



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 273 015 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
28.06.2006 Patentblatt 2006/26

(51) Int Cl.:
H01B 13/14 (2006.01) H01B 12/14 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **01909542.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2001/000355

(22) Anmeldetag: **30.01.2001**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2001/061712 (23.08.2001 Gazette 2001/34)

(54) **VERFAHREN ZUR ISOLATION EINES HOCH-T_c-SUPRALEITERS SOWIE VERWENDUNG DES VERFAHRENS**
METHOD FOR INSULATING A HIGH-T_c-SUPERCONDUCTOR AND THE USE OF SAID METHOD
PROCEDE POUR ISOLER UN SUPRACONDUCTEUR A HAUTE T_c, ET APPLICATION DE CE PROCEDE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**

(30) Priorität: **15.02.2000 DE 10006537**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.01.2003 Patentblatt 2003/02

(73) Patentinhaber: **SIEMENS
AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)**

(72) Erfinder:
• **ALBRECHT, Cord
91058 Erlangen (DE)**

• **GREINER, Robert
91083 Baiersdorf (DE)**
• **KUMMETH, Peter
91074 Herzogenaurach (DE)**
• **MASSEK, Peter
91301 Forchheim (DE)**
• **OCHSENKÜHN, Manfred
92348 Berg (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**WO-A-00/11684 FR-A- 2 091 363
GB-A- 2 140 195**

EP 1 273 015 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Gegenstand der DE-Patentanmeldung P 198 38 133.6 (Anmeldetag: 21.08.1998) ist ein Verfahren zur Herstellung einer allseitigen Umhüllung aus einem elektrischen Isolationsmaterial aus Kunststoff um mindestens einen bandförmigen Supraleiter mit Hoch- T_c -Supraleitermaterial. Gemäß diesem vorgeschlagenen Verfahren soll zu einem kontinuierlichen Umhüllungsprozess bei einer die Supraleitungseigenschaften des Leiters praktisch nicht beeinträchtigenden Verfahrenstemperatur

- der Leiter aus einem sich in einer Vortriebsrichtung erstreckenden Führungskanal austreten,
- ein Schmelzeschlauch aus einem geschmolzenen thermoplastischen Isolationsmaterial in der Vortriebsrichtung aus einer Düse extrudiert werden, deren Austrittsöffnung den Leiter unter allseitiger Beabstandung umgibt,
- mit dem Vortrieb des Leiters der Schmelzeschlauch gedehnt und auf die Leiteroberfläche gezogen werden sowie
- der so auf die Leiteroberfläche aufgebrachte Schmelzeschlauch durch Abkühlung verfestigt werden.

Dieses vorgeschlagene Verfahren soll insbesondere zum Umhüllen eines bandförmigen Supraleiters mit einem Aspektverhältnis von mindestens 3, vorzugsweise mindestens 10, verwendet werden.

[0002] Die Erfindung bezieht sich auf ein entsprechendes Verfahren sowie auf nach dem Verfahren umhüllte Hoch- T_c -Supraleiter.

[0003] Technische Supraleiter müssen für eine Verwendbarkeit in elektrischen Einrichtungen wie Wicklungen von Maschinen, Transformatoren, Magneten oder Kabeln im Allgemeinen mit einer elektrischen Isolation versehen sein. Ein solches Erfordernis ist insbesondere auch bei Leitern mit oxidischem Hoch- T_c -Supraleitermaterial (HTS-Material) gegeben. Dabei sollen solche HTS-Leiter, die eine Drahtform (mit kreisförmigem Querschnitt) und insbesondere eine Bandform (mit rechteckigem Querschnitt) haben können, in einem einfach durchzuführenden Verfahren kontinuierlich mit einer isolierenden Umhüllung versehen werden können. Das Verfahren soll dabei sowohl für eine Einzelleiterisolation wie auch zur Isolation eines HTS-Leitersaufbaus in Form eines Mehrfach-Leiters, der aus supraleitenden Einzelleitern zusammengesetzt ist, oder eines Verbundleiters mit supraleitenden und normalleitenden Teilen geeignet sein.

[0004] Bisher sind keine in technischem Maßstab realisierten Verfahren bekanntgeworden, mit denen in einem kontinuierlichen Durchlauf ein Supraleiter oder -Leitersaufbau mit HTS-Material allseitig mit einer isolierenden Umhüllung zu versehen ist. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, daß die zur Zeit verfolgten HTS-Leiterkonzepte eine Bandform mit einem im Hinblick auf in der Supraleitungstechnik praktizierte Isolationsverfahren ungünstig hohen Aspektverhältnis (= Verhältnis von Leiterbreite zu Leiterdicke) vorsehen. Solche Leiter sind nämlich mit den bekannten Verfahren nur schwer gleichmäßig und mit geringer Dicke eines Isolationsmaterials zu beschichten. Bei einem aus der EP 0 292 126 B1 zu entnehmenden HTS-Leiter ist deshalb die Umhüllung verhältnismäßig dick ausgeführt.

[0005] Klassische Lackierverfahren scheiden bisher für HTS-Leiter deshalb aus, weil sie zu einer Stromdegradation des Leiters führen können, die die Folge von den für diese Verfahren erforderlichen hohen Verfahrenstemperaturen und von überkritischen Biegebeanspruchungen ist, welche bei einem periodischen Führen des Leiters durch Tauchbäder mit einem vielfachen Umlenken über entsprechende Umlenkrollen auftreten.

