

(19)



Europäisches  
Patentamt  
European  
Patent Office  
Office européen  
des brevets



(11)

EP 3 226 258 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
04.10.2017 Patentblatt 2017/40

(51) Int Cl.:

H01B 13/00 (2006.01)

H01B 13/14 (2006.01)

H01B 3/30 (2006.01)

H01B 3/42 (2006.01)

H01B 7/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 16163536.2

(22) Anmeldetag: 01.04.2016

(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

Benannte Erstreckungsstaaten:

BA ME

Benannte Validierungsstaaten:

MA MD

(71) Anmelder: Gebauer & Griller Metallwerk GmbH  
1190 Wien (AT)

- Schravyogel, Rudolf  
3243 St. Leonhard am Forst (AT)
- Koppensteiner, Ewald  
4900 St. Florian (AT)

(74) Vertreter: KLIMENT & HENHAPEL  
Patentanwälte OG  
Singerstrasse 8/3/9  
1010 Wien (AT)

### Bemerkungen:

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2)  
EPÜ.

(72) Erfinder:

- Hochstöger, Jürgen  
4300 St. Valentin (AT)

### (54) ISOLIERTER ELEKTRISCHER LEITER

(57) Um die Haftung einer Beschichtung (2) an einem elektrischen Leiter (1), vorzugsweise aus Kupfer oder Aluminium, zu erhöhen, wird erfindungsgemäß ein isolierter elektrischer Leiter umfassend einen elektrischen Leiter (1), vorzugsweise aus Kupfer oder Aluminium, mit einer isolierenden Beschichtung (2) vorgeschlagen, wobei die Beschichtung (2) zumindest eine, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht (3) aus thermoplastischem Kunststoff umfasst, erhältlich durch ein Verfahren, in dem der Leiter (1) unter einer Schutzgasatmosphäre in einem Gas-Plasma mit Ionen des Schutzgases beschossen wird, um eine auf einer Oberfläche des Leiters (1) ausgebildete Oxidschicht zu entfernen und/oder die Oberflächenenergie des Leiters (1) zu erhöhen, und nachfolgend die Beschichtung (2) auf die Oberfläche des Leiters (1) aufgebracht wird, wobei zumindest ein Teil der Beschichtung (3) unter Schutzgasatmosphäre auf den Leiter (1) aufgebracht wird

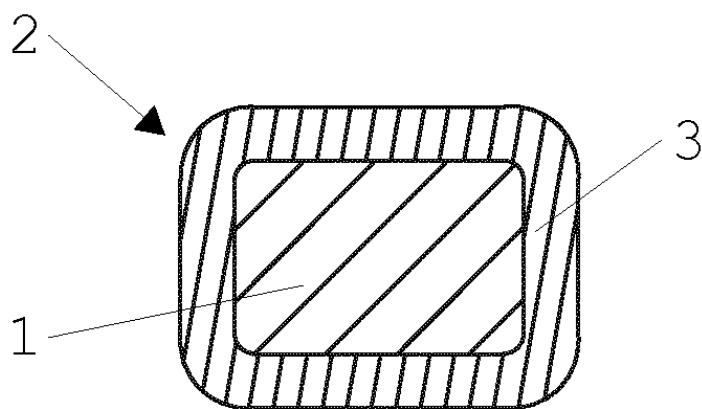


Fig. 2a

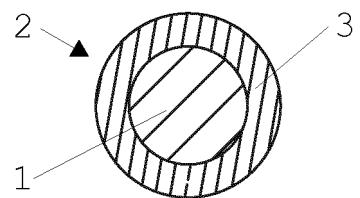


Fig. 3a

## Beschreibung

### GEBIET DER ERFINDUNG

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen isolierten elektrischen Leiter umfassend einen elektrischen Leiter, vorzugsweise aus Kupfer oder Aluminium, mit einer isolierenden Beschichtung, wobei die Beschichtung zumindest eine äußere Isolationsschicht aus thermoplastischem Kunststoff umfasst, sowie auf ein Verfahren zur Herstellung eines solchen isolierten elektrischen Leiters.

### STAND DER TECHNIK

**[0002]** Isolierte elektrische Leiter werden in nahezu jedem elektrischen Gerät verbaut, um elektrischen Strom zu leiten ohne dabei Kurzschlüsse zu verursachen, die durch den Kontakt von nicht elektrisch isolierten Leitern verursacht werden können. Derartige isolierte elektrische Leiter umfassen einen elektrischen Leiter aus Kupfer und eine den Leiter elektrisch isolierenden Beschichtung, die üblicher Weise eine oder mehrere Schichten aufweist. Um die Isolierung des Leiters sicherzustellen umfasst die Beschichtung eine Isolationsschicht aus thermoplastischem Kunststoff, die in der Regel die äußerste Schicht der Beschichtung darstellt.

**[0003]** Während es in vielen Anwendungsgebieten vorteilhaft ist, wenn die Haftung der isolierenden Beschichtung am elektrischen Leiter schwach ausgebildet ist, um ein leichtes Abisolieren des elektrischen Leiters zu ermöglichen, ist es in anderen Anwendungsgebieten erwünscht, eine möglichst große Haftung sicherzustellen. Solche Anwendungsgebiete finden sich beispielsweise im Elektromaschinenbau und insbesondere bei Elektromotoren oder Transformatoren, wo die isolierten elektrischen Leiter auch einer erhöhten Temperatur ausgesetzt sind. Die Verarbeitbarkeit der isolierten elektrischen Leiter erfordert dabei oftmals eine erhöhte Haftung der Beschichtung am Leiter, teilweise auch bei hohen Betriebstemperaturen.

**[0004]** Um die Haftung zu überprüfen wird üblicher Weise ein Rundumschnitt am Leiter senkrecht zu einer Leiterachse durchgeführt, der Leiter um 20% gedehnt und danach die Ablösung der Beschichtung vom Leiter gemessen. Desto geringer die Ablösung der Beschichtung vom Leiter ist, desto besser ist die Haftung.

**[0005]** In herkömmlichen isolierten elektrischen Leiter die ein Beschichtung mit einer, vorzugsweise hochtemperaturbeständigen äußeren, Isolationsschicht aufweisen, ist die Haftung zwischen dem Kupfer und der Beschichtung, insbesondere der äußeren Isolationsschicht, eher gering, da die Haftung eines Kunststoffs am Leiter aufgrund der Oberflächeneigenschaften gering ist.

### AUFGABE DER ERFINDUNG

**[0006]** Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung einen isolierten elektrischen Leiter vorzuschlagen, welcher die

Nachteile des Stands der Technik überwindet und eine gute Haftung zwischen der isolierenden Beschichtung und dem elektrischen Leiter gewährleistet.

### 5 DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0007]** Der elektrische Leiter gattungsgemäßer isolierter elektrischer Leiter besteht aus Kupfer oder einer Legierung mit einem hohen Kupferanteil oder Aluminium oder sonstigen elektrisch leitfähigen Materialien. Die Querschnittsgeometrie des Leiters, welche normal auf eine Leiterachse steht, kann dabei eine beliebige geometrische Form aufweisen: quadratisch, rechteckig, kreisrund oder elliptisch, wobei es üblich ist etwaige Kanten abzurunden, bzw. profiliert. Die Isolation des Leiters wird durch die vorgesehene Isolationsschicht aus thermoplastischem Kunststoff sichergestellt, wobei die Isolationsschicht vorteilhafter Weise die äußerste Schicht der Beschichtung ausbildet. Es ist aber auch denkbar, dass auf der Isolationsschicht eine oder mehrere weitere Schichten aufgetragen sind.

