(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 923 362 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
21.09.2016 Patentblatt 2016/38

(21) Anmeldenummer: **13783319.0**

(22) Anmeldetag: **24.10.2013**

(51) Int Cl.:
H01B 3/30 *(2006.01)* ***H01K 3/30*** *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2013/072291

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2014/079647 (30.05.2014 Gazette 2014/22)

(54) **LACKDRAHT**

ENAMELLED WIRE

FIL VERNI

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **23.11.2012 DE 102012111372**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.09.2015 Patentblatt 2015/40

(73) Patentinhaber: **Schwering & Hasse Elektrodraht GmbH**
32676 Lügde (DE)

(72) Erfinder:
- **HAASE, Roxana**
  31812 Bad Pyrmont (DE)
- **REICHER, Johann**
  31848 Bad Münder (DE)

(74) Vertreter: **Rohmann, Michael**
Andrejewski - Honke
Patent- und Rechtsanwälte
An der Reichsbank 8
45127 Essen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-T2- 60 114 538 **JP-A- H10 335 159**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 923 362 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Lackdraht, insbesondere Kupferlackdraht oder Aluminiumlackdraht.

[0002] Kupferlackdrähte und/oder Aluminiumlackdrähte sind aus der Praxis grundsätzlich bekannt. Diese Lackdrähte werden in elektrischen Maschinen zur Erzeugung elektrischer Felder eingesetzt. Dazu wird eine Vielzahl von Wicklungen des Lackdrahts beispielsweise in einer Nut angeordnet. Der Wirkungsgrad der aus der Praxis bekannten Maschinen hängt von der zur Verfügung stehenden Ausnutzung der Nutfläche und dem Anteil der Aktivfläche (Nutfüllfaktor) ab. Um die notwendige elektrische Festigkeit zu erreichen, sind die Lackdrähte mit einer Isolationsschicht überzogen. Bei den aus der Praxis bekannten lackisolierten Drähten muss die Isolationsschicht eine vorgeschriebene Mindestdicke aufweisen, um die erforderlichen elektrischen Eigenschaften, wie zum Beispiel Durchschlagsfestigkeit, zu erreichen. Die vorgeschriebene Mindestschichtdicke ist somit einer der begrenzenden Faktoren zur Erzielung höherer Nutfüllfaktoren.

[0003] Der Erfindung liegt daher das technische Problem zugrunde, einen Lackdraht der eingangs bezeichneten Art anzugeben, der sich durch eine vorteilhaft dünne Isolationsschicht auszeichnet, mit dem eine Nutfläche optimal ausnutzbar ist und mit dem die aus der Praxis bekannten Füllfaktoren verbessert werden können. Weiterhin liegt der Erfindung das technische Problem zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Lackdrahts anzugeben, das sich durch eine einfache Ausführbarkeit und hohe Umweltverträglichkeit sowie Energieeffizienz auszeichnet.

[0004] Zur Lösung des technischen Problems lehrt die Erfindung einen Lackdraht, insbesondere Kupferlackdraht oder Aluminiumlackdraht, wobei eine Oberfläche eines eine Seele des Lackdrahts bildenden Wickeldrahts vollständig bzw. im Wesentlichen vollständig mit einem Elektroisolierlack aus zumindest einem Lackpolymer beschichtet ist, wobei der Elektroisolierlack zumindest einen Nanofüllstoff enthält, wobei der Nanofüllstoff von einer Vielzahl von Plättchen gebildet ist, wobei ein von dem Nanofüllstoff gebildeter Plättchenmantel den Wickeldraht vorzugsweise vollständig bzw. im Wesentlichen vollständig umgibt.

[0005] Der Lackdraht kann in Wickelkörpern beispielsweise in elektrischen Maschinen zur Erzeugung elektrischer Felder eingesetzt werden. Vorteilhafterweise besteht der Wickeldraht im Wesentlichen bzw. vollständig aus Kupfer oder Aluminium. Grundsätzlich ist der Einsatz beliebiger, elektrisch leitender Materialien, vorzugsweise Metalle als Wickeldraht möglich. Das Lackpolymer ist bevorzugt eine Matrix, in der der Nanofüllstoff bzw. die Plättchen angeordnet sind. Besonders bevorzugt sind die Plättchen bzw. ist der Nanofüllstoff ausschließlich in der Polymermatrix angeordnet. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weisen die Plättchen eine einheitliche bzw. im Wesentlichen einheitliche Ausrichtung auf. Es empfiehlt sich, dass parallel bzw. im Wesentlichen parallel zum Wickeldraht orientierte Oberflächen der Plättchen einer Plättchenschicht in eine vorzugsweise zylindrische Mantelfläche bilden.