[0006] Um eine Anwendung bekannter bandförmiger HTS-Bandleiter z.B. im Magnetwicklungsbau zu ermöglichen, wurden bisher separate Isolationsfolien, z.B. aus einem speziellen aromatischen Polyamid, das unter dem Handelsnamen "Kapton" bekannt ist und eine Dicke von beispielsweise 50 μm hat, zusammen mit dem Bandleiter gewickelt. Somit muß zur Herstellung von Wicklungen neben einer Abwickelvorrichtung für den Leiter zusätzlich eine entsprechende Vorrichtung für die Isolationsfolie vorgesehen werden, um eine Isolation zwischen den einzelnen Lagen bzw. Windungen einer Wicklung zu erstellen. Dabei kann die Schwierigkeit auftreten, daß der Leiter nicht ganz durch die Isolationsfolie umhüllt wird. Außerdem ist jeweils nur eine Trennschicht zwischen den einzelnen Leiterlagen vorhanden, wobei die seitlichen Leiterkanten unisoliert bleiben. Um eine sichere Isolation auch in diesen Bereichen zu gewährleisten, ist entweder ein Verguß des Wickelpaketes mit Gießharz oder die Verwendung von so breiten Isolationsfolien nötig, daß durch einen seitlichen Überstand der Folie über die jeweiligen Leiterkanten hinaus ein Kurzschluß zwischen den Leitern verhindert wird. Der Justieraufwand, um ein paralleles Wickeln von Leiter und Isolationsfolie zu ermöglichen, ist jedoch verhältnismäßig hoch.

[0007] Darüber hinaus ist aus der Isolationstechnik von Supraleitern mit sogenanntem klassischen Supraleitermaterial, die eine LHe-Kühltechnik erforderlich machen, bekannt, einen z.B. bandförmigen Supraleiter mit einer entsprechenden Kunststoffolie zu umwickeln (vgl. die DE 23 45 779 A oder die DE 38 23 938 C2). Auch diese Verfahren sind nur mit verhältnismäßig hohem Aufwand durchzuführen. Außerdem müssen die verwendeten Folien eine hinreichende Dicke haben, um mechanische Beschädigungen bei dem Umwicklungsprozeß auszuschließen.

[0008] Weiterhin ist es als äußerst schwierig anzusehen, die sehr geringen Querschnitte aktueller HTS-Bandleiter mit ihrem typisch großen Aspektverhältnis mit Isolationsband bzw. Isolationsfäden zu umspinnen.

[0009] Bei dem Verfahren gemäß der nicht-vorveröffentlichten WO 00/11684, für das die eingangs genannten Verfah-

rensmerkmale vorgeschlagen sind, erfolgt das Aufbringen einer Umhüllung aus thermoplastischem Isolationsmaterial in Dünnschichtextrusionstechnik nach einem sogenannten Schlauch-Reckverfahren. Hierbei wird ein Schmelzeschlauch aus einer Düse extrudiert, der in seinen Dimensionen größer als der zu umhüllende Leiter ist, welcher durch einen zentralen Führungskanal in der Düsenmitte läuft. Dadurch entsteht ein Schlauch um den Leiter herum, der durch den Vortrieb des Leiters verstreckt, d.h. gedehnt wird, bis die endgültige, erwünschte Dicke (Stärke) der Umhüllungswand (Isolationsschicht) erreicht ist. Dieser Schlauch wird auf die Leiteroberfläche gezogen. Abhängig vom eingesetzten Isolationswerkstoff liegt dabei der sogenannte Reckgrad, d.h. die Verstreckung des Materials, im allgemeinen zwischen 5 und 15. Die Verstreckung kann vorteilhaft unter gleichzeitiger Einwirkung von Vakuum im Schlauchinneren erfolgen. Zusammen mit einer vorteilhaften Vorwärmung des Leiters vor dem Einlauf in den Führungskanal und/oder während des Hindurchziehens des Leiters durch diesen läßt sich so ein besonders guter und blasenfreier Haftsitz der Umhüllung auf dem Supraleiter erzeugen. Die dann erfolgende langsame Ablung z. B. an Luft bewirkt ein Einfrieren und eine spannungsfreie Verfestigung der Schmelze aus dem Isolationsmaterial auf dem Leiter.

[0010] Mit diesem Verfahren lassen sich folglich verhältnismäßig dünne (von einer Mindestdicke von etwa 40 μm und/oder einer maximalen Dicke von 100 μm) und fehlerfreie Umhüllungsschichten auf Supraleitern mit an sich beliebiger Querschnittsform, insbesondere aber mit Bandform realisieren.

[0011] Es sind prinzipiell Beschichtungsanlagen bekannt, mittels derer isolierende Umhüllungen aus einem thermoplastischen Kunststoffmaterial (vgl. DE 26 38 763 A) durch Abstreifdüsen, in Druckummantelung oder im Schlauch-Reckverfahren (DE 24 09 655 A, 20 22 802 A, DE 21 10 934 A) auf Drähte aufzubringen sind. Die Drähte können dabei insbesondere aus Stahl (vgl. US 3 893 642), A1 (vgl. DE 24 09 655 A) oder Cu (vgl. US 4 489 130 oder die genannte DE 21 10 934 A) bestehen und haben im allgemeinen kreisförmige Querschnittsflächen.

[0012] Das mit solchen Anlagen auszuführende Beschichtungsverfahren wird auch als Extrusionsbeschichtung bezeichnet.

[0013] Bei dem vorgeschlagenen Verfahren wird von der Erkenntnis ausgegangen, dass die vorerwähnten, an sich bekannten Verfahren zur Beschichtung von oxidischen HTS-Leitern geeignet sind, wobei sich die eingangs genannten, leiterspezifischen Schwierigkeiten vermeiden lassen. Dies ist insbesondere bei einer Bandform des Supraleiters von Bedeutung. Unter einer Bandform sei in diesem Zusammenhang jede beliebige Rechteckform mit eckigen oder abgerundeten Kanten verstanden. Vorzugsweise kann aber die Rechteckform ein verhältnismäßig großes Aspektverhältnis im Allgemeinen über 10 aufweisen, wie es insbesondere bei bekannten dünnen HTS-Bandleitern gegeben ist. Durch Beschichtung nach dem vorgeschlagenen Schlauch-Reckverfahren lassen sich porenfreie Isolierschichten realisieren, die auf den für HTS-Leiter typischen Oberflächen gut haften.