**[0008]** Durch den Kontakt mit Sauerstoff, der unausweichlich ist sofern der Leiter der Atmosphäre ausgesetzt ist, bildet sich eine Oxidschicht aus Kupferoxid oder Aluminiumoxid an der Oberfläche des Leiters aus. Umfassende Versuchsreihen haben gezeigt, dass sich die Oxidschicht negativ auf die Haftungseigenschaften einer auf die Oberfläche des Leiters aufgebrachten Schicht der Beschichtung auswirkt.

**[0009]** Wenn jedoch die Oxidschicht entfernt wird, verbessert sich die Haftung der auf der von der Oxidschicht befreiten Oberfläche des Leiters aufgebrachten Schicht der Beschichtung maßgeblich. Es hat sich gezeigt, dass die Oxidschicht durch eine Plasmabehandlung unter einer -sauerstofffreien - Schutzgasatmosphäre vollständig entfernt werden kann, wobei auch sonstige Verunreinigungen durch die Plasmabehandlung entfernt werden können. Es ist sogar möglich, dass durch die Plasmabehandlung die obersten Atomschichten des Leiters abgetragen werden.

**[0010]** Bei der Plasmabehandlung wird ein Gas-Plasma in der Schutzgasatmosphäre erzeugt und der Leiter im Plasma mit Ionen des Schutzgases beschossen, um zumindest die Oxidschicht durch den Ionenbeschuss abzutragen. Als Schutzgas bzw. Prozessgas eignen sich beispielsweise Stickstoff, Argon oder Wasserstoff. Die Plasmabehandlung hat neben der Entfernung der Oxidschicht noch weitere positive Effekte auf den Leiter: einerseits wird der Leiter durch die Aufprallenergie der Ionen auf der Oberfläche erhitzt und kann während der Plasmabehandlung weichgeglüht werden, um das Gefüge des Leiters zu rekristallisieren andererseits kann durch den Ionenbeschuss die Oberflächenenergie des Leiters erhöht werden, was die Haftung der Beschichtung an der Oberfläche des Leiters zusätzlich verbessert. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einer Aktivierung der Oberfläche des Leiters. Ein weiterer Effekt der Plasmabehandlung ist die Erhöhung der Mikrorauig-

keit der Oberfläche des Leiters, welches sich ebenfalls positiv auf die Haftung der Beschichtung auswirkt. Um die erneute Ausbildung einer Oxidschicht an der Oberfläche des Leiters zu verhindern, wird zumindest ein Teil der Beschichtung unter Schutzgasatmosphäre, vorzugsweise unter derselben Schutzgasatmosphäre unter der die Plasmabehandlung durchgeführt wird, auf die Oberfläche des Leiters aufgebracht wird.

**[0011]** Um die eingangs gestellte Aufgabe zu lösen, ist daher in einem erfindungsgemäßen isolierten elektrischen Leiter vorgesehen, dass der isolierte elektrische Leiter einen elektrischen Leiter, vorzugsweise aus Kupfer oder Aluminium, mit einer isolierenden Beschichtung umfasst, wobei die Beschichtung zumindest eine, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht aus thermoplastischem Kunststoff umfasst, und der isolierte elektrische Leiter durch ein Verfahren erhältlich ist, in dem der Leiter unter einer Schutzgasatmosphäre in einem Gas-Plasma mit Ionen des Schutzgases beschossen wird, um eine auf einer Oberfläche des Leiters ausgebildete Oxidschicht zu entfernen und/oder die Oberflächenenergie des Leiters zu erhöhen, und nachfolgend die Beschichtung auf die Oberfläche des Leiters aufgebracht wird, wobei zumindest ein Teil der Beschichtung unter Schutzgasatmosphäre auf den Leiter aufgebracht wird.

**[0012]** Ein erfindungsgemäßer isolierter elektrischer Leiter weist durch die unmittelbare Aufbringung einer Schicht der Beschichtung auf die plasmabehandelte, oxidfreie Oberfläche des Leiters besonders gute Haftungseigenschaften auf: Wird ein Rundumschnitt am Leiter senkrecht zu einer Leiterachse durchgeführt und der Leiter um 20% gedehnt so beträgt die Ablösung der Beschichtung vom Leiter in Richtung der Leiterachse gemessen lediglich maximal 3 mm, vorzugsweise maximal 2 mm, insbesondere maximal 1 mm.

**[0013]** Die Beschichtung kann dabei beispielsweise nur aus der äußeren Isolationsschicht bestehen oder aber eine oder mehrere Zwischenschichten aufweisen, die zwischen der Oberfläche des Leiters und der äußeren Isolationsschicht angeordnet sind. In beiden Fällen ist es auch denkbar, dass die Isolationsschicht nicht die äußerste Schicht bildet.

**[0014]** Eine Ausführungsvariante der Erfindung sieht vor, dass der Leiter bis zum Aufbringen der Beschichtung durchgehend unter Schutzgasatmosphäre angeordnet ist, um die Ausbildung einer neuen Oxidschicht auf der Oberfläche des Leiters zu verhindern. Es können auch mehrere Schutzgasatmosphären hintereinander durchlaufen werden, solange der plasmabehandelte Leiter ununterbrochen unter einer der Schutzgasatmosphären angeordnet ist.

**[0015]** In einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, dass es sich bei dem Gas-Plasma zum Beschießen des Leiters um ein Niederdruckplasma, vorzugsweise mit einem Druck unter 80 mbar, handelt, welches sich in an sich bekannter Weise herstellen lässt. Beispielsweise sind Drücke unter 50 mbar oder sogar unter 20 mbar denkbar.

**[0016]** Um den Einsatz des isolierten elektrischen Leiters in einer Umgebung mit erhöhter Temperatur, beispielsweise in Elektromaschinen mit erhöhter Betriebstemperatur, zu ermöglichen, ist in einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen, dass die Beschichtung, insbesondere die Isolationsschicht, eine Temperaturbeständigkeit von zumindest 180°C, vorzugsweise von zumindest 200°C, insbesondere von zumindest 220°C, aufweist.

**[0017]** Besonders gute Eigenschaften hinsichtlich der Temperaturbeständigkeit und der Beständigkeit gegen eine Vielzahl an organischen und chemischen Lösungsmittel, insbesondere auch gegen Hydrolyse, werden in einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung dadurch erreicht, dass die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht Polyetheretherketon [PEEK] oder Polyphenylensulfid [PPS] umfasst und vorzugsweise eine Dicke zwischen 10 und bis 1000 µm, vorzugsweise zwischen 25 µm und 750 µm, besonders bevorzugt zwischen 30 µm und 500 µm, insbesondere zwischen 50 µm und 250 µm, aufweist. Es versteht sich von selbst, dass auch andere Schichtdicken denkbar sind, beispielsweise 40 µm, 60 µm, 80 µm, 100 µm oder 200 µm, um einige Möglichkeiten zu nennen. Besonders bevorzugt ist des dabei, wenn die Isolationsschicht aus Polyetheretherketon [PEEK] oder Polyphenylensulfid [PPS] besteht.

**[0018]** Die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht lässt sich kostengünstig und schnell herstellen, wenn sie durch ein Extrusionsverfahren aufgebracht wird also aufextrudiert ist. Daher ist in einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen, dass die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht mittels eines Extrusions-Verfahrens herstellbar ist.