[0006] Zweckmäßigerweise sind die Plättchen vorzugsweise überlappungsfrei bzw. im Wesentlichen überlappungsfrei entlang einer Längsachse des Wickeldrahts in dem Plättchenmantel angeordnet und/oder sind die Plättchen vorzugsweise überlappungsfrei bzw. im Wesentlichen überlappungsfrei den Wickeldraht umlaufend in dem Plättchenmantel angeordnet. Es empfiehlt sich, dass benachbarte Plättchen in einem Plättchenmantel beabstandet zueinander angeordnet sind. Gemäß einer Ausführungsform stoßen benachbarte Plättchen unmittelbar aneinander, wobei es möglich ist, dass bereichsweise ein vorzugsweise mit dem Lackpolymer verfüllter Freiraum zwischen benachbarten Plättchen ausgebildet ist. Es empfiehlt sich, dass zumindest zwei Plättchenmäntel und vorzugsweise zumindest drei Plättchenmäntel den Wickeldraht umgeben. Besonders bevorzugt sind die zumindest zwei Plättchenmäntel derart vorteilhafterweise zueinander versetzt um den Wickeldraht angeordnet, dass Plättchen einer äußeren Plättchenschicht in radialer Richtung oberhalb von Plättchenzwischenräumen positioniert sind, welche Plättchenzwischenräume zwischen benachbarten Plättchen einer inneren Plättchenschicht ausgebildet sind. Gemäß einer Ausführungsform bilden zumindest zwei Plättchenmäntel bzw. der innere Plättchenmantel und der äußere Plättchenmantel vorzugsweise in deren Projektion auf den Wickeldraht einen lückenfreien bzw. im Wesentlichen lückenfreien Mantel um den Wickeldraht aus. Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass die Plättchen in einer von dem Lackpolymer angeordneten Polymermatrix angeordnet sind. Es ist möglich, dass zumindest ein Teil der Plättchen unmittelbar auf dem Wickeldraht aufliegt. Gemäß einer Ausführungsform sind die Plättchen größtenteils und besonders bevorzugt vollständig derart in die Polymermatrix eingebettet, dass zwischen den Plättchen und dem Wickeldraht Lackpolymer angeordnet ist.

[0007] Bevorzugt ist ein Aspektverhältnis des Nanofüllstoffs bzw. der Plättchen größer als 100. Aspektverhältnis meint im Rahmen der Erfindung insbesondere das Verhältnis der lateralen Ausdehnung der Plättchen zur Dicke der Plättchen. Laterale Ausdehnung ist vorzugsweise die längstmögliche Sehne durch eine Querschnittsfläche eines Plättchens. Bei einem Plättchen mit kreisförmiger Querschnittsfläche ist die laterale Ausdehnung beispielsweise der Durchmesser der kreisförmigen Querschnittsfläche des Plättchens. Die Dicke eines Plättchens ist im Rahmen der Erfindung quer zur Querschnittsfläche orientiert. Bevorzugt ist das Aspektverhältnis größer als 1000. Gemäß einer Ausführungsform beträgt das Aspektverhältnis 500 bis 1000, bevorzugt 100 bis 5000 und besonders bevorzugt 100 bis 10000.

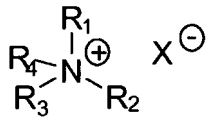
[0008] Vorteilhafterweise weisen die Plättchen eine Dicke von bis zu maximal 20 nm auf. Es empfiehlt sich, dass die Plättchen eine Dicke von einigen Nanometern,

beispielsweise von 1 bis 15 nm, bevorzugt von 1 bis 10 nm und besonders bevorzugt von bis zu 5 nm aufweisen.

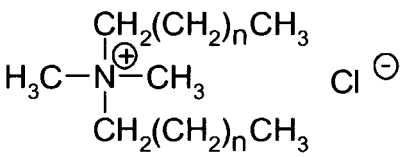
[0009] Zweckmäßigerweise weisen die Plättchen eine laterale Ausdehnung von zumindest 100 nm auf. Es ist möglich, dass die Plättchen eine laterale Ausdehnung von zumindest 300 nm und bevorzugt von zumindest 500 nm aufweisen. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform beträgt der laterale Durchmesser der Plättchen ungefähr 100 bis 100000 nm und bevorzugt 100 bis 50000 nm.