[0014] Die Anwendung dieses Verfahrens auf oxidische HTS-Leiter mit ihrer typischen thermischen und mechanischen Empfindlichkeit erschließt für diese Leitertypen ein erweitertes Anwendungsgebiet aufgrund der einfacheren Verwendbarkeit bereits vorisolierter Leiter. Außerdem sind beträchtliche Kosteneinsparungen gegenüber den bisher in der Supraleitungstechnik angewandten Verfahren zu erwarten. Neben den Einsparungen durch eine rationelle, schnelle Extrusionstechnik liegt ein erhebliches Ratiopotential in den verwendbaren Isolationsmaterialien, die im Vergleich zu bekannten Isolierfolien deutlich billiger sind.

[0015] Mit dem vorgeschlagenen Verfahren ist eine kontinuierliche Beschichtung eines HTS-Leiters möglich, da das Isolationsmaterial aus einem Vorratsbehälter gefördert werden kann, der sich jederzeit nachfüllen läßt. Außerdem ist mit dem Verfahren die Dicke der isolierenden Umhüllung in einem weiten Bereich variabel und mit hinreichender Genauigkeit einzustellen. Da z.B. jeder Einzelleiter vollständig isoliert sein kann, ist bei Bandleiterwicklungen eine doppelte Isolationssicherheit gegeben, weil die Leiter durch eine zweifache Isolationsschicht getrennt sind. Ferner kann durch den Einsatz von verschiedenen thermoplastischen Kunststoffmaterialien das mechanische und thermische Eigenschaftsprofil der Umhüllung dem jeweiligen Anwendungsfall angepaßt werden. Darüber hinaus ist das vorgeschlagene Verfahren deutlich schneller als ein bei metallischen Supraleitern bisher angewandtes klassisches Umspinnungs- oder Lackierverfahren.

[0016] Außerdem werden bei dem vorgeschlagenen Verfahren auch die seitlichen Leiterkanten isoliert, womit die Gefahr von Kurzschlüssen in diesem Bereich verringert ist. Die Isolation ist insbesondere auch für dünne Bandleiter mit ungünstigem Aspektverhältnis geeignet. Dabei entfällt die bei Lackierverfahren gefürchtete Gefahr einer sogenannte "Kantenflucht", d.h. eine unerwünschte starke Schichtverdünnung im Bereich von Kanten mit kleinen Kantenradien, wie sie gerade bei dünnen Leiterbändern gegeben sind.

[0017] Ferner braucht bei dem vorgeschlagenen Verfahren der HTS-Leiter mechanisch nicht zu stark belastet zu werden. Die mechanische Belastung beschränkt sich nämlich auf die durch Leiterabwickler bzw. -aufwickler erzeugten geringen Zugkräfte. Eine Leiterumlenkung während des Beschichtungsprozesses kann also vorteilhaft vermieden werden.

[0018] Bei dem vorgeschlagenen Verfahren sollen bekannte thermoplastische Werkstoffe mit verhältnismäßig niedriger Verarbeitungs- bzw. Schmelztemperatur von unter 200°C eingesetzt werden und auch nur eine verhältnismäßig kurzfristige Erwärmung der Leiter vorgesehen werden, um so eine Degradation der Supraleitungseigenschaften (bzgl. der kritischen Temperatur T_c und insbesondere bzgl. der in A/m^2 zu messenden kritischen Stromdichte J_c) zumindest

weitgehend zu vermeiden. Als hierfür geeignete thermoplastische Materialien sind Polyethylene, Polystyrol-Ethylen-Butylen-Elastomere, Polyurethan-Elastomere, Ethylen/Vinylacetat-Copolymere oder Acrylsäure/Acrylat-Copolymere vorgeschlagen.

[0019] Mit den vorstehend aufgeführten Thermoplasten können Isolierschichtdicken von minimal etwa 40 bis 50 μm realisiert werden. Um eine möglichst hohe effektive Stromdichte in einem Hoch- T_c -Supraleiter und/oder einer mit solchen Leitern aufgebauten Einrichtung wie z.B. einer supraleitenden Wicklung zu erreichen, sollte jedoch die Isolierschicht demgegenüber geringer sein. Dabei sollte eine gute Haftung des Isolationsmaterials auf dem Leiter und eine gute Anbindung der entsprechenden Isolierschicht an Tränk- und Gießharze zu gewährleisten sein. Es zeigt sich jedoch, dass mit den vorgeschlagenen Isolationsmaterialien z.B. die Herstellung von sogenannten Roebelstäben (vgl. z.B. DE-PS 277012 oder "Siemens Review", Vol. 55, No.4, 1988, Seiten 32 bis 36 oder "IEEE Transactions on Applied Superconductivity", Vol. 9, No. 2, Juni 1999, Seiten 111 bis 121) sich problematisch gestaltet, da diese Isolationsmaterialien bei Raumtemperatur verhältnismäßig weich sind und einen hohen Reibkoeffizienten besitzen.

[0020] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren vorzuschlagen, das die vorerwähnten Schwierigkeiten vermindert. Außerdem sollen besondere, nach dem Verfahren umhüllte Hoch- T_c -Supraleiter angegeben werden.

