層の樹脂、押出被覆樹脂層の樹脂の種類および厚みを下記表2～6に示すように変更したこと以外は、実施例1と同様にして各絶縁ワイヤを得た。なお、押出温条件は表1に従って行った。なお、表2～6では押出樹脂被覆層を「押出被覆層」として示している。

ここで、表2～6において、実施例13のエナメル層にはポリイミド樹脂（PI）ワニス（ユニチカ製、商品名：Uイミド）、実施例9、10および比較例2の接着層にはポリフェニルサルホン樹脂（PPSU）（ソルベイスペシャルティポリマーズ製、商品名：レーデルR5800、ガラス転移温度220℃）を使用した。また、押出被覆樹脂層は、実施例14では、変性ポリエーテルエーテルケトン樹脂（変性PEEK）（ソルベイスペシャルティポリマーズ製、商品名：アバスパイアAV-650、比誘電率3.1）、比較例10では、ポリフェニレンスルフィド樹脂（PPS）（DIC製、商品名：FZ-2100、比誘電率3.4）を使用した。

[0061]（押出温度条件）

実施例及び比較例における押出温度条件を下記表1に示す。

表1において、C1、C2、C3は押出機のシリンダー部分における温度

制御を分けて行っている3ゾーンを材料投入側から順に示したものである。また、Hは押出機のシリンダーの後ろにあるヘッドを示す。また、Dはヘッドの先にあるダイを示す。

[0062] [表1]

押出被覆樹脂層を形成する 熱可塑性樹脂		PEEK	変性PEEK	PPS
押出温度条件	C1(°C)	300	300	260
	C2(°C)	380	380	300
	C3(°C)	380	380	310
	H(°C)	390	390	320
	D(°C)	400	400	330

[0063] (比較例11および12)

エナメル層の樹脂に、実施例1で使用したポリアミドイミド樹脂(PAI)を使用し、接着層の樹脂にフェノキシ樹脂を使用して、実施例1と同様にして、下記表6に示す厚みの接着層付きエナメル線を得た。押出被覆樹脂層を、下記表6に示すように異なった樹脂で、接着層側に、ポリエーテルスルホン樹脂(PES)(住友化成(株)製、商品名:スミカエクセル4800G)、接着層と反対側に実施例14で使用した変性ポリエーテルエーテルケトン樹脂(変性PEEK)または比較例10で使用したポリフェニレンスルフィド樹脂(PPS)となるように押出被覆樹脂層を形成した。なお、実施例1とは異なり、押出ダイを用いて押出被覆を行った後の水冷は行わなかった。

[0064] このようにして製造した、実施例1~18および比較例1~13の絶縁ワイヤについて以下の評価を行った。

[0065] (融点)

押出被覆樹脂層10mgを、熱分析装置「DSC-60」(島津製作所製)を用いて、5°C/minの速度で昇温させたときの、250°Cを超える領域で見られる融解に起因する熱量のピーク温度を読み取って、融点とした。なお、ピーク温度が複数存在する場合には、より高温のピーク温度を融点とする。

## [0066] (鉄芯巻付、加熱後絶縁破壊電圧測定)

加熱前後での電気絶縁性維持特性を次のようにして評価した。すなわち、絶縁ワイヤを直径が30mmの鉄芯に巻付けて恒温槽内で280℃まで昇温させて30分保持した。恒温槽から取り出した後に、鉄芯に巻き付けたままの状態鉄芯を銅粒に挿し込んで巻き付けた一端を電極につなぎ、10kVの電圧において絶縁破壊を起こすことなく1分間の通電を保持できれば合格とした。表2～6において、合格を「○」で示し、不合格を「×」で示した。なお、10kVの電圧の通電を1分間保持できず、絶縁破壊した場合を不合格とした。絶縁破壊する場合、電線の可とう性が乏しくなり電線表面に白化等変化が生じ、亀裂まで生じることもある。

## [0067] (導体との接着強度)

まず、絶縁ワイヤの導体に最も近い絶縁被覆層のみを一部剥離した電線試料を島津製作所製の引張試験機「オートグラフAG-X」にセットし、4mm/minの速度で押出被覆樹脂層を上方へ引き剥がした(180℃剥離)。

その際に読み取った引張荷重が40g以上100g未満であった場合を表2～6に「◎」で示し、20g以上40g未満であった場合を「○」で示し、20g未満であった場合を「×」で示した。