[0010] Es empfiehlt sich, dass der Nanofüllstoff ein Schichtsilikat ist. Gemäß einer Ausführungsform wird eine Mischung aus verschiedenen Schichtsilikaten als Nanofüllstoff eingesetzt. Vorzugsweise bestehen die Plättchen aus dem Schichtsilikat bzw. im Wesentlichen aus dem Schichtsilikat. Es ist möglich, dass Plättchen aus verschiedenen Schichtsilikaten in dem Elektroisolierlack enthalten sind. Besonders bevorzugt sind die Plättchen durch Exfolieren erhältlich. Zweckmäßigerweise ist das Schichtsilikat zumindest eine aus der Gruppe "Talk, Hektorit, Montmorillonit, Bentonit" ausgewählte Komponente. Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass der Nanofüllstoff im Wesentlichen aus einem beliebigen Schichtsilikat besteht.

[0011] Empfohlenermaßen ist das Schichtsilikat organisch modifiziert, wobei ein organisch modifiziertes Schichtsilikat zumindest ein vorzugsweise kationisches Tensid enthält. Das organisch modifizierte Schichtsilikat ist beispielsweise durch Ionenaustausch erhältlich, wobei in das Schichtsilikat eingelagerte Kationen durch das vorzugsweise kationische Tensid ausgetauscht werden. Als kationische Tenside können beispielsweise Ammonium-, Sulfonium- oder Phosphoniumsalze verwendet werden. Bevorzugt sind Ammoniumsalze, insbesondere quarternäre Ammoniumsalze der folgenden allgemeinen Formel:



wobei R_1 bis R_4 organische Reste, ausgewählt aus der Gruppe "Alkyl-, Acyl-, Aryl-, Arylalkyl-, Ester- oder Fettsäuregruppen", darstellen. Die Reste R_1, R_2, R_3 und R_4 können gleich oder voneinander verschieden sein. Bei dem Anion X-kann es sich um ein anorganisches oder organisches Anion, beispielsweise Cl^-, Methylsulfonat $CH_3OSO_3^-$, handeln. Ein Beispiel für ein Tensid ist in der nachfolgenden Formel angegeben:



[0012] Zweckmäßigerweise ist n eine natürliche Zahl zwischen 0 und 20.

[0013] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform enthält der Elektroisolierlack bis zu 10 Vol.-% des Nanofüllstoffs. Die Volumenprozentangaben beziehen sich auf das Volumen des Elektroisolierlacks mit dem darin enthaltenen Nanofüllstoff. Zweckmäßigerweise enthält der Elektrosiolierlack 0,5 bis 8 Vol.-%, vorzugsweise 1 bis 7 Vol.-% und besonders bevorzugt 1 bis 5 Vol.-% des Nanofüllstoffs.

[0014] Vorzugsweise ist das Verhältnis des Durchmessers des Wickeldrahts zum Quadrat der Dicke des Elektroisolierlacks größer oder gleich 1,0 μm^{-1}. Zweckmäßigerweise ist das Verhältnis des Durchmessers des Wickeldrahts zum Quadrat der Dicke des Elektroisolierlacks größer oder gleich 2,5 μm^{-1}, bevorzugt größer oder gleich 3,5 μm^{-1} und besonders bevorzugt größer oder gleich 4,2 μm^{-1}. Gemäß einer Ausführungsform beträgt das Verhältnis aus der Dicke des Wickeldrahts zum Quadrat der Dicke des Elektroisolierlacks zumindest 5,1 μm^{-1}, vorzugsweise zumindest 6,3 μm^{-1} und gemäß einer Ausführungsform zumindest 8,1 μm^{-1}. Vorzugsweise beträgt das Verhältnis des Durchmesser des Wickeldrahts zum Quadrat der Dicke des Elektroisolierlacks zumindest 4,2 μm^{-1}, wenn der Durchmesser des Wickeldrahtes vorzugsweise zwischen 100 μm und 1000 μm liegt. Gemäß einer Ausführungsform beträgt das Verhältnis der Dicke des Wickeldrahts zu dem Quadrat der Dicke des Elektroisolierlacks mehr als 8,1 μm^{-1}, wenn der Wickeldraht eine Dicke von vorzugsweise mehr als 1000 μm aufweist. Zweckmäßigerweise weist der Wickeldraht einen Durchmesser von zumindest 100 μm, bevorzugt von zumindest 150 μm und besonders bevorzugt von zumindest 200 μm auf. Die Dicke des Elektroisolierlacks beträgt gemäß einer bevorzugten Ausführungsform zumindest 3,5 μm.

[0015] Gemäß einer Ausführungsform ist der Elektroisolierlack von zumindest zwei, vorteilhafterweise identischen bzw. im Wesentlichen identischen Elektroisolierlackschichten gebildet. Es ist möglich, dass der Elektroisolierlack aus mehr als zwei bzw. einer Mehrzahl von Elektroisolierlackschichten gebildet ist. Eine Elektroisolierlackschicht enthält zumindest das Lackpolymer und den Nanofüllstoff. Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass auf dem Elektroisolierlack zumindest eine weitere, vorzugsweise von dem Elektroisolierlack verschiedene Schicht angeordnet ist.