[0021] Die sich auf das Verfahren beziehende Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Maßnahmen gemäß Anspruch 1 gelöst. Dementsprechend sieht das Verfahren zur Herstellung einer allseitigen Umhüllung aus einem elektrischen Isolationsmaterial aus Kunststoff um mindestens einen bandförmigen Supraleiter mit oxidischem Hoch- T_c -Supraleitermaterial vor, dass zu einem kontinuierlichen Umhüllungsprozess bei einer die Supraleitungseigenschaften des Leiters praktisch nicht beeinträchtigenden Verfahrenstemperatur

- der Leiter aus einem sich in einer Vortriebsrichtung erstreckenden Führungskanal austritt,
- ein Schmelzeschlauch aus einem geschmolzenen thermoplastischen Isolationsmaterial in der Vortriebsrichtung aus einer Düse extrudiert wird, deren Austrittsöffnung den Leiter unter allseitiger Beabstandung umgibt,
- mit dem Vortrieb des Leiters der Schmelzeschlauch gedehnt und auf die Leiteroberfläche gezogen wird sowie
- der so auf die Leiteroberfläche aufgebrauchte Schmelzeschlauch durch Abkühlung verfestigt wird.

Dabei soll bei einer Verfahrenstemperatur zwischen 200°C und 500°C, vorzugsweise zwischen 220°C und 450°C, als Isolationsmaterial ein thermoplastisches Material verwendet werden, dessen Schmelztemperatur in diesem Temperaturbereich liegt. Unter einer die Supraleitungseigenschaften des Leiters praktisch nicht beeinträchtigenden Verfahrenstemperatur wird in diesem Zusammenhang eine Temperatur verstanden, die höchstens zu einer Degradation der kritischen Stromdichte J_c [in A/m^2] von unter 10 % führt.

[0022] Als entsprechende Thermoplaste sind insbesondere spezielle technische Thermoplaste wie Polyamide und Polyester sowie insbesondere auch Hochtemperatur-Thermoplaste (HT-Thermoplaste) wie Polyetherimid (PEI), Polyethersulfon (PES), Polysulfon (PSU), Polyphenylsulfon (PPSU) und Polyetheretherketon (PEEK) geeignet.

[0023] Es hat sich nämlich gezeigt, dass überraschenderweise HTS-Bandleiter insbesondere mit Filamenten aus Bi-Cupratmaterial und einer Einbettung der Filamente in eine Ag-Matrix Temperaturbelastungen von mindestens 500°C für mehrere Minuten aushalten, ohne dass ihre Supraleitereigenschaften wie insbesondere ihre Stromtragfähigkeit beeinträchtigt werden. Dies macht einen Einsatz der erfindungsgemäß zu wählenden Thermoplaste möglich. Dabei ist darüber hinaus von Vorteil, dass die erfindungsgemäß gewählten Thermoplaste, insbesondere die HT-Thermoplaste PEI, PPSU und PEEK, sehr gute elektrische und außergewöhnlich gute Tieftemperatureigenschaften besitzen, d.h. sich durch gute Flexibilität und Zähigkeit bei tiefen Temperaturen auszeichnen. Demgegenüber zeigen andere Thermoplaste bei tiefen Temperaturen oft starke Neigung zur Versprödung. Ein weiterer Vorteil gegenüber den mit der früheren Anmeldung WO 00/11684 vorgeschlagenen Thermoplasten ist eine in dem beanspruchten Temperaturbereich zu erreichende verbesserte Adhäsionshaftung auf keramischen und metallischen Substraten aufgrund des ausgeprägt polaren Charakters dieser Werkstoffe und der wesentlich besseren Verträglichkeit und Anbindung an Epoxid- (EP-) und ungesättigte Polyesterharze (UP-Harze), die als Verguss- und Tränkmassen für Einrichtung unter Verwendung solcher Supraleiter eingesetzt werden.

[0024] Ferner haben die erfindungsgemäß zu wählenden Thermoplaste vorteilhaft bei Raumtemperatur einen hohen E-Modul ($> 3000 \text{ MPa}$), eine hohe Oberflächenhärte (Rockwell-Härte ≥ 120 ; R-Skala) und einen niedrigen Reibkoeffizienten (< 0.6). Als Vergleich seien die entsprechenden Werte für Ethylvinylacetat (EVA) genannt, das in der früheren Anmeldung WO 00/11684 aufgeführt ist: E-Modul $< 400 \text{ MPa}$, Oberflächenhärte Shore-D < 40 und Reibkoeffizient > 1 . Dieses mechanische und tribologische Eigenschaftsprofil der gewählten Thermoplaste ermöglicht auch eine problemlose Herstellung von Roebelleitern. Dies ist ein weiterer großer Vorteil gegenüber den in der früheren Anmeldung WO 00/11684 aufgeführten Thermoplasten, mit denen die Herstellung von Roebelleitern nicht bzw. nur mit erheblichem Aufwand möglich ist. Bei der Roebelleiterherstellung muss nämlich die Isolierschicht ein ausreichendes Gleitvermögen sicherstellen, da die Einzelleiter zu einem Leiterverbund beispielsweise mittels einer Bandagierung zusammengefasst

werden, wobei es zu einer Relativbewegung der Einzelleiter gegeneinander kommt. Bedingt durch den hohen Reibkoeffizienten und der niedrigen Oberflächenhärte der in der früheren Anmeldung WO 00/11684 aufgelisteten Kunststoffe können die Einzelleiter nicht gegeneinander abgleiten, es kommt zu Deformationen der Isolierschicht, die bis zu einem Aufreißen der Isolierschicht führen können.

5 **[0025]** Ein erheblicher Vorteil der Verwendung der neuen Isolierwerkstoffe liegt in der deutlichen Reduzierung der Isolierschichtdicke. Durch die guten Verarbeitungseigenschaften dieser Kunststoffe im Schlauchreckprozess lassen sich Isolierschichtdicken der Umhüllung von unter 100 μm , vorzugsweise im Bereich 15 bis 30 μm und darunter realisieren, beispielsweise mittlere Dicken von höchstens 30 μm . Dies ist wesentlich, um eine hohe effektive Stromdichte im Leiter zu erreichen. Verglichen mit den Materialien gemäß der früheren Anmeldung WO 00/11684, wo bevorzugt mit einer Schichtdicke von ca. 50 μm gearbeitet wird, ist dies eine Verringerung der Schichtdicke von über 50 %. Die Kombination von gutem Verarbeitungsverhalten und dem oben erwähnten mechanischen und tribologischen Eigenschaftsprofil ermöglicht die sichere und problemlose Herstellung vorzugsweise von Roebelleitern mit Isolierschichtdicken von 15 bis 30 μm mit hoher effektiver Stromdichte.