**[0019]** Eine besonders einfache und kostengünstige Herstellung eines erfindungsgemäßen isolierten elektrischen Leiters ist dann möglich, wenn die Beschichtung aus der äußeren Isolationsschicht besteht und die Haftung der äußeren Isolationsschicht an der Oberfläche des Leiters durch die Plasmabehandlung bereits so gut ist, dass keine Zwischenschichten notwendig sind. Auch das Aufbringen weiterer Schichten auf die Isolationsschicht ist denkbar. Eine besonders bevorzugte Ausführungsvariante der Erfindung sieht daher vor, dass die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht unmittelbar auf die Oberfläche des Leiters aufgebracht ist.

**[0020]** In einer ersten alternativen Ausführungsvariante der Erfindung ist zur Verbesserung der Haftung der Beschichtung an der Oberfläche des Leiters vorgesehen, dass die Beschichtung eine unmittelbar auf die Oberfläche des Leiters aufgebrachte Plasmapolymer-Schicht aus vernetzten Makromolekülen uneinheitlicher Kettenlänge aufweist, welche Plasmapolymer-Schicht durch Polymerisation eines gasförmigen Monomers in einem Gas-Plasma, vorzugsweise im Gas-Plasma zum Beschießen des Leiters, herstellbar ist. Die Plasmapolymer-Schicht dient als Zwischenschicht und haftet einerseits ausgezeichnet an der Oberfläche des Leiters und ermöglicht andererseits eine erhöhte Haftung der auf die

Plasmapolymer-Schicht aufgetragenen Schicht der Beschichtung.

**[0021]** Eine weitere Ausführungsvariante der ersten alternativen Ausführungsvariante sieht vor, dass die Plasmapolymer-Schicht eine Dicke von 1  $\mu\text{m}$  oder weniger aufweist. Denkbar sind dabei Dicken bis zu einem Hundertstel eines Mikrometers als Untergrenze. Durch die geringe Schichtdicke wirkt sich die Plasmapolymer-Schicht nur unwesentlich auf die gesamte Dicke des isolierten elektrischen Leiters aus.

**[0022]** Gemäß einer weiteren Ausführungsvariante der ersten alternativen Ausführungsvariante handelt es sich bei dem Monomer zur Herstellung der Plasmapolymer-Schicht um Ethylen, Butenol, Aceton oder Tetrafluormethan [CF<sub>4</sub>]. Die durch diese Monomere im Plasma gebildeten Plasmapolymer-Schichten zeichnen sich durch besonders gute Haftungseigenschaften aus. Insbesondere wenn die Plasmapolymer-Schicht ähnliche Eigenschaften wie Polytetrafluorethylen [PTFE] oder Perfluorethylenpropylen [FEP] aufweisen soll, bietet sich CF<sub>4</sub> als Monomer an.

**[0023]** In einer zweiten alternativen Ausführungsvariante ist vorgesehen, dass die Beschichtung zumindest eine unmittelbar auf die Oberfläche des Leiters aufgebrachte, vorzugsweise Polytetrafluorethylen [PTFE] oder Perfluorethylenpropylen [FEP] umfassende, Fluoropolymer-Schicht aufweist. Auch die Fluoropolymer-Schicht zeichnet sich durch hervorragende Haftungseigenschaften, sowohl am Leiter als auch an der auf der Fluoropolymer-Schicht aufgetragenen Schicht, aus und dient als Zwischenschicht der Beschichtung. Es ist auch denkbar, dass mehrere Fluoropolymer-Schichten übereinander auf den Leiter aufgebracht werden. Besonders vorteilhafte Haftungseigenschaften werden dadurch erreicht, dass die die Dicke der zumindest einen Fluoropolymer-Schicht zwischen 1  $\mu\text{m}$  und 120  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise zwischen 5  $\mu\text{m}$  und 100  $\mu\text{m}$ , besonders bevorzugt zwischen 10  $\mu\text{m}$  und 80  $\mu\text{m}$ , insbesondere zwischen 20  $\mu\text{m}$  und 50  $\mu\text{m}$ , beträgt.

**[0024]** In einer dritten alternativen Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, dass die Beschichtung eine unmittelbar auf die Oberfläche des Leiters aufgebrachte Metallschicht, vorzugsweise aus einer Zink- oder Zinnlegierung, aufweist. Dabei wird der Leiter durch ein Bad aus geschmolzenem Metall geführt, um die Metallschicht herzustellen. Auch die Metallschicht weist sehr gute Haftungseigenschaften auf und fungiert als tragende Zwischenschicht.

**[0025]** Um die Anzahl an unterschiedlichen Schichten in der Beschichtung zu reduzieren und die damit verbundenen Herstellungskosten gering zu halten ist in einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung vorgesehen, dass die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht unmittelbar auf die Plasmapolymer-Schicht oder die zumindest eine Fluoropolymer-Schicht oder die Metallschicht aufgebracht ist. In anderen Worten besteht die Beschichtung aus zumindest zwei Schichten: die erste untere, auf dem Leiter aufgebrachte Schicht entspre-

chend der ersten, zweiten oder dritten alternativen Ausführungsvariante und die zweite obere Schicht in Form der äußeren Isolationsschicht aus thermoplastischem Kunststoff wie PEEK oder PPS. Die äußerste Schicht der Beschichtung kann dabei entweder durch die äußere Isolationsschicht selbst ausgebildet sein oder aber durch eine oder mehrere weitere Schichten.

**[0026]** Die Erfindung betrifft auch einen isolierten elektrischen Leiter umfassend einen elektrischen Leiter, vorzugsweise aus Kupfer oder Aluminium, mit einer isolierenden Beschichtung, wobei die Beschichtung zumindest eine, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht aus thermoplastischem Kunststoff, vorzugsweise aus PEEK oder PPS, umfasst. Die Aufgabe wird dabei dadurch gelöst, dass eine auf einer Oberfläche des Leiters ausgebildete Oxidschicht entfernt ist, sodass zumindest eine Schicht der Beschichtung, vorzugsweise die äußere Isolationsschicht, unmittelbar auf der oxidschichtfreien Oberfläche des Leiters aufgebracht ist. Die zuvor beschriebenen Effekte der erhöhten Haftung der Beschichtung am Leiter treten auch in diesem erfindungsgemäßen isolierten elektrischen Leiter auf. Die Entfernung der Oxidschicht kann sowohl mittels einer Plasmabehandlung erfolgen oder aber mit chemischen Mitteln, etwa durch Säuren, entfernt werden. Die zuvor beschriebenen synergistischen Effekte treten jedoch nur bei einer Plasmabehandlung auf.

**[0027]** Die Erfindung betrifft des weiteren ein Verfahren zur Herstellung eines isolierten elektrischen Leiters, welches folgende Verfahrensschritte aufweist:

- Beschießen eines unter einer Schutzgasatmosphäre angeordneten elektrischen Leiters, vorzugsweise aus Kupfer oder Aluminium, mit Ionen des Schutzgases in einem Gas-Plasma, vorzugsweise einem Niederdruckplasma, um eine auf der Oberfläche des Leiters ausgebildete Oxidschicht zu entfernen und/oder die Oberflächenenergie des Leiters zu erhöhen;
- Aufbringen einer isolierenden Beschichtung auf die Oberfläche des elektrischen Leiters unter Schutzgasatmosphäre, wobei der Leiter bis dahin vorzugsweise durchgehend unter Schutzgasatmosphäre angeordnet ist, wobei die Beschichtung eine, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht aus thermoplastischem Kunststoff, vorzugsweise aus PEEK oder PPS, umfasst.