[0016] Zweckmäßigerweise umfasst das Lackpolymer zumindest eine aus der Gruppe "Polyester, Polyesterimid, Polyamidimid, Polyimid, Polyurethan, Polyesteramidimid, Polyamid, Polyvinylformal" ausgewählte Komponente. Beispielsweise ist das Polyester ein THEIC-Polyester. Das Polyesterimid kann ein THEIC-Polyesterimid sein. THEIC meint im Rahmen der Erfindung vor allem Tris-Hydroxyethyl Isocyanurate. Gemäß einer Ausführungsform ist das Polyamid ein aliphatisches und/oder aromatisches Polyamid. Das Polyamid kann ein Polyamid sein, dass aliphatische Struktureinheiten und/oder aromatische Struktureinheiten aufweist. Es

liegt im Rahmen der Erfindung, dass das Lackpolymer Modifizierungseinheiten aufweist. Beispielsweise kann das Polyester THEIC-Modifizierungseinheiten oder unpolare Alkylketten (Endgruppenmodifizierung) enthalten. Das Polyesterimid kann THEIC-modifiziert sein. Das Polyurethan kann z. B. Isocyanurat-, Silan- oder Siloxanmodifiziert sein. Für Polyamid oder Polyamidimid können zum Beispiel Polytetrafluorethylen (PTFE) oder Siloxane, bevorzugt Polysiloxane, insbesondere Polydimethylsiloxane, als Modifizierungseinheiten eingesetzt werden. Es ist möglich, dass auf einer Außenseite bzw. der äußeren Oberfläche des Elektroisolierlacks zumindest eine weitere Funktionsschicht angeordnet ist. Durch die auf der äußeren Oberfläche angeordnete Funktionsschicht ist beispielsweise das Gleitverhalten des Lackdrahts optimiert. Gemäß einer Ausführungsform ist auf der äußeren Oberfläche des Elektroisolierlacks eine Gleitschicht angeordnet. Ein Reibungskoeffizient der Gleitschicht ist vorzugsweise kleiner als ein Reibungskoeffizient des Elektroisolierlacks. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass bei der Herstellung eines Wickelkörpers aus dem Lackdraht eine optimalere Raumausnutzung erfolgt.

[0017] Weiterhin lehrt die Erfindung zur Lösung des technischen Problems ein Verfahren zur Herstellung eines Lackdrahtes, wobei ein eine Vielzahl von Plättchen aufweisender Nanofüllstoff in einem Lackpolymer und/oder Lackpolymervorläufer dispergiert wird, wobei ein Wickeldraht mit einer Beschichtung aus dem Lackpolymer mit dem darin dispergierten Nanofüllstoff und/oder aus dem Lackpolymervorläufer mit dem darin dispergierten Nanofüllstoff beschichtet wird, wobei der mit der Beschichtung beschichtete Wickeldraht durch eine Lackierdüse geführt wird, so dass die Plättchen des Nanofüllstoffs einen den Wickeldraht umgebenden Plättchenmantel bilden, wobei die Beschichtung auf dem Wickeldraht zur Ausbildung eines Elektroisolierlacks vorzugsweise durch Erwärmen ausgehärtet wird. Zweckmäßigerweise wird ein Mantel auf dem Wickeldraht in dem Elektroisolierlack ausgebildet, welcher Mantel eine Mehrzahl von Plättchenmänteln beinhaltet.