10 **[0026]** Unter einem HTS-Leiter, auf den das erfindungsgemäße Verfahren anzuwenden ist, sei hierbei nicht nur ein einzelner Leiter, sondern auch eine Zusammensetzung/-fassung aus mehreren solcher Leiter oder Teilen von ihnen verstanden. Der Leiter kann dabei mindestens einen Leiterkern aus dem Supraleitermaterial enthalten.

[0027] Ein erfindungsgemäß mit einer isolierenden Umhüllung überzogener Supraleiter kann ohne zusätzliche Isolationsfolie eingesetzt werden. Somit entfällt der durch das Mitwickeln einer Isolation verursachte Fertigungsaufwand.

15 **[0028]** Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens und nach diesem Verfahren umhüllter Supraleiter gehen aus den jeweils abhängigen Ansprüchen hervor.

[0029] So können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren vorteilhaft nicht nur Umhüllungen mit allseitig etwa gleichmäßiger Dicke ausgebildet werden. Vielmehr lässt sich eine derart gestaltete Austrittsöffnung der Düse vorsehen, dass deren Beabstandung bezüglich des Leiters in dessen Umfangsrichtung gesehen ungleichmäßig ist. Auf diese Weise können insbesondere bestimmte Abstände zwischen benachbarten Leitern z.B. innerhalb eines Leiterverbundes oder einer Wicklung festgelegt werden.

20 **[0030]** Besonders vorteilhaft wird das erfindungsgemäße Verfahren zum Umhüllen eines bandförmigen Hoch- T_c -Supraleiters mit einem Aspektverhältnis von mindestens 3, vorzugsweise mindestens 10, verwendet. Gerade derartige Supraleiter, die zudem noch nur eine geringe Dicke haben können, sind mit bekannten Beschichtungsverfahren nur schwer und nur unter der Gefahr der erwähnten Kantenflucht zu beschichten.

25 **[0031]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann ebensogut auch zur Umhüllung von bandförmigen supraleitenden Mehrfach- oder -Verbundleitern verwendet werden. Derartige Leiter weisen einen Aufbau aus mehreren supraleitenden Leiterteilen oder -Leiterbereichen auf, wobei mindestens ein supraleitender Einzelleiter bzw. eine solche Leiterader vorgesehen sind. Gerade ein entsprechender Aufbau lässt sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren besonders einfach und gleichmäßig mit einer isolierenden Umhüllung ohne die Gefahr einer Beeinträchtigung der Leitereigenschaften des Supraleitermaterials versehen.

30 **[0032]** Vorteilhaft wird im Hinblick auf eine gute Haftung des ausgewählten thermoplastischen Isolationsmaterials auf dem HTS-Leiter dessen Aufheizung vor oder bei seiner Einführung in den Führungskanal vorgesehen. Die Aufheiztemperatur sollte dabei vorzugsweise zumindest annähernd die Verfahrenstemperatur (zulässige Abweichung: +/- 50°C) sein.

35 **[0033]** Vorteilhafte Ausbildungen von nach dem erfindungsgemäßen Verfahren umhüllten bandförmigen Hoch- T_c -Supraleitern sind in den Ansprüchen 13 bis 21 angegeben.

[0034] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens und von nach diesem Verfahren umhüllten Hoch- T_c -Supraleitern gehen aus den übrigen, jeweils abhängigen Ansprüchen hervor.

40 **[0035]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen noch weiter erläutert. Dabei zeigen jeweils schematisch deren Figuren 1 und 2 eine Düse einer Anlage zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens als Längsschnitt bzw. in Frontansicht sowie

deren Figur 3 eine Anlage zur Extrusionsbeschichtung eines HTS-Leiters mit einer Düse gemäß den Figuren 1 und 2.

45 **[0036]** In den Figuren sind sich entsprechende Teile mit denselben Bezugszeichen versehen. Nicht dargestellte Teile sind allgemein bekannt.

50 **[0037]** Bei einer zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorzusehenden Anlage wird von an sich bekannten Vorrichtungen ausgegangen, wie sie zur Ummantelung von nicht-supraleitenden Drähten mit Kunststoffmaterialien mittels Extrusionsbeschichtung nach dem sogenannten Schlauch-Reckverfahren verwendet werden (vgl. die genannte US 3 893 642 oder die genannten DE-A-Schriften 2 022 802 und 21 10 934). Eine entsprechende Anlage (vgl. Figur 3) umfasst einen sogenannten Extruder mit Extrusionskopf, der eine Extrusionsdüse aufweist, welche in den Figuren 1 und 2 im Längsschnitt bzw. in Frontansicht veranschaulicht ist. Diese allgemein mit 2 bezeichnete Düse enthält mittig einen Führungskanal 3. Durch diesen Kanal ist ein mit einer elektrisch isolierenden Umhüllung 4 zu versehenender Supraleiter 5 in einer durch einen Pfeil v angedeuteten Vortriebsrichtung mit Hilfe von nicht dargestellten Vortriebsmitteln

(vgl. Figur 3) zu führen. Gemäß dem angenommenen Ausführungsbeispiel handelt es sich bei dem Supraleiter 5 um einen bandförmigen HTS-Leiter. Dieser Leiter kann vorteilhaft vor dem Einführen in den Führungskanal 3 vorgeheizt werden.

[0038] Gegebenenfalls ist statt dessen oder zusätzlich der Führungskanal selbst aufheizbar.