**[0028]** Der elektrische Leiter aus Kupfer wird in Form eines Bandes oder eines Drahts dem Verfahren unterzogen. Dabei wird der elektrische Leiter entweder "inline", also direkt anschließend an die Herstellung des elektrischen Leiters (etwa durch Kaltumformung oder Extrusion), entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelt oder aber der Leiter wird in aufgewickelter Form über einen Spulenablauf zur Verfügung gestellt. In der Regel wird der Leiter vor der Plasmabehandlung noch einer mechanischen und/oder chemischen Vorrei-

nigung unterzogen. Die Plasmabehandlung wird analog zu den vorhergegangen Ausführungen durchgeführt, wobei der Leiter kontinuierlich durch die die Plasmabehandlung durchführende Plasmabehandlungs-Einheit gefördert wird. Durch die geeignete Wahl der Prozessparameter lässt sich die Dicke der durch die Plasmabehandlung vom Leiter angetragene Schicht genau einstellen. Zusätzlich dazu lässt sich auch die Temperatur für das Weichglühen und die damit verbundene Rekristallisation des Gefüges des Leiters definieren.

**[0029]** Nach der Plasmabehandlung, also dem Abtragen der Oxidschicht und jedweden Verunreinigungen von der Oberfläche des Leiters, wobei auch dünne Schichten der Oberfläche des Leiters selbst (kleiner als 1 µm, vorzugsweise kleiner 0,1 µm) abgetragen werden können, durch Beschuss mit Ionen im Gas-Plasma bzw. der Aktivierung der Oberfläche des Leiters, wird die Beschichtung auf die behandelte Oberfläche des Leiters aufgebracht. Die Beschichtung haftet aufgrund der Entfernung der Oxidschicht bzw. durch die Aktivierung der Oberfläche durch Erhöhung der Oberflächenenergie des Leiters besonders gut auf der Oberfläche des Leiters. Um die Ausbildung einer neuen Oxidschicht auf der Oberfläche des Leiters zu verhindern, welche den erfindungsgemäßen Effekt unterbinden oder zumindest entscheidend abschwächen würde, wird die Beschichtung unter Schutzgasatmosphäre aufgebracht. Insbesondere von Vorteil ist es dabei, wenn der elektrische Leiter bis zum Aufbringen der Beschichtung durchgehend unter Schutzgasatmosphäre angeordnet ist.

**[0030]** Eine Ausführungsvariante des Verfahrens sieht vor, dass die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht aufextrudiert wird, wobei der elektrische Leiter vorzugsweise vor der Extrusion, besonders bevorzugt auf zumindest 200°C, vorgewärmt, wird. Die Extrusion stellt ein kostengünstiges Verfahren zum Aufbringen der Isolationsschicht dar und eignet sich insbesondere auch für PEEK und PPS. Die Isolationsschicht lässt sich somit auch in einfacher Art und Weise als äußerste Schicht der Beschichtung aufbringen. Durch die Vorrwärmung des Leiters, die vor allem vorteilhaft ist, wenn die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht direkt auf die Oberfläche des Leiters aufgebracht wird, wird eine ruckartige Abkühlung des extrudierten Kunststoffs bei Kontakt mit dem Leiter reduziert und damit negative Einflüsse auf die Haftung minimiert. Besonders bevorzugt wird der Leiter auf zumindest 200°C, insbesondere auf über 300°C oder über 400°C, vorgewärmt, insbesondere wenn PEEK auf den Leiter aufextrudiert wird.

**[0031]** In einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, dass der isolierte elektrische Leiter nach dem Aufextrudieren der, vorzugsweise äußeren, Isolationsschicht in Abhängigkeit der zu erreichenden Festigkeit der, vorzugsweise äußeren, Isolationsschicht abgekühlt wird. Die Einstellung der mechanischen Eigenschaften der Isolationsschicht, insbesondere der mechanischen Festigkeit, erfolgt unter anderem durch die definierte Abkühlung des isolierten Leiters und die da-

durch bedingte Einstellung des Kristallisationsgrades und ist besonders wichtig, wenn es sich bei der Isolationsschicht um die äußerste Schicht der Beschichtung handelt. Wird der Leiter beispielsweise langsam abgekühlt, etwa durch Abkühlen an der Luft, ergibt sich eine hohe Kristallinität der Isolationsschicht. Denkbar ist auch ein Abschrecken in einem Wasserbad, also eine abrupte Abkühlung, oder eine Kombination aus abrupter und langsamer Abkühlung.

**[0032]** Um die Haftung der Beschichtung am Leiter weiter zu verbessern, insbesondere wenn die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht direkt auf die Oberfläche des Leiters aufgebracht wird, ist in einer bevorzugten Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass der isolierte elektrische Leiter nach dem Aufextrudieren der, vorzugsweise äußeren, Isolationsschicht über Rollen, vorzugsweise Anpressrollen, geführt wird. Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn die Isolationsschicht die äußerste Schicht der Beschichtung bildet. Ein enges Führen des isolierten Leiters über die Anpressrollen unter Beaufschlagung des isolierten elektrischen Leiters mit Druck führt zu einer besonders guten Haftung der Beschichtung bzw. insbesondere der äußeren Isolationsschicht auf der Oberfläche des Leiters. Dabei werden die Grenzflächen der Beschichtung zwischen den einzelnen Schichten, sofern mehrere vorhanden sind, und/oder die Grenzfläche der untersten Schicht der Beschichtung und die Oberfläche des Leiters aneinander gepresst und so die Adhäsionseffekte verstärkt.

**[0033]** Wenn die Beschichtung zumindest eine Fluoropolymer-Schicht umfasst, die vorzugsweise unmittelbar auf die Oberfläche des Leiters aufgebracht ist, lassen sich die zur Herstellung der Beschichtung benötigten Schritte dadurch reduzieren, dass die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht und die zumindest eine Fluoropolymer-Schicht mittels Ko- oder Tandemextrusion hergestellt werden. So können beide Schichten in nur einem einzigen Herstellungsschritt und mit einer Extrusions-Einheit hergestellt werden.

**[0034]** Zur Verbesserung der Haftung der Beschichtung am Leiter ist in einer weiteren Ausführungsvariante vorgesehen, dass unmittelbar auf der Oberfläche des elektrischen Leiters mittels Polymerisation eines gasförmigen Monomers in einem Gas-Plasma eine Plasmapolymer-Schicht aufgebracht wird oder dass unmittelbar auf der Oberfläche des elektrischen Leiters eine Metallschicht aufgebracht wird.

**[0035]** Da eine hohe Temperaturbeständigkeit und eine hohe Haftung der Beschichtung am elektrischen Leiter insbesondere im Elektromaschinenbau von Bedeutung ist, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass ein erfindungsgemäßer isolierter elektrischer Leiter als Wickeldraht für Elektromaschinen, vorzugsweise Elektromotoren oder Transformatoren, verwendet wird.

## KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

**[0036]** Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Die Zeichnungen sind beispielhaft und sollen den Erfindungsgedanken zwar darlegen, ihn aber keinesfalls einengen oder gar abschließend wiedergeben.