## [0068] (皮膜層間の接着強度)

まず、絶縁ワイヤの押出被覆樹脂層のみを一部剥離した電線試料を島津製作所製の引張試験機「オートグラフAG-X」にセットし、4mm/minの速度で押出被覆樹脂層を上方へ引き剥がした(180℃剥離)。

その際に読み取った引張荷重が100g以上400g未満であった場合を表2～6に「◎」で示し、40g以上100g未満であった場合を「○」で示し、40g未満であった場合を「×」で示した。

## [0069] (部分放電開始電圧の測定)

絶縁ワイヤの部分放電開始電圧の測定には、菊水電子工業製の部分放電試験機「KPD2050」を用いた。断面形状が方形の絶縁ワイヤを、2本の

絶縁ワイヤの長辺となる面同士を長さ150mmに亘って隙間がないように密着させた試料を作製した。この2本の導体間に電極をつなぎ、温度は25℃にて、50Hzの交流電圧かけながら連続的に昇圧していき、10pCの部分放電が発生した時点の電圧(V)をピーク電圧(V<sub>p</sub>)で読み取った。1200~3200V<sub>p</sub>が合格レベルである。

[0070] (300℃熱処理後絶縁破壊電圧測定)

直状片の絶縁ワイヤを300mm切り出し、300℃168時間加熱処理した。加熱処理後、中央部にアルミホイルを巻きつけ、300mmの一方の末端の被覆層を剥離し、末端剥離箇所とアルミホイル部の間に通電した。500V/minで昇圧させ、絶縁破壊を起こした電圧を「加熱後絶縁破壊電圧」とした。(「加熱後絶縁破壊電圧」/「加熱前絶縁破壊電圧」)×100で算出した。得られた値が90%以上100%以下の場合を表2~6に「◎」で示し、70%以上90%未満の場合を「○」で示し、30%以上70%未満の場合を「△」で示し、30%未満の場合を「×」で示した。

[0071] (総合評価)

総合評価は、優れた耐熱老化特性をより長期間にわたって維持できることが要求される近年の電気機器に適用可能であるか否かを基準にした。すなわち、鉄芯巻付、加熱後絶縁破壊電圧、導体との接着強度及び皮膜間の接着強度がいずれも「○」であって、かつ「300℃耐熱特性の評価が「◎」である場合、総合評価は「○」であり、これ以外の場合の総合評価は「×」である。

これらの結果をまとめて、下記表2~6に示す。

[0072]

[表2]

	要求値	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	実施例6	
エナメル層	60um以下	PAI (厚さ40um)	PAI (厚さ55um)	PAI (厚さ20um)	PAI (厚さ35um)	PAI (厚さ15um)	PAI (厚さ31um)	
接着層	2~20um	PEI (厚さ5um)	PEI (厚さ6um)	PEI (厚さ5um)	PEI (厚さ5um)	PEI (厚さ6um)	PEI (厚さ9um)	
押出被覆層	200um以下	PEEK (厚さ40um)	PEEK (厚さ30um)	PEEK (厚さ72um)	PEEK (厚さ70um)	PEEK (105um)	PEEK (厚さ97um)	
エナメル層+押出被覆層 合計厚さ	80um以上	80um	85um	92um	105um	120um	128um	
全体厚さ		85um	91um	97um	110um	126um	137um	
押出被覆樹脂層の樹脂の融点	300~370°C	343°C	343°C	343°C	343°C	343°C	343°C	
電線特性	鉄芯巻付、加熱後 絶縁破壊電圧評価	○	○	○	○	○	○	
	導体との接着強度	○	◎	◎	◎	◎	◎	
	皮膜層間の接着強度	○	◎	◎	◎	◎	◎	
	部分放電開始電圧	1200~3200Vp	1350Vp	1400Vp	1420Vp	1600Vp	1750Vp	1870Vp
	300°C耐熱特性	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
総合評価		○	○	○	○	○	○	

[0073] [表3]