[0039] Das Isoliermaterial der Umhüllung 4 wird in dem nicht dargestellten Extruder (vgl. Figur 3) aufgeschmolzen, in den Extrusionskopf mit Verteilersystem gefördert und als Schmelze 6 in einen Düsenpalt 7 der Extrusionsdüse 2 gedrückt. An einer Austrittsöffnung 8 des Düsenpalt 7, dessen Spaltweite dort deutlich größer ist als die endgültige Dicke d der Umhüllung 4 um den Bandleiter 5, tritt in der Vortriebsrichtung v gesehen ein Schmelzeschlauch 9 aus, der in Form eines Reckkegels aufgrund einer Fixierung seiner Kegelspitze am Bandleiter verstreckt und mit der am Bandleiter geforderten Schichtdicke d auf den Leiter aufgebracht wird. Ein am Führungskanal 3 vorteilhaft angelegtes Vakuum erzeugt im Innern des Reckkegels einen Unterdruck, der einen Einschluß von Luftblasen zwischen der Umhüllung und dem Leiter verhindert und der zusammen mit der Vorwärmung des Leiters einen guten Haftsitz der Umhüllung 4 auf dem Leiter gewährleistet. Der so umhüllte Bandleiter ist in der Figur 1 mit 5' bezeichnet.

[0040] Wie aus Figur 2 hervorgeht, hat die Düsenpaltöffnung 8 vorteilhaft eine an die Kontur des Bandleiters 5 angepaßte Form. Die somit weitgehend rechteckige Öffnung mit Abrundungen an den Ecken ist bezüglich der Flächen des Bandleiters um Abstände a_1 und a_2 beabstandet und wird durch Spaltweiten w_1 und w_2 sowie durch Krümmungsradien R_1 und R_2 in ihren Eckbereichen festgelegt. Die Abstände (a_1 , a_2) der Düsenpaltöffnung 8 vom Bandleiter 5, deren geometrische Gestaltung (w_1 , w_2 , R_1 , R_2) und die Vortriebsgeschwindigkeit v des Leiters bestimmen die Kontur der Umhüllung 4 und deren Dicke d . Die geometrische Gestaltung der Extrusionsdüse kann dabei, wie für das Ausführungsbeispiel nach Figur 2 angenommen wurde, so gewählt werden, daß die Dicke d der Umhüllung 4 auf allen Seiten etwa gleich groß ist. Dabei wird im allgemeinen eine Dicke d von weniger als 0,5 mm eingeplant, beispielsweise zwischen 30 und 300 μm . Abweichend davon kann durch eine andere Gestaltung der Extrusionsdüsenöffnung, z.B. $a_2 < a_1$ und $w_1 < w_2$, bewirkt werden, daß sich an den Schmalseiten des Leiters Seitenlippen bilden. Solche Seitenlippen können dann als Abstandshalter beim Herstellen von Lagenwicklungen Verwendung finden und machen somit ein zusätzliches Mitwickeln von besonderen Abstandshaltern wie z.B. von Glaszwirn überflüssig. Auch kann die Kontur der Austrittsöffnung 8 des Düsenpalt dahingehend strukturiert sein, daß sich auf mindestens einer Seite des Leiters eine nicht-gleichmäßige Dicke der Umhüllung ergibt. Auf diese Weise ist z.B. mittels einer rinnenartigen Vertiefung in der Kontur der Öffnung 8 eine stegartige Wulst der Umhüllung zu erhalten, die dann als ein Abstandshalter dienen kann. Ferner kann man gegebenenfalls auch von einer exakt zentrischen Führung des Supraleiters durch den Führungskanal 3 absehen, um so eine ein- oder zweiseitig stärkere Umhüllung zu erzeugen.

[0041] Als isolierende Kunststoffmaterialien für die Umhüllung 4 kommen alle thermoplastischen Werkstoffe in Frage, die einerseits eine Verarbeitungs- bzw. Schmelztemperatur haben, die eine Beeinträchtigung der Supraleitungseigenschaften des zu umhüllenden HTS-Leiters 5 ausschließt und dennoch eine hinreichende Plastizität für das Extrusionsbeschichtungsverfahren gewährleistet. Es hat sich überraschenderweise gezeigt, dass bekannte HTS-Bandleiter mit Filamenten aus Bi-Cupratmaterial, die in eine Ag-Matrix eingebettet sind, Temperaturbelastungen von über 500°C für mehrere Minuten aushalten, ohne dass ihre Supraleitungseigenschaften beeinträchtigt werden. Ein entsprechender, für die nachfolgenden Betrachtungen zu Grunde gelegter konkreter HTS-Standardbandleiter ist aus "IEEE Transactions on Applied Superconductivity", Vol. 9, No. 2, Juni 1999, Seiten 2480 bis 2485 bekannt. Er besitzt eine von einer AgMg-Hülle umgebene Ag-Matrix mit 55 darin eingelagerten, gegenseitig vertwisteten Leiterkernen bzw. -filamenten aus dem Hoch- T_c -Supraleitermaterial $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (sogenanntes "BPSCCO-2223"-HTS-Material). Seine Außendimensionen (ohne Isolation) sind $3,6 \times 0,26 \text{ mm}^2$.

[0042] Vorzugsweise für einen solchen HTS-Bandleiter werden erfindungsgemäß thermoplastische Materialien gewählt, deren Verarbeitungstemperatur über 200°C liegt und maximal 500°C betragen kann. Vorteilhaft werden solche Materialien ausgewählt, die eine Verarbeitung in einem Temperaturbereich zwischen 220°C und 450°C, insbesondere zwischen 240°C und 420°C, vorzugsweise zwischen 250°C und 380°C ermöglichen. Die Auswahl von Thermoplasten für diesen Temperaturbereich ist besonders groß. Entsprechend geeignete Materialien sind insbesondere an sich bekannte technische Thermoplaste aus der Familie der Polyamide oder Polyester, die bevorzugt für den unteren Teil (etwa zwischen 200°C und 290°C) des genannten Temperaturbereichs vorzusehen sind. Als weiterhin besonders geeignet insbesondere für den oberen Teil des Temperaturbereichs sind spezielle Hochtemperatur(HT)-Thermoplaste wie ein Polyetherimid (PEI) oder ein Polyethersulfon (PES) oder ein Polysulfon (PSU) oder ein Polyphenylsulfon (PPSU) oder ein Polyetheretherketon (PEEK) anzusehen.