**[0037]** Dabei zeigt:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Verfahrens;
- Fig. 2a eine erste Ausführungsvariante eines isolierten elektrischen Leiters mit rechteckigem Querschnitt;
- Fig. 2b eine zweite Ausführungsvariante eines isolierten elektrischen Leiters mit rechteckigem Querschnitt;
- Fig. 2c eine dritte Ausführungsvariante eines isolierten elektrischen Leiters mit rechteckigem Querschnitt;
- Fig. 2d eine vierte Ausführungsvariante eines isolierten elektrischen Leiters mit rechteckigem Querschnitt;
- Fig. 3a-3d die erste bis vierte Ausführungsvariante mit rundem Querschnitt.

## WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

**[0038]** Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Verfahrens zur Herstellung eines isolierten elektrischen Leiters, wie er in den Figuren 2a bis 2d bzw. 3a bis 3d dargestellt ist. Der isolierte elektrische Leiter umfasst einen elektrischen Leiter 1 aus Kupfer, wobei auch andere Materialien wie etwa Aluminium denkbar sind, und eine isolierende Beschichtung 2, welche zumindest eine Isolationsschicht 3 aus thermoplastischem, vorzugsweise hochtemperaturbeständigem, Kunststoff aufweist. In den nachfolgenden Ausführungsbeispielen ist die Isolationsschicht 3 als äußere Isolationsschicht 3 ausgebildet und bildet somit die äußerste Schicht der Beschichtung 2. Es versteht sich jedoch von selbst, dass in alternativen Ausführungsvarianten auf der Isolationsschicht 3 noch eine oder mehrere weitere Schichten, vorzugsweise Isolationsschichten, aufgebracht sein können, die dann die äußerste Schicht der Beschichtung 2 ausbilden.

**[0039]** Der elektrische Leiter 1 wird im dargestellten Ausführungsbeispiel als Band oder Draht über einen Spulenablauf 7 stetig dem Verfahren zugeführt und kann etwa mittels Kaltumformungsverfahren, wie Ziehen oder Walzen, oder Extrusion, beispielsweise mittels Conform® - Technologie, hergestellt sein. Es versteht sich von selbst, dass das erfindungsgemäße Verfahren auch "in-line" durchgeführt werden kann, also direkt an den Herstellungsprozess anschließt. In einem ersten Schritt wird der elektrische Leiter 1 in einer Vorreinigungs-Einheit 8 mechanisch, etwa mittels eines Schleifverfahrens, oder chemisch, etwa mittels geeigneter Lösungsmittel

oder Säuren, vorgereinigt, um grobe Verschmutzungen vom Leiter 1 zu entfernen.

**[0040]** Im nächsten Verfahrensschritt gelangt der vorgereinigte Leiter 1 in eine Plasmabehandlungs-Einheit 9 in der eine Schutzgasatmosphäre aus Stickstoff, Argon oder Wasserstoff vorherrscht und ein Gas-Plasma in Form eines Niederdruckplasmas mit weniger als 20 mbar Druck hergestellt ist. Ein Niederdruckplasma kann jedoch auch schon bei einem Druck von weniger als 80 mbar hergestellt werden. In diesem Niederdruckplasma wird die Oberfläche des Leiters 1 mit Ionen des Schutzgases beschossen, um eine auf einer Oberfläche des Leiters 1 gebildete Oxidschicht abzutragen bzw. zu entfernen. Gleichzeitig wird der Leiter 1 durch die Plasmabehandlung weich geglüht und die Oberflächenenergie des Leiters 1 erhöht also die Oberfläche aktiviert.

**[0041]** Durch das Abtragen der Oxidschicht und jedweden Verunreinigungen von der Oberfläche des Leiters 1, wobei sogar vorgesehen sein kann, dass sehr dünne Schichten von der des Leiters 1 selbst von der Oberfläche abgetragen werden, und die Erhöhung der Oberflächenenergie kann die Haftung zwischen dem elektrischen Leiter 1 aus Kupfer und der auf dem Leiter 1 aufgebrachten Beschichtung entscheidend verbessert werden.

**[0042]** In der ersten Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen isolierten elektrischen Leiters, dargestellt in Figur 2a als Flachleiter mit rechteckigem Querschnitt und in Fig. 3a mit rundem Querschnitt, besteht die Beschichtung 2 nur aus der äußeren Isolationsschicht 3. Die äußere Isolationsschicht 3 weist dabei eine Temperaturbeständigkeit von über 180°C, vorzugsweise von über 220°C, auf, sodass der isolierte elektrische Leiter auch bei hohen Betriebstemperaturen eingesetzt werden kann. Die äußere Isolationsschicht 3 besteht dabei aus Polyetheretherketon [PEEK], welches sowohl die hohe Temperaturbeständigkeit als auch eine hohe Beständigkeit gegenüber einer großen Anzahl an organischen und anorganischen Substanzen aufweist. Alternativ dazu kann die äußere Isolationsschicht 3 auch aus Polymethacrylsulfid [PPS] bestehen oder PEEK und/oder PPS umfassen.

**[0043]** Um die erhöhte Haftung zwischen dem Leiter 1 und der äußeren Isolationsschicht 3 zu erreichen, gelangt der Leiter 1 nach dem Durchlaufen der Plasmabehandlungs-Einheit 9 in die Extrusions-Einheit 12 in der die äußere Isolationsschicht 3 auf den Leiter 1 aufextrudiert wird. Dabei wird der Leiter 1 auf eine Temperatur von zumindest 200°C, vorzugsweise zumindest 300°C, vorgeheizt. Um die erneute Ausbildung einer Oxidschicht zu verhindern, erfolgt sowohl die Extrusion als auch der Transport des Leiters 1 in die Extrusions-Einheit 12 unter Schutzgasatmosphäre. Ein derart hergestellter isolierter elektrischer Leiter kann beispielsweise als Wickeldraht, im Englischen auch als "magnet wire" geläufig, in einer Elektromaschine, wie einem Elektromotor oder einem Transformator, eingesetzt werden. Die Dicke der äußeren Isolationsschicht 3 beträgt im vorliegenden Ausführungsbeispiel etwa 30 µm.

**[0044]** Um die Haftung zwischen der Beschichtung 2 und dem Leiter 1 weiter zu erhöhen, umfasst die Beschichtung 2 in den Figuren 2b und 3b dargestellten zweiten Ausführungsvariante neben der äußeren Isolationsschicht 3 aus PEEK oder PPS eine Zwischenschicht in Form einer Plasmapolymer-Schicht 4. Diese Plasmapolymer-Schicht 4 wird im erfindungsgemäßen Verfahren in einer Plasmapolymerisations-Einheit 10 hergestellt, die nach der Plasmabehandlungs-Einheit 9 und vor der Extrusions-Einheit 12 angeordnet ist. Es ist auch denkbar, dass die Plasmabehandlung und die Plasmapolymerisation in einer kombinierten Einrichtung durchgeführt werden. Nachdem die Oxidschicht entfernt und die Oberflächenenergie erhöht wurde, siehe oben, bildet sich in der Plasmapolymerisations-Einheit 10 die Plasmapolymer-Schicht 4 auf der Oberfläche des Leiters 1 aus, indem ein gasförmiges Monomer, wie Ethylen, Butenol, Aceton oder Tetrafluormethan [ $CF_4$ ] mittels des Plasmas aktiviert wird und sich dadurch hochvernetzte Makromoleküle unterschiedlicher Kettenlänge und einem Anteil an freien Radikalen ausbilden, welche sich als Plasmapolymer-Schicht 4 auf der Oberfläche des Leiters 1 ablagern. Die so entstandene Plasmapolymer-Schicht 4 ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel weniger als 1  $\mu m$  dick und haftet besonders gut an der aktivierte und oxidfreien Oberfläche des Leiters 1.