	要求値	実施例7	実施例8	実施例9	実施例10	実施例11	実施例12	
エナメル層	60um以下	PAI (厚さ45um)	PAI (厚さ60um)	PAI (厚さ30um)	PAI (厚さ31um)	PAI (厚さ15um)	PAI (厚さ31um)	
接着層	2~20um	PEI (厚さ7um)	PEI (厚さ8um)	PPSU (厚さ9um)	PPSU (厚さ10um)	PEI (厚さ6um)	PEI (厚さ11um)	
押出被覆層	200um以下	PEEK (厚さ91um)	PEEK (厚さ73um)	PEEK (厚さ126um)	PEEK (厚さ151um)	PEEK (厚さ172um)	PEEK (厚さ153um)	
エナメル層+押出被覆層 合計厚さ	80um以上	136um	133um	156um	182um	187um	184um	
全体厚さ		143um	141um	165um	192um	193um	195um	
押出被覆樹脂層の樹脂の融点	300~370°C	343°C	343°C	343°C	343°C	343°C	343°C	
電線特性	鉄芯巻付、加熱後 絶縁破壊電圧評価	○	○	○	○	○	○	
	導体との接着強度	○	◎	◎	◎	◎	◎	
	皮膜層間の接着強度	○	◎	◎	◎	◎	◎	
	部分放電開始電圧	1200~3200Vp	1910Vp	1900Vp	2150Vp	2520Vp	2500Vp	2450Vp
	300°C耐熱特性	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
総合評価		○	○	○	○	○	○	

[0074] [表4]

	要求値	実施例13	実施例14	実施例15	実施例16	実施例17	実施例18	
エナメル層	60um以下	PI (厚さ32um)	PAI (厚さ35um)	PAI (厚さ30um)	PAI (厚さ10um)	PAI (厚さ35um)	PAI (厚さ60um)	
接着層	2~20um	PEI (厚さ9um)	PEI (厚さ7um)	PEI (厚さ10um)	PEI (厚さ6um)	PEI (厚さ7um)	PEI (厚さ6um)	
押出被覆層	200um以下	PEEK (厚さ154um)	変性PEEK (厚さ149um)	PEEK (厚さ171um)	PEEK (厚さ198um)	PEEK (厚さ198um)	PEEK (厚さ181um)	
エナメル層+押出被覆層 合計厚さ	80um以上	186um	184um	201um	208um	233um	241um	
全体厚さ		195um	191um	211um	214um	240um	247um	
押出被覆樹脂層の樹脂の融点	300~370°C	343°C	343°C	343°C	343°C	343°C	343°C	
電線特性	鉄芯巻付、加熱後 絶縁破壊電圧評価	○	○	○	○	○	○	
	導体との接着強度	○	◎	◎	◎	◎	◎	
	皮膜層間の接着強度	○	◎	◎	◎	◎	◎	
	部分放電開始電圧	1200~3200Vp	2500Vp	2400Vp	2620Vp	2400Vp	3050Vp	3120Vp
	300°C耐熱特性	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
総合評価		○	○	○	○	○	○	

[0075]

[表5]

	要求値	比較例1	比較例2	比較例3	比較例4	比較例5	比較例6	比較例7	
エナメル層	60um以下	PAI (厚さ45um)	—	—	PAI (厚さ38um)	PAI (厚さ15um)	PAI (厚さ40um)	PAI (厚さ65um)	
接着層	2~20um	—	PPSU (厚さ10um)	—	PEI (厚さ10um)	PEI (厚さ6um)	PEI (厚さ6um)	PEI (厚さ10um)	
押出被覆層	200um以下	PEEK (厚さ102um)	PEEK (厚さ145um)	PEEK (厚さ171um)	—	PEEK (厚さ42um)	PEEK (厚さ20um)	PEEK (厚さ91um)	
エナメル層+押出被覆層 合計厚さ	80um以上	147um	145um	171um	38um	57um	60um	156um	
全体厚さ		147um	155um	171um	48um	63um	66um	166um	
押出被覆樹脂層の樹脂の融点	300~370°C	343°C	343°C	343°C	—	343°C	343°C	343°C	
電線特性	鉄芯巻付、加熱後 絶縁破壊電圧評価	○	○	×	○	○	○	○	
	導体との接着強度	○	◎	×	◎	◎	◎	×	
	皮膜層間の接着強度	○	×	◎	—	◎	◎	◎	
	部分放電開始電圧	1200~3200Vp	1950Vp	2050Vp	2220Vp	950Vp	1000Vp	1020Vp	2140Vp
	300°C耐熱特性	◎	◎	◎	×	×	◎	◎	◎
総合評価	○	×	×	×	×	×	×	×	

[0076] [表6]