[0043] Die konkrete Auswahl der thermoplastischen Isolationsmaterialien wird zusätzlich unter dem Gesichtspunkt vorgenommen, daß die eingesetzten Thermoplaste hinreichend gute Tieftemperatureigenschaften besitzen, um so Ausfälle unter Betriebsbedingungen und/oder bei Abkühlungs- und Aufwärmvorgängen ausschließen zu können.

[0044] Bei Verwendung von transparenten Isoliermaterialien kann zusätzlich die Isolierhülle mit Farbstoffen eingefärbt werden. Dadurch ist eine leichte optische Kontrolle der Umhüllung möglich.

[0045] Das erfindungsgemäße Dünnschicht-Extrusionsbeschichtungsverfahren ist besonders zum Umhüllen von bandförmigen HTS-Leitern geeignet, deren Leiterbanddicke unter 1,5 mm, vorzugsweise unter 0,5 mm, liegt und die

ein hohes Aspektverhältnis von mindestens 3, vorzugsweise mindestens 10, haben.

[0046] Ein entsprechender HTS-Bandleiter kann beispielsweise eine Breite von 3,6 mm und eine Dicke von 0,25 mm besitzen und insbesondere der vorerwähnte HTS-Standardbandleiter sein.

[0047] Als HTS-Materialien kommen prinzipiell alle bekannten oxidischen Supraleitermaterialien mit hoher Sprungtemperatur in Frage, die insbesondere eine LN₂-Kühltechnik zulassen. Dabei sind jedoch als besonders geeignet Bi-Cupratmaterialien anzusehen, die hauptsächlich die sogenannte 2212-Phase (80 K-Phase) oder vorzugsweise die sogenannte 2223-Phase (110 K-Phase) zumindest zu einem überwiegenden Teil enthalten (vgl. z.B. "IEEE Transactions on Applied Superconductivity", Vol. 7, No. 2, Juni 1997, Seiten 355 bis 358). Das Bi-Cupratmaterial kann dabei zusätzlich Pb enthalten (sogenanntes "BPSCCO").

[0048] Bandförmige HTS-Leiter mit erfindungsgemäß erstellten Umhüllungen sind außerdem zumeist mit einer zusätzlichen keramischen Oberflächenbeschichtung versehen, die ein Versintern der eigentlichen, metallischen Außenseiten bzw. Oberflächen des Leiters, die bevorzugt aus Ag oder einer Ag-Legierung wie AgMg bestehen, während erforderlicher Reaktionsglühungen verhindern sollen.

[0049] Gemäß einem konkreten Ausführungsbeispiel wurde ein entsprechender 2223-BPSCCO/Ag-Standardbandleiter mit einem erfindungsgemäßen thermoplastischen Material umhüllt. Eine entsprechende Beschichtungsanlage ist in Figur 3 angedeutet. Diese allgemein mit 12 bezeichnete Anlage weist in Bandführungsrichtung v gesehen hintereinander die folgenden Teile auf, nämlich

eine Abwickelvorrichtung (sogenannter "Abwickler") 14, von der der zu beschichtende HTS-Bandleiter 5 abgewickelt wird, eine Filzbremse 15,

eine N₂-Schutzgasspülung 16 zur Vermeidung von Oxidation, eine berührungslose induktive Leiterheizung 17, um den Leiter zumindest annähernd auf die Verarbeitungstemperatur des verwendeten thermoplastischen Isolationsmaterials wie z.B. von einem thermoplastischen Polyurethan-Elastomer aufzuheizen, eine Extrusionsbeschichtungsvorrichtung (sogenannter "Extruder") 18 mit Nachfülltrichter 19 für das thermoplastische Isoliermaterial, einem Extrusionskopf mit eingebauter Extrusiondüse 2,

eine Luftdüse 20,

mehrere Führungsrollen 21i,

einen Porendetektor 22 zur Überwachung der aufgetragenen Umhüllung,

mindestens ein Kaltluftgebläse 23j,

eine zerstörungsfreie Isolierschichtdickenüberwachung 24, einen Bandabzug 25 sowie

eine kraftgesteuerte Aufwickelvorrichtung (sogenannter "Aufwickler") 26 zur Aufnahme des mit der Umhüllung aus dem verfestigten bzw. erkalteten thermoplastischen Polyurethan-Elastomer versehenen Bandleiters 5'.

[0050] Dabei kann auch durch die Wahl einer geeigneten Bandabzugsgeschwindigkeit die Dicke d der Umhüllung beeinflusst werden. So kann z.B. bei einer Leiterdurchlaufgeschwindigkeit von etwa 5 m/min eine Umhüllung von etwa 30 µm Dicke erzeugt werden. Zur Haftverbesserung der Umhüllung auf der Leiteroberfläche wird der Leiter mittels der Leiterheizung 17 induktiv vorgeheizt, insbesondere zumindest annähernd auf ein Temperaturniveau nahe der Verarbeitungstemperatur (d.h. gegebenenfalls geringfügig darüber oder darunter, z.B. +/- 50°C). Diese nur kurzfristig erforderliche und deshalb das Supraleitermaterial nicht schädigende Vorwärmung des Leiters erfolgt vorteilhaft unter Schutzgasatmosphäre, um Oxidbildungen auf der Leiteroberfläche zu vermeiden, die sich negativ auf die Haftung der isolierenden Umhüllungsschicht auf dem Leiter auswirken können. Eine mögliche Vorwärmung eines Leiters ist zwar prinzipiell bekannt;