**[0045]** Die äußere Isolationsschicht 3 wird wiederum in der Extrusions-Einheit 12 wie oben beschrieben auf die Plasmapolymer-Schicht 4 aufextrudiert, wobei auch die Haftung zwischen Plasmapolymer-Schicht 4 und äußerer Isolationsschicht 3 hoch ist.

**[0046]** In der dritten Ausführungsvariante, abgebildet in den Figuren 2c und 3c, umfasst die Beschichtung 2 neben der äußeren Isolationsschicht 3 aus PEEK eine als Fluoropolymer-Schicht 5 aus Polytetrafluorethylen [PTFE] oder Perfluorethylenpropylen [FEP] ausgebildete Zwischenschicht, die unmittelbar auf die Oberfläche des Leiters 1 aufgebracht ist und die Haftung zwischen dem Leiter 1 und der äußeren Isolationsschicht 3 weiter verbessert. Hergestellt wird die Fluoropolymer-Schicht 5 gemeinsam mit der äußeren Isolationsschicht 3 in der Extrusions-Einheit 12 mittels eines Ko- oder Tandemextrusions-Verfahrens. Die Dicke der Fluoropolymer-Schicht 5 beträgt dabei im vorliegenden Ausführungsbeispiel etwa 30  $\mu m$ .

**[0047]** Die vierte Ausführungsvariante, zu sehen in den Figuren 2d und 3d, unterscheidet sich dadurch von der zuvor beschriebenen zweiten und dritten Ausführungsvariante, dass anstatt der Zwischenschicht aus Kunststoff eine als Metallschicht 6 ausgebildete Zwischenschicht unmittelbar auf den Leiter 1 aufgebracht ist. Diese Metallschicht 6 wird in einer Verzinnungseinheit 11 in an sich bekannter Art und Weise hergestellt, bevor die äußere Isolationsschicht 3 aus PEEK in der Extrusions-Einheit 12 auf die Metallschicht 6 aufextrudiert wird. Auch dadurch wird der Effekt der erhöhten Haftung der Beschichtung 2 bzw. der äußeren Isolationsschicht 3 am Leiter 1 aus Kupfer weiter verstärkt.

**[0048]** Nach dem Aufextrudieren der äußeren Isolationsschicht 3 wird der isolierte elektrische Leiter kontrolliert abgekühlt, beispielsweise durch Luftkühlung, und über eine Reihe von Anpressrollen geführt, die durch Ausüben von Druck auf den isolierte elektrische Leiter die Haftung weiter verbessern. Abschließend wird der isolierte elektrische Leiter auf einem Spulenaufwickler 13 aufgewickelt.

**[0049]** Bei den dargestellten Einrichtungen in Fig. 1 handelt es sich über eine Übersicht, in der alle Einrichtungen gezeigt sind, die zur Herstellung der einzelnen Ausführungsvarianten notwendig sind. Während die Reihenfolge, von rechts nach links, der durchlaufenen Einrichtungen von der Ausführungsvariante unabhängig sind und jedenfalls die Plasmabehandlungs-Einheit 9 und die Extrusions-Einheit 12 durchlaufen werden müssen, handelt es sich bei der Plasmapolymerisations-Einheit 9 und der Verzinnungseinheit 11 um optionale Einrichtungen, die nur bei der Herstellung spezifischer Ausführungsvarianten zum Einsatz kommen. Es versteht sich von selbst, dass statt eines Ko- oder Tandemextrusions-Verfahrens auch mehrere einzelne Extrusionen sequentiell durchgeführt werden können.

## 25 BEZUGSZEICHENLISTE

### [0050]

- |    |                               |
|----|-------------------------------|
| 1  | elektrischer Leiter           |
| 30 | isolierende Beschichtung      |
| 2  | Isolationsschicht             |
| 3  | Plasmapolymer-Schicht         |
| 4  | Fluoropolymer-Schicht         |
| 5  | Metallschicht                 |
| 35 | Spulenablauf                  |
| 7  | Vorreinigungs-Einheit         |
| 8  | Plasmabehandlungs-Einheit     |
| 9  | Plasmapolymerisations-Einheit |
| 10 | Verzinnungseinheit            |
| 11 | Extrusions-Einheit            |
| 40 | Spulenaufwickler              |
| 12 |                               |
| 13 |                               |

## Patentansprüche

- 45 1. Isolierter elektrischer Leiter umfassend einen elektrischen Leiter (1), vorzugsweise aus Kupfer oder Aluminium, mit einer isolierenden Beschichtung (2), wobei die Beschichtung (2) zumindest eine, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht (3) aus thermoplastischem Kunststoff umfasst, erhältlich durch ein Verfahren, in dem der Leiter (1) unter einer Schutzgasatmosphäre in einem Gas-Plasma mit Ionen des Schutzgases beschossen wird, um eine auf einer Oberfläche des Leiters (1) ausgebildete Oxidschicht zu entfernen und/oder die Oberflächenenergie des Leiters (1) zu erhöhen, und