	要求値	比較例8	比較例9	比較例10	比較例11	比較例12	比較例13	
エナメル層	60um以下	PAI (厚さ70um)	PAI (厚さ35um)	PAI (厚さ35um)	PAI (厚さ40um)	PAI (厚さ40um)	PAI (厚さ25um)	
接着層	2~20um	PEI (厚さ5um)	PEI (厚さ7um)	PEI (厚さ10um)	フェノキシ (厚さ5um)	フェノキシ (厚さ5um)	—	
押出被覆層	200um以下	PEEK (厚さ173um)	PEEK (厚さ220um)	PPS (厚さ121um)	PES(50um)+ 変性PEEK(50um)	PES(50um)+ PPS(50um)	PEEK (厚さ75um)	
エナメル層+押出被覆層 合計厚さ	80um以上	243um	255um	156um	140um	140um	100um	
全体厚さ		248um	262um	166um	145um	145um	100um	
押出被覆樹脂層の樹脂の融点	300~370°C	343°C	343°C	278°C	340°C	278°C	343°C	
電線特性	鉄芯巻付、加熱後 絶縁破壊電圧評価	○	○	×	○	○	○	
	導体との接着強度	○	×	◎	◎	◎	◎	
	皮膜層間の接着強度	○	◎	◎	○	×	×	×
	部分放電開始電圧	1200~3200Vp	3100Vp	3180Vp	2150Vp	1800Vp	1800Vp	1540Vp
	300°C耐熱特性	◎	◎	◎	×	◎	×	◎
総合評価	○	×	×	×	×	×	×	

[0077] 上記表2~6から明らかなように、厚さ2~20μmの接着層を有し、エナメル焼付層と押出被覆樹脂層との合計厚さが80μm以上、エナメル焼付層の厚さが60μm以下、前記押出被覆樹脂層の厚さが200μm以下であり、押出被覆樹脂層の樹脂が融点300°C以上370°C以下であると、加工前後での電気絶縁性維持特性である加熱前後の絶縁破壊電圧評価に優れ、導体と被覆層の接着強度および皮膜層間の接着強度が強く、部分放電開始電圧も高く、さらに耐摩耗性および耐溶剤性のいずれにも優れ、これに加えて、300°C耐熱特性から、長期間にわたって優れた耐熱老化特性を維持できることがわかった。

[0078] 具体的には、実施例1~18と比較例1~4、13の比較から、エナメル焼付層、接着層および押出被覆樹脂層をいずれも有することが必要であることが分かる。特に比較例3のように押出被覆樹脂層のみであったり、比較例

4のように押出被覆樹脂層を設けない場合、300℃耐熱特性に劣り、比較例1、13のように接着層がない場合、皮膜層間の接着強度が劣る。また、比較例2のようにエナメル層がなかったり、比較例8のようにエナメル層の厚みが厚いと導体との接着強度に劣る。逆に、比較例9のように、押出被覆樹脂層が200 $\mu$ mを超えると、鉄芯巻付、加熱後絶縁破壊電圧評価に劣り、比較例7のように、エナメル層の厚みが厚いと導体と被覆層の接着強度が劣る。

さらに、比較例5、6のように、エナメル層と押出被覆樹脂層の合計の厚みが80 $\mu$ m未満であると、部分放電開始電圧が低下する。

また、押出被覆樹脂層を形成する樹脂に、融点が300℃以上の熱可塑性樹脂を用いると長期間に及ぶ耐熱老化特性を満足できる一方で、融点が300℃未満の熱可塑性樹脂を用いると、比較例10および12のように300℃の耐熱特性に劣る。また、比較例11および12では皮膜層間の接着強度が劣っている。これは、主に、押出被覆樹脂層が異なった樹脂で形成される2層の積層構造のために、特に、この押出被覆樹脂層間での接着強度が劣るためと考えられる。

[0079] なお、実施例1～18における押出被覆樹脂層の前述の測定方法による皮膜結晶化度はいずれも50%以上であった。実施例のうち実施例10では62%、実施例12では65%、実施例13では71%であった。また、実施例1～18の各絶縁電線が上述の耐摩耗性及び耐溶剤性を満たしていることを確認している。

[0080] 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。

[0081] 本願は、2012年11月30日に日本国で特許出願された特願2012-263749に基づく優先権を主張するものであり、これら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。