[0018] Lackpolymervorläufer sind beispielsweise polymerisierbare Verbindungen, aus denen ein Lackpolymer synthetisierbar ist. Zweckmäßigerweise wird der Wickeldraht vor dem Aufbringen des den Nanofüllstoff enthaltenden Lackpolymers und/oder des den Nanofüllstoff enthaltenden Lackpolymervorläufers gereinigt. Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass der Wickeldraht zur Reinigung durch eine Glühe geführt wird. Glühe meint im Rahmen der Erfindung insbesondere ein mit Wasserdampf geflutetes Rohr. Bevorzugt wird die Schicht aus dem Elektroisolierlack auf dem Wickeldraht gebildet, indem beispielsweise ein Nasslack auf den Wickeldraht bevorzugt in einem Lackbad aufgetragen wird. Der Nasslack kann von dem Lackpolymer mit dem besonders bevorzugt homogen in dem Lackpolymer dispergierten Nanofüllstoff sowie zumindest einem Lösungsmittel gebildet sein. Gemäß einer Ausführungsform wird das den Nanofüllstoff beinhaltende Lackpolymer bzw. der den Nanofüllstoff aufweisende Lackpolymervorläufer vorzugsweise lösungsmittelfrei auf den Wickeldraht aufgetragen. Vorteilhafterweise wird überschüssiger, von dem Wickeldraht aufgenommener Nasslack oder aufgenommenes, den Nanofüllstoff enthaltendes Lackpolymer bzw. aufgenommener, den Nanofüllstoff enthaltender Lackpolymervorläufer im Rahmen der Erfindung mittels der Lackierdüse von dem Wickeldraht abgestriffen. Gemäß einer Ausführungsform wird durch den Applikationsprozess des Nasslacks oder des den Nanofüllstoff aufweisenden Lackpolymers bzw. den Nanofüllstoff beinhaltenden Lackpolymervorläufers über die Lackierdüse und die dabei auftretenden, vorzugsweise laminaren Strömungen und Scherkräfte eine Ausrichtung des Nanofüllstoffs bzw. der Plättchen des Nanofüllstoffs entlang des Wickeldrahts begünstigt. Zweckmäßigerweise werden die Plättchen des Nanofüllstoffs bzw. der Nanofüllstoff durch das Führen des mit dem Nasslack oder dem plättchenhaltigen Lackpolymer bzw. den die Plättchen aufweisenden Lackpolymervorstufen beschichteten Wickeldrahts derart ausgerichtet, dass der Nanofüllstoff bzw. die Plättchen des Nanofüllstoffs einen Plättchenmantel ausbildet bzw. ausbilden, welcher Plättchenmantel den Wickeldraht umgibt. Besonders bevorzugt umgibt der von dem Nanofüllstoff gebildete Plättchenmantel den Wickeldraht vollständig bzw. im Wesentlichen vollständig. Beim Fördern des Wickeldrahts durch die Lackierdüse wird insbesondere durch die Strömungsverhältnisse erreicht, dass die Plättchen des Nanofüllstoffs überlappungsfrei in dem Plättchenmantel um den Wickeldraht angeordnet werden. Vorzugsweise werden die Plättchen mit der Maßgabe ausgerichtete, dass ein von einer Mehrzahl von Plättchenmänteln gebildeter Mantel entsteht, in welchem Mantel die Plättchen vorzugsweise versetzt zueinander bzw. in einer Ziegelsteinstruktur angeordnet sind.

[0019] Gemäß einer Ausführungsform wird der mit dem Nasslack oder mit dem den Nanofüllstoff enthaltenen Lackpolymer bzw. Lackpolymervorläufer beschichtete Wickeldraht erwärmt, wobei bevorzugt das in dem Nasslack enthaltende Lösungsmittel entfernt und/oder das Lackpolymer bzw. der Lackpolymervorläufer auspolymerisiert wird. Zweckmäßigerweise wird das Lackpolymer durch eine beispielsweise wärmeinduzierte Reaktion der Lackpolymervorläufer erhalten. Es ist möglich, dass der auf dem Wickeldraht angeordnete Elektroisolierlack aus einer Mehrzahl bzw. Vielzahl von Schichten aus dem Elektroisolierlack bzw. Elektroisolierlackschichten gebildet wird. Zur Ausbildung einer weiteren Schicht des Isolierlacks auf dem Wickeldraht wird besonders bevorzugt eine weitere Beschichtung auf dem Wickeldraht bzw. auf einer bereits auf dem Wickeldraht befindlichen Elektroisolierlackschicht angeordnet.

[0020] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich ein erfindungsgemäßer Lackdraht durch eine vorteilhaft geringe Dicke eines auf den Wickeldraht aufgetragenen Elektroisolierlacks auszeichnet. Dadurch lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Lackdraht ge-

genüber dem Stand der Technik wesentlich verbesserte Nutfüllfaktoren bei der Herstellung von Wickelkörpern aus dem erfindungsgemäßen Lackdraht erzielen. Wesentlich dabei ist die Reduktion der Schichtdicke des Elektroisolierlacks, die bei dem erfindungsgemäßen Lackdraht lediglich 20 bis 80 % der aus der Praxis bekannten Schichtdicken von Elektroisolierlacken beträgt. Durch die mit dem erfindungsgemäßen Wickeldraht erzielbaren Wicklungsdichten von Wickelkörpern kann die Energieeffizienz von Vorrichtungen zur Erzeugung von elektrischen Feldern vorteilhaft gesteigert werden. Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich bedingt durch den geringen Materialeinsatz durch einen umweltfreundlichen, wenig Emissionen verursachenden, geringen Lösungsmittelverbrauch bei der Herstellung des Lackdrahts aus. Dadurch, dass zur Ausbildung des erfindungsgemäßen Lackdrahts lediglich eine geringe Anzahl verschiedener Elektroisolierlackschichten erforderlich ist, zeichnet sich das erfindungsgemäße Verfahren durch einen geringen Energieverbrauch und der erfindungsgemäße Lackdraht somit durch eine hohe Nachhaltigkeit aus.