- nachfolgend die Beschichtung (2) auf die Oberfläche des Leiters (1) aufgebracht wird, wobei zumindest ein Teil der Beschichtung (2) unter Schutzgasatmosphäre auf den Leiter (1) aufgebracht wird.
- 5
2. Isolierter elektrischer Leiter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Leiter (1) bis zum Aufbringen der Beschichtung (2) durchgehend unter Schutzgasatmosphäre angeordnet ist, um die Ausbildung einer neuen Oxidschicht auf der Oberfläche des Leiters (1) zu verhindern.
- 10
3. Isolierter elektrischer Leiter nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei dem Gas-Plasma zum Beschießen des Leiters um ein Niederdruckplasma, vorzugsweise mit einem Druck unter 80 mbar, handelt.
- 15
4. Isolierter elektrischer Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschichtung (2), insbesondere die Isolationsschicht (3), eine Temperaturbeständigkeit von zumindest 180°C, vorzugsweise von zumindest 200°C, insbesondere von zumindest 220°C, aufweist.
- 20
5. Isolierter elektrischer Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht (3) Polyetheretherketon [PEEK] oder Polyphenylensulfid [PPS] umfasst und vorzugsweise eine Dicke zwischen 10 und bis 1000 µm, vorzugsweise zwischen 25 µm und 750 µm, besonders bevorzugt zwischen 30 µm und 500 µm, insbesondere zwischen 50 µm und 250 µm, aufweist.
- 25
6. Isolierter elektrischer Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht (3) mittels eines Extrusions-Verfahrens herstellbar ist.
- 30
7. Isolierter elektrischer Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht (3) unmittelbar auf die Oberfläche des Leiters (1) aufgebracht ist.
- 35
8. Isolierter elektrischer Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschichtung (2) eine unmittelbar auf die Oberfläche des Leiters (1) aufgebrachte Plasmapolymer-Schicht (4) aus vernetzten Makromolekülen uneinheitlicher Kettenlänge aufweist, welche Plasmapolymer-Schicht (4) durch Polymerisation eines gasförmigen Monomers in einem Gas-Plasma, vorzugsweise im Gas-Plasma zum Beschießen des Leiters (1), herstellbar ist.
- 40
9. Isolierter elektrischer Leiter nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Plasmapolymer-Schicht (4) eine Dicke von 1 µm oder weniger aufweist.
- 45
10. Isolierter elektrischer Leiter nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei dem Monomer zur Herstellung der Plasmapolymer-Schicht (4) um Ethylen, Butanol, Aceton oder Tetrafluormethan [CF<sub>4</sub>] handelt.
- 50
11. Isolierter elektrischer Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschichtung (2) zumindest eine unmittelbar auf die Oberfläche des Leiters (1) aufgebrachte, vorzugsweise Polytetrafluorethylen [PTFE] oder Perfluorethylenpropyle [FEP] umfassende, Fluoropolymer-Schicht (5) aufweist.
- 55
12. Isolierter elektrischer Leiter nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke der zumindest einen Fluoropolymer-Schicht (5) zwischen 1 µm und 120 µm, vorzugsweise zwischen 5 µm und 100 µm, besonders bevorzugt zwischen 10 µm und 80 µm, insbesondere zwischen 20 µm und 50 µm, beträgt.
- 60
13. Isolierter elektrischer Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschichtung (2) eine unmittelbar auf die Oberfläche des Leiters (1) aufgebrachte Metallschicht (6), vorzugsweise aus einer Zink- oder Zinnlegierung, aufweist.
- 65
14. Isolierter elektrischer Leiter nach einem der Ansprüche 8 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht (3) unmittelbar auf die Plasmapolymer-Schicht (4) oder die zumindest eine Fluoropolymer-Schicht (5) oder die Metallschicht (6) aufgebracht ist.
- 70
15. Isolierter elektrischer Leiter umfassend einen elektrischen Leiter (1), vorzugsweise aus Kupfer oder Aluminium, mit einer isolierenden Beschichtung (2), wobei die Beschichtung (2) zumindest eine, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht (3) aus thermoplastischem Kunststoff, vorzugsweise aus PEEK oder PPS, umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine auf einer Oberfläche des Leiters (1) ausgebildete Oxidschicht entfernt ist, sodass zumindest eine Schicht der Beschichtung (2), vorzugsweise die Isolationsschicht (3), unmittelbar auf der oxidschichtfreien Oberfläche des Leiters (1) aufgebracht ist.
- 75
16. Verfahren zur Herstellung eines isolierten elektrischen Leiters, welches folgende Verfahrensschritte

aufweist:

- Beschießen eines unter einer Schutzgasatmosphäre angeordneten elektrischen Leiters (1), vorzugsweise aus Kupfer oder Aluminium, mit Ionen des Schutzgases in einem Gas-Plasma, vorzugsweise einem Niederdruckplasma, um eine auf der Oberfläche des Leiters (1) ausgebildete Oxidschicht zu entfernen und/oder die Oberflächenenergie des Leiters (1) zu erhöhen;
- Aufbringen einer isolierenden Beschichtung (2) auf die Oberfläche des elektrischen Leiters (1) unter Schutzgasatmosphäre, wobei die Beschichtung (2) eine, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht (3) aus thermoplastischem Kunststoff, vorzugsweise aus PEEK oder PPS, umfasst.

17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht (3) aufextrudiert wird, wobei der elektrische Leiter (1) vorzugsweise vor der Extrusion, besonders bevorzugt auf zumindest 200°C, vorgewärmst, wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** der isolierte elektrische Leiter nach dem Aufextrudieren der, vorzugsweise äußeren, Isolationsschicht (3) in Abhängigkeit der zu erreichenden Festigkeit der, vorzugsweise äußeren, Isolationsschicht (3) abgekühlt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** der isolierte elektrische Leiter nach dem Aufextrudieren der, vorzugsweise äußeren, Isolationsschicht (3) über Rollen, vorzugsweise Anpressrollen, geführt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die, vorzugsweise äußere, Isolationsschicht (3) und zumindest eine Fluoropolymer-Schicht (5) mittels Ko- oder Tandemextrusion hergestellt werden.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** unmittelbar auf der Oberfläche des elektrischen Leiters (1) mittels Polymerisation eines gasförmigen Monomers in einem Gas-Plasma eine Plasmapolymer-Schicht (4) aufgebracht wird oder dass unmittelbar auf der Oberfläche des elektrischen Leiters (1) eine Metallschicht (6) aufgebracht wird.

22. Verwendung eines isolierten elektrischen Leiters nach einem der Ansprüche 1 bis 15 als Wickeldraht für Elektromaschinen, vorzugsweise Elektromotoren oder Transformatoren.

**Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.**

1. Isolierter elektrischer Leiter umfassend einen elektrischen Leiter (1), vorzugsweise aus Kupfer oder Aluminium, mit einer isolierenden Beschichtung (2), wobei die Beschichtung (2) aus zumindest einer Isolationsschicht (3) aus thermoplastischem Kunststoff besteht, erhältlich durch ein Verfahren, in dem der Leiter (1) unter einer Schutzgasatmosphäre in einem Gas-Plasma mit Ionen des Schutzgases beschossen wird, um eine auf einer Oberfläche des Leiters (1) ausgebildete Oxidschicht zu entfernen und/oder die Oberflächenenergie des Leiters (1) zu erhöhen, und nachfolgend die zumindest eine Isolationsschicht (3) unmittelbar auf die Oberfläche des Leiters (1) aufgebracht wird, wobei die zumindest eine Isolationsschicht (3) unter Schutzgasatmosphäre auf den Leiter (1) aufgebracht wird.
2. Isolierter elektrischer Leiter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Leiter (1) bis zum Aufbringen der Beschichtung (2) durchgehend unter Schutzgasatmosphäre angeordnet ist, um die Ausbildung einer neuen Oxidschicht auf der Oberfläche des Leiters (1) zu verhindern.
3. Isolierter elektrischer Leiter nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei dem Gas-Plasma zum Beschießen des Leiters um ein Niederdruckplasma, vorzugsweise mit einem Druck unter 80 mbar, handelt.
4. Isolierter elektrischer Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschichtung (2), insbesondere die Isolationsschicht (3), eine Temperaturbeständigkeit von zumindest 180°C, vorzugsweise von zumindest 200°C, insbesondere von zumindest 220°C, aufweist.
5. Isolierter elektrischer Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Isolationsschicht (3) Polyetheretherketon [PEEK] umfasst.
6. Isolierter elektrischer Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Isolationsschicht (3) Polyphenylensulfid [PPS] umfasst.
7. Isolierter elektrischer Leiter nach einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Isolationsschicht (3) eine Dicke zwischen 10 und bis 1000 µm, vorzugsweise zwischen 25 µm und 750 µm, besonders bevorzugt zwischen