## 請求の範囲

- [請求項1] 矩形状の断面を有する導体の外周に、少なくとも1層のエナメル焼付層と、その外側に少なくとも1層の押出被覆樹脂層とを有し、該エナメル焼付層と該押出被覆樹脂層との間に厚さ2～20 $\mu\text{m}$ の接着層を有し、該接着層上の押出被覆層がいずれも同一の樹脂からなり、耐インバータサージ絶縁ワイヤの断面における前記エナメル焼付層と前記押出被覆樹脂層の断面形状が矩形状であって、断面図における前記導体を取り囲む該エナメル焼付層と該押出被覆樹脂層が形成する前記矩形の断面形状において、該導体に対して上下または左右で対向する2対の2辺のうちの少なくとも1対の2辺がともに、該エナメル焼付層と該押出被覆樹脂層との合計厚さが80 $\mu\text{m}$ 以上、前記エナメル焼付層の厚さが60 $\mu\text{m}$ 以下、前記押出被覆樹脂層の厚さが200 $\mu\text{m}$ 以下であり、該押出被覆樹脂層の樹脂が融点300 $^{\circ}\text{C}$ 以上370 $^{\circ}\text{C}$ 以下であることを特徴とする耐インバータサージ絶縁ワイヤ。
- [請求項2] 前記押出被覆層が、1層であることを特徴とする請求項1に記載の耐インバータサージ絶縁ワイヤ。
- [請求項3] 前記耐インバータサージ絶縁ワイヤが、300 $^{\circ}\text{C}$ 168時間熱処理後の絶縁破壊電圧が熱処理前の絶縁破壊電圧と比較して90%以上であることを特徴とする請求項1または2に記載の耐インバータサージ絶縁ワイヤ。
- [請求項4] 前記耐インバータサージ絶縁ワイヤの皮膜層間の接着強度が、100g以上400g未満であることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の耐インバータサージ絶縁ワイヤ。
- [請求項5] 前記押出被覆樹脂層が、ポリエーテルエーテルケトン、変性ポリエーテルエーテルケトン、熱可塑性ポリイミド及び芳香族ポリアミドからなる群より選択される少なくとも1種の熱可塑性樹脂の層であることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の耐インバータサージ絶縁ワイヤ。

- [請求項6] 前記接着層が、ポリエーテルイミド、ポリフェニルサルホン及びポリエーテルサルホンからなる群より選択される少なくとも1種の熱可塑性樹脂の層であることを特徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載の耐インバータサージ絶縁ワイヤ。
- [請求項7] 前記耐インバータサージ絶縁ワイヤの部分放電開始電圧のピーク電圧が、1200V<sub>p</sub>以上3200V<sub>p</sub>以下であることを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の耐インバータサージ絶縁ワイヤ。
- [請求項8] 前記エナメル焼付層の外周に、ワニス化された樹脂を焼き付けて前記接着層を形成し、その後、該接着層に用いる樹脂のガラス転移温度よりも高い温度で熔融状態となる、押出被覆樹脂層を形成する熱可塑性樹脂を該接着層に押出して接触させ、該エナメル焼付層に該接着層を介して該押出被覆樹脂を熱融着させて該押出被覆樹脂層を形成することを特徴とする請求項1～7のいずれか1項に記載の耐インバータサージ絶縁ワイヤの製造方法。

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2013/081300

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
H01B7/02(2006.01)i, H01B13/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
H01B7/02, H01B13/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2005-203334 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 28 July 2005 (28.07.2005), entire text & JP 2008-226853 A	1-8
P, A	JP 2013-41700 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 28 February 2013 (28.02.2013), entire text & US 2013/0037304 A1	1-8

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 26 December, 2013 (26.12.13)	Date of mailing of the international search report 14 January, 2014 (14.01.14)
---	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2013/081300

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2010/024359 A1 (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 04 March 2010 (04.03.2010), entire text & JP 2010-55964 A                      & US 2011/0226508 A1 & EP 2328154 A1                         & CN 102138186 A & KR 10-2011-0069786 A	1-8
A	JP 2011-9200 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 13 January 2011 (13.01.2011), entire text (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））  
 Int.Cl. H01B7/02(2006.01)i, H01B13/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野  
 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））  
 Int.Cl. H01B7/02, H01B13/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの  
 日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2013年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2013年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2013年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2005-203334 A（古河電気工業株式会社）2005.07.28, 全文 & JP 2008-226853 A	1-8
PA	JP 2013-41700 A（古河電気工業株式会社）2013.02.28, 全文 & US 2013/0037304 A1	1-8
A	WO 2010/024359 A1（古河電気工業株式会社）2010.03.04, 全文 & JP 2010-55964 A & US 2011/0226508 A1 & EP 2328154 A1 & CN 102138186 A & KR 10-2011-0069786 A	1-8

C欄の続きにも文献が列挙されている。  パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー  
 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献  
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 26.12.2013	国際調査報告の発送日 14.01.2014
--------------------------	--------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 高木 康晴 電話番号 03-3581-1101 内線 3477	4X	9275
--	---	----	------

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2011-9200 A (住友電気工業株式会社) 2011.01.13, 全文 (ファミリーなし)	1 - 8