[0021] Nachfolgend wird die Erfindung anhand einer lediglich ein Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung erläutert. Es zeigen schematisch:

Fig. 1 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Lackdraht und

Fig. 2 eine vereinfachte, schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Lackdrahts.

[0022] In Fig. 1 ist ein Lackdraht 1 dargestellt, der einen Wickeldraht 2 enthält, welcher Wickeldraht 2 in dem Ausführungsbeispiel aus Kupfer gefertigt ist. Vorzugsweise und gemäß dem Ausführungsbeispiels hat der Wickeldraht einen Durchmesser von 200 μm. Der Wickeldraht 2 bildet eine Seele des Lackdrahts 1. Der Wickeldraht 2 ist gemäß dem Ausführungsbeispiel vollständig mit einem Elektroisolierlack 3 beschichtet, welcher Elektroisolierlack eine Matrix aus einem Lackpolymer 4 und einen Nanofüllstoff in Form einer Vielzahl von Plättchen 5 enthält. Die Plättchen 5 bilden gemäß dem Ausführungsbeispiel und Fig. 1 einen Mantel aus, welcher Mantel aus drei Plättchenmänteln 8a, 8b, 8c gebildet ist und den Wickeldraht 2 vollständig umgibt. In Fig. 1 ist dargestellt, dass die Plättchen 5 des Nanofüllstoffs in eine von dem Lackpolymer 4 gebildete Matrix eingebettet sind. Weiterhin ist in der Fig. 1 erkennbar, dass die Plättchen in den Plättchenmänteln 8a, 8b, 8c überlappungsfrei um die Seele des Lackdrahts 1 bzw. um den Wickeldraht 2 angeordnet sind. Die Plättchen 5 in den Plättchenmänteln 8a, 8b, 8c sind derart um den Wickeldraht 2 angeordnet, dass sich benachbart zueinander angeordnete Plättchen 5a, 5b nicht gegenseitig überlappen.

[0023] In Fig. 2 ist schematisch das Aufbringen des Elektroisolierlacks 3 auf den Wickeldraht 2 dargestellt. Der Wickeldraht 2 wird durch ein Reservoir 6 geführt, in welchem Reservoir 6 das Lackpolymer 4 vorrätig gehalten wird. In das Lackpolymer 4 sind die Plättchen 5 des Nanofüllstoffs homogen dispergiert. Durch das Fördern des Wickeldrahts 2 durch das Reservoir 6 wird der Wickeldraht 2 mit dem die Plättchen 5 enthaltenen Lackpolymer 4 beschichtet. Die Förderung des Wickeldrahts 2 durch eine Lackierdüse 7 erfolgt derart, dass die dabei auftretenden Strömungen und Scherkräfte eine Ausrichtung der Plättchen 5 entlang des Wickeldrahts 2 bewirken, so dass die Plättchen 5 ziegelsteinstrukturartig um den Wickeldraht 2 angeordnet werden. Auf diese Weise wird der den Wickeldraht 2 vollständig umgebende, von den Plättchenmänteln 8a, 8b, 8c gebildete Mantel erhalten. In Fig. 2 ist nicht dargestellt, dass der Wickeldraht 2 vor der Bildung des Elektroisolierlacks 3 auf dem Wickeldraht 2 gereinigt wird und nach dem Auftrag des Lackpolymers 4 mit den darin enthaltenen Plättchen 5 erwärmt wird.

Patentansprüche

1. Lackdraht, insbesondere Kupferlackdraht oder Aluminiumlackdraht, wobei eine Oberfläche eines eine Seele des Lackdrahts (1) bildenden Wickeldrahts (2) vollständig bzw. im Wesentlichen vollständig mit einem Elektroisolierlack (3) aus zumindest einem Lackpolymer (4) beschichtet ist, wobei der Elektroisolierlack (3) zumindest einen Nanofüllstoff enthält, wobei der Nanofüllstoff von einer Vielzahl von Plättchen (5) gebildet ist, wobei ein von dem Nanofüllstoff gebildeter Plättchenmantel (8a, 8b, 8c) den Wickeldraht (2) vollständig bzw. im Wesentlichen vollständig umgibt.

2. Lackdraht nach Anspruch 1, wobei die Plättchen (5) vorzugsweise überlappungsfrei bzw. im Wesentlichen überlappungsfrei entlang einer Längsachse des Wickeldrahts (2) in dem Plättchenmantel (8a, 8b, 8c) angeordnet sind und/oder wobei die Plättchen (5) vorzugsweise überlappungsfrei bzw. im Wesentlichen überlappungsfrei den Wickeldraht umlaufend in dem Plättchenmantel (8a, 8b, 8c) angeordnet sind.