- 30 µm und 500 µm, insbesondere zwischen 50 µm und 250 µm, aufweist.
8. Isolierter elektrischer Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Isolationsschicht (3) mittels eines Extrusions-Verfahrens herstellbar ist. 5
9. Isolierter elektrischer Leiter nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine weitere Schicht, vorzugsweise eine weitere Isolationsschicht, auf der zumindest einen Isolationsschicht (3) aufgebracht ist. 10
10. Verfahren zur Herstellung eines isolierten elektrischen Leiters, welches folgende Verfahrensschritte aufweist: 15
- Beschießen eines unter einer Schutzgasatmosphäre angeordneten elektrischen Leiters (1), vorzugsweise aus Kupfer oder Aluminium, mit Ionen des Schutzgases in einem Gas-Plasma, vorzugsweise einem Niederdruckplasma, um eine auf der Oberfläche des Leiters (1) ausgebildete Oxidschicht zu entfernen und/oder die Oberflächenenergie des Leiters (1) zu erhöhen; 20
  - Aufbringen einer isolierenden Beschichtung (2) auf die Oberfläche des elektrischen Leiters (1) unter Schutzgasatmosphäre, wobei die Beschichtung (2) aus zumindest einer Isolationsschicht (3) aus thermoplastischem Kunststoff besteht und die zumindest eine Isolationsschicht (3) unmittelbar auf die Oberfläche des elektrischen Leiters (1) aufgetragen wird. 25
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Isolationsschicht (3) Polyetheretherketon [PEEK] umfasst. 30
12. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Isolationsschicht (3) Polyphenylensulfid [PPS] umfasst. 40
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Isolationsschicht (3) aufextrudiert wird. 45
14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der elektrische Leiter (1) vor der Extrusion auf zumindest 200°C, vorzugsweise auf zumindest 400°C, vorgewärmt wird. 50
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der isolierte elektrische Leiter nach dem Aufextrudieren der Isolationsschicht (3) in Abhängigkeit der zu erreichenden Festigkeit der, vorzugsweise äußereren, Isolationsschicht (3) abgekühlt wird. 55
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** der isolierte elektrische Leiter (1) nach dem Aufextrudieren der zumindest einen Isolationsschicht (3) über Rollen, vorzugsweise Anpressrollen, geführt wird.
17. Verwendung eines isolierten elektrischen Leiters nach einem der Ansprüche 1 bis 9 als Wickeldraht für Elektromaschinen, vorzugsweise Elektromotoren oder Transformatoren.

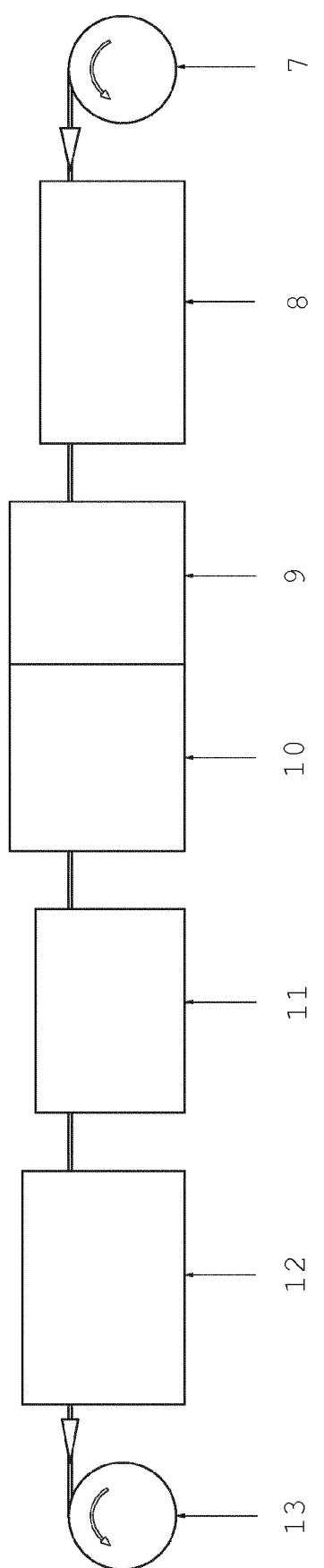
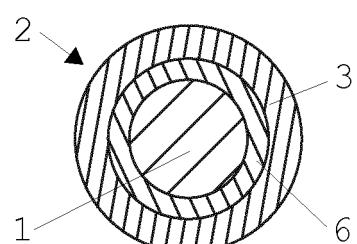
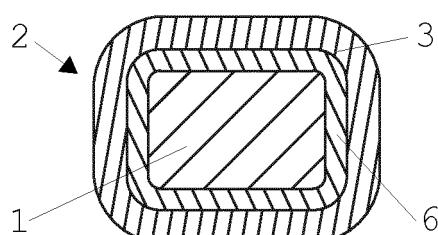
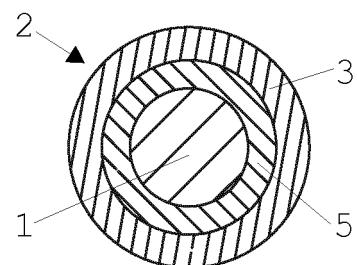
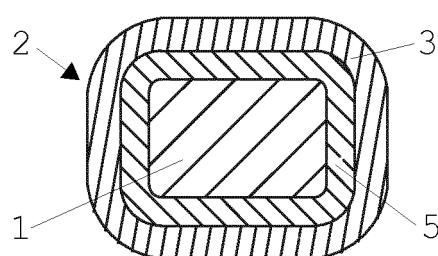
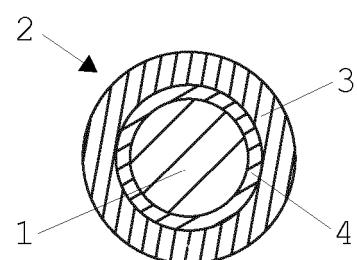
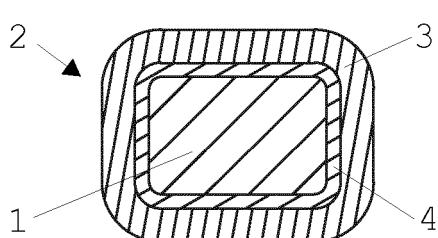
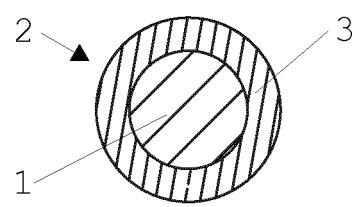
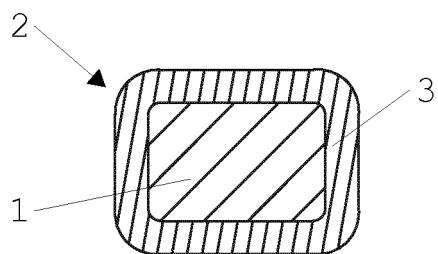


Fig. 1





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 16 16 3536

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betritt Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
10 X	EP 0 188 369 A2 (RAYCHEM LTD [GB]) 23. Juli 1986 (1986-07-23) * Seiten 1,25,28; Abbildung 3 *	1-6,13, 15,22 7-12,14, 16-21	INV. H01B13/00 H01B13/14 H01B3/30 H01B3/42 H01B7/02
15 A	P. KONARSKI ET AL: "Cold plasma cleaning of copper and aluminum tested by SIMS depth profile analysis", SURFACE AND INTERFACE ANALYSIS., Bd. 43, Nr. 1-2, 9. Juli 2010 (2010-07-09), Seiten 612-617, XP055310132, GB ISSN: 0142-2421, DOI: 10.1002/sia.3655 * das ganze Dokument *	1-22	
20			
25			
30			
35			
40			
45			
50 2	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
55	Recherchenort Den Haag	Abschlußdatum der Recherche 14. Oktober 2016	Prüfer Pötzsch, Robert
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelde datum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			
EPO FORM 1503 03-82 (P04C03)			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 16 16 3536

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten  
Patentdokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

14-10-2016

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	EP 0188369	A2 23-07-1986	CA DE EP JP	1295889 C 3666993 D1 0188369 A2 S61165909 A	18-02-1992 21-12-1989 23-07-1986 26-07-1986
20					
25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82