3. Lackdraht nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei ein Aspektverhältnis des Nanofüllstoffs bzw. der Plättchen (5) größer als 100 ist.

4. Lackdraht nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Plättchen (5) eine Dicke von bis zu maximal 20 nm aufweisen.

5. Lackdraht nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Plättchen (5) eine laterale Ausdehnung von zumindest 100 nm aufweisen.

6. Lackdraht nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Nanofüllstoff ein Schichtsilikat ist.

7. Lackdraht nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Elektroisolierlack (3) bis zu 10 Vol.-% des Nanofüllstoffs enthält.

8. Lackdraht nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Verhältnis des Durchmessers des Wickeldrahts zum Quadrat der Dicke des Elektroisolierlacks (3) größer oder gleich 1 μm^{-1} ist.

9. Lackdraht nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Elektroisolierlack (3) von zumindest zwei, vorteilhafterweise identischen bzw. im Wesentlichen identischen Elektroisolierlackschichten gebildet ist.

10. Verfahren zur Herstellung eines Lackdrahts, insbesondere eines Lackdrahts nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei ein eine Vielzahl von Plättchen (5) aufweisender Nanofüllstoff in einem Lackpolymer (4) und/oder Lackpolymervorläufer dispergiert wird, wobei ein Wickeldraht (2) mit einer Beschichtung aus dem Lackpolymer (4) mit dem darin dispergierten Nanofüllstoff und/oder aus dem Lackpolymervorläufer mit dem darin dispergierten Nanofüllstoff beschichtet wird, wobei der mit der Beschichtung beschichtete Wickeldraht (2) durch eine Lackierdüse (7) geführt wird, so dass die Plättchen (5) des Nanofüllstoffs einen den Wickeldraht (5) umgebenden Plättchenmantel bilden, wobei die Beschichtung auf dem Wickeldraht (2) zur Ausbildung eines Elektroisolierlacks (3) vorzugsweise durch Erwärmen ausgehärtet wird.

Claims

1. An enameled wire, particularly an enameled copper wire or enameled aluminum wire, wherein a surface of a winding wire (2) forming a core of the enameled wire (1) is completely or in essence completely coated with an electrically insulating varnish (3) consisting of at least one varnish resin (4), wherein the electrically insulating varnish (3) contains at least one nanofiller, wherein the nanofiller is composed of a plurality of platelets (5), and wherein a platelet jacket (8a, 8b, 8c) formed by the nanofiller completely or in essence completely encloses the winding wire (2).

2. The enameled wire according to claim 1, wherein the platelets (5) are preferably arranged in the platelet jacket (8a, 8b, 8c) along a longitudinal axis of the winding wire (2) in a non-overlapping or in essence non-overlapping fashion and/or wherein the platelets (5) are preferably arranged in the platelet jacket (8a, 8b, 8c) around the winding wire in a non-overlapping or in essence non-overlapping fashion.

3. The enameled wire according to claim 1 or 2, wherein an aspect ratio of the nanofiller or the platelets (5) is greater than 100.

4. The enameled wire according to one of claims 1-3, wherein the platelets (5) have a thickness of no more than 20 nm.

5. The enameled wire according to one of claims 1-4, wherein the platelets (5) have a lateral dimension of at least 100 nm.

6. The enameled wire according to one of claims 1-5, wherein the nanofiller is a phyllosilicate.

7. The enameled wire according to one of claims 1-6, wherein the electrically insulating varnish (3) contains as much as 10 vol.% of the nanofiller.

8. The enameled wire according to one of claims 1-7, wherein the ratio of the diameter of the winding wire to the square of the thickness of the electrically insulating varnish (3) is greater than or equal to 1 μm^{-1}.

9. The enameled wire according to one of claims 1-8, wherein the electrically insulating varnish (3) is composed of at least two layers of electrically insulating varnish that are preferably identical or in essence identical.

10. A method for manufacturing an enameled wire, particularly an enameled wire according to one of claims 1-9, wherein a nanofiller featuring a plurality of platelets (5) is dispersed in a varnish resin (4) and/or a varnish resin precursor, wherein a winding wire (2) is provided with a coating of the varnish resin (4) with the nanofiller dispersed therein and/or a coating of the varnish resin precursor with the nanofiller dispersed therein, wherein the winding wire (2) provided with the coating is guided through a varnishing nozzle (7) such that the platelets (5) of the nanofiller form a platelet jacket enclosing the winding wire (5), and wherein the coating on the winding wire (2) is hardened, preferably by means of heating, in order to form an electrically insulating varnish (3).

Revendications

1. Fil émaillé, en particulier fil émaillé en cuivre ou fil émaillé en aluminium, une surface d'un fil torsadé (2) formant une âme de fil émaillé (1) étant revêtue complètement ou pour l'essentiel complètement d'un émaillé électro-isolant (3) composé au moins d'un polymère émaillé (4), l'émail électro-isolant (3) contenant au moins une nanomasse de remplissage, la nanomasse de remplissage étant formée d'une pluralité de plaquettes (5), une gaine en pla-

quettes (8a, 8b, 8c) formée par la nanomasse de remplissage entourant complètement ou pour l'essentiel complètement le fil torsadé (2).

2. Fil émaillé selon la revendication 1, les plaquettes (5) étant disposées dans la gaine en plaquettes (8a, 8b, 8c) de préférence sans chevauchement ou pour l'essentiel sans chevauchement le long d'un axe longitudinal du fil torsadé (2) et/ou les plaquettes (5) étant disposées de préférence sans chevauchement ou pour l'essentiel sans chevauchement entourant le fil torsadé dans la gaine en plaquettes (8a, 8b, 8c).

3. Fil émaillé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, un rapport d'aspect de la nanomasse de remplissage ou des plaquettes (5) étant supérieur à 100.

4. Fil émaillé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, les plaquettes (5) comportant une épaisseur jusqu'à un maximum de 20 nm.

5. Fil émaillé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, les plaquettes (5) comportant une expansion latérale jusqu'à au moins 100 nm.

6. Fil émaillé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, la nanomasse de remplissage étant un silicate stratifié.

7. Fil émaillé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, l'émail électro-isolant (3) contenant jusqu'à 10 % vol. de la nanomasse de remplissage.

8. Fil émaillé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, le rapport entre le diamètre du fil torsadé et le carré de l'épaisseur de l'émail électro-isolant (3) étant supérieur ou égal à $1 \mu m^{-1}$.

9. Fil émaillé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, l'émail électro-isolant (3) étant formé d'au moins deux couches d'émail électro-isolant, avantageusement identiques pour l'essentiel identiques.

10. Procédé de fabrication d'un fil émaillé, en particulier d'un fil émaillé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, une nanomasse de remplissage comportant une pluralité de plaquettes (5) étant dispersée dans un polymère émaillé (4) et/ou un précurseur de polymère émaillé, un fil torsadé (2) étant revêtu d'un revêtement de polymère émaillé (4) avec la nanomasse de remplissage dispersée dedans et/ou de précurseur de polymère émaillé avec la nanomasse de remplissage dispersée dedans, le fil torsadé (2) revêtu du revêtement étant guidé par une buse d'émaillage (7) de manière que les plaquettes (5) de nanomasse de remplissage forment une gaine en plaquettes entourant le fil torsadé (5), le revêtement étant durci sur le fil torsadé (2) pour former un émail électro-isolant (3) de préférence par réchauffement.

Fig.1

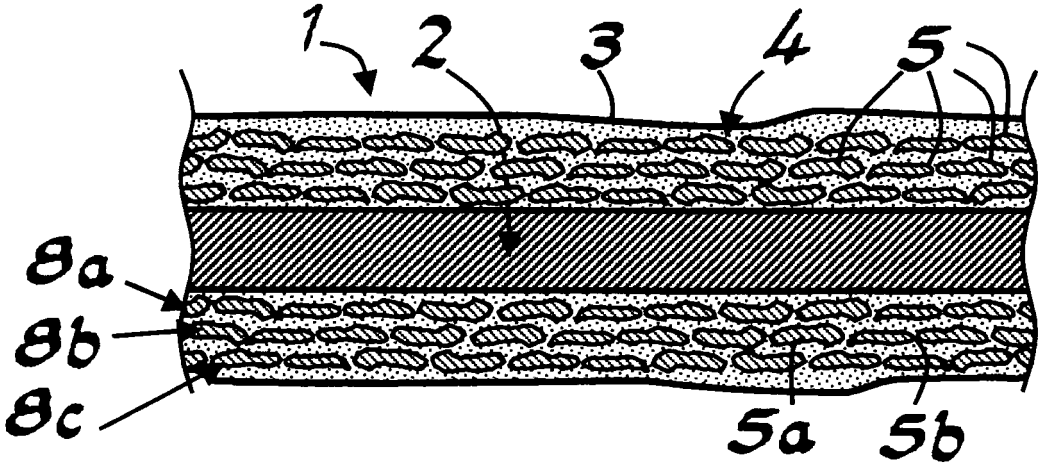


Fig.2