allerdings liegen die bisher angewandten Vorwärmtemperaturen deutlich niedriger als die für HTS-Leiter vorzusehenden Verarbeitungstemperaturen der gewählten Thermoplaste. Um eine wirklich gute adhäsive Bindung des Isoliermaterials auf dem Leiter sicherzustellen, ist eine Leitervorwärmung auf eine möglichst hohe Temperatur zweckmäßig, bei der eine HTS-Leiterschädigung bzgl. seiner supraleitenden Eigenschaften noch nicht auftritt. Beim Auftreffen einer heißen Thermoplastschmelze auf einen unzureichend vorgewärmten Leiter könnte es sonst zu einem unerwünschten sofortigen Einfrieren und Erstarren der Schmelze an der Kontaktfläche kommen; und damit wäre eine ausreichende Benetzung der Leiteroberfläche durch die Schmelze verhindert. Eine gute Benetzung ist aber Voraussetzung für die Ausbildung einer Adhäsionshaftung. Unterstützt wird diese Haftung durch den erwähnten Unterdruck im Reckkegel. Beim anschließenden Beschichtungsprozeß dienen die hinter dem Extruder 18 angebrachten Luftdüsen der Luftdüse 20, ein eventuell noch vorhandener Gegenstromkühler sowie das Gebläse 23j zur schnelleren Abkühlung und Verfestigung der

aufgetragenen Umhüllungsschicht aus dem thermoplastischen Isoliermaterial. Weiterhin erfolgt eine on-line Prüfung auf Isolationsfehler durch einen zerstörungsfrei arbeitenden Porendetektor 22 und eine Überwachung der aufgetragenen Isolierschichtdicke z.B. mittels Laseranordnung 24. Aufgrund der schnellen Abkühlung und Verfestigung der Umhüllung kann ein Verkleben der Umhüllungen beim anschließenden Aufwickeln des Leiters 5' auf dem Aufwickler 26 verhindert werden. Zusätzlich kann dort als Zwischenlage eine Trennschicht z.B. aus Papier mit dem Leiter auf den als Vorratsspule dienenden Aufwickler 26 gewickelt werden, um dort ein Verkleben des Leiters während der Lagerung auszuschließen. Statt dessen kann die Umhüllung des Leiters mit einem hierfür geeigneten Puder, beispielsweise aus Talkum, versehen werden.

[0051] Nachfolgend sind einige konkrete Ausführungsbeispiele im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens auf-

EP 1 273 015 B1

geführt:

Beispiel 1: Aufbringen der Isolierschicht nach dem vorstehend beschriebenen Verfahren mit Isolation aus PEEK

5 **[0052]**

	Verarbeitungstemperatur Schmelze:	380 °C
	Leitervorwärmung:	375 °C
10	Isolation aus PEI Verarbeitungstemperatur	Schmelze: 370 °C
	Leitervorwärmung:	370 °C
	Isolation aus PPSU Verarbeitungstemperatur	Schmelze: 375 °C
	Leitervorwärmung:	370 °C

15 Beispiel 2: Schichtdicke der aufgetragenen Isolation

[0053]

	PEEK	PEEK	PEI	PPSU	EVA
20	Leiter 1	Leiter 2			
	25 µm	15 µm	30 µm	25 µm	50 µm

Beispiel 3: Haftung Isolation-Tränkeharz (Stycast 1266)

25 **[0054]**

	PEEK/Stycast 1266: Trennung nur durch Abreißen der Isolation vom Leiter möglich
	PEI/Stycast 1266: Trennen nur durch Abreißen der Isolation vom Leiter möglich
30	PPSU/Stycast 1266: Trennen nur durch Abreißen der Isolierschicht vom Leiter möglich
	EVA/Stycast 1266: leichte Trennung ohne Zerstörung der Leiterisolation

Beispiel 4: elektrische Eigenschaften bei 77 K in flüssigem Stickstoff

35 DC-Isolationstests

[0055]

	Teilentladung Leiter/ Leiter	Durchschlag Leiter/ Leiter	Teilentladung Leiter/ Kante	Durchschlag Leiter/ Kante
40	PEEK (25 µm)	5500 V	15000 V	3000 V
	PPSU (25 µm)	3200 V	12000 V	2500 V
	EVA (50 µm)	3000 V	8000 V	2700 V

45 AC-Isolationstests

[0056]

	Durchschlag Leiter/Leiter	Durchschlag Leiter/Kante
50	PEEK (25 µm)	4,7 kVeff
	PPSU (25 µm)	5,0 kVeff
	EVA (50 µm)	4,2 kVeff

55 **[0057]** Die vorstehend aufgeführten EVA-Werte stellen dabei im Rahmen des mit der eingangs genannten WO-Schrift vorgeschlagenen Verfahrens gewonnene Vergleichswerte dar.

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Herstellung einer allseitigen Umhüllung aus einem elektrischen Isolationsmaterial aus Kunststoff um mindestens einen bandförmigen Supraleiter mit oxidischem Hoch- T_c -Supraleitermaterial, wobei zu einem kontinuierlichen Umhüllungsprozess bei einer die Supraleitungseigenschaften des Leiters praktisch nicht beeinträchtigenden Verfahrenstemperatur
- 10 - der Leiter aus einem sich in einer Vortriebsrichtung erstreckenden Führungskanal austritt,
 - ein Schmelzeschlauch aus einem geschmolzenen thermoplastischen Isolationsmaterial in der Vortriebsrichtung aus einer Düse extrudiert wird, deren Austrittsöffnung den Leiter unter allseitiger Beabstandung umgibt,
 - mit dem Vortrieb des Leiters der Schmelzeschlauch gedehnt und auf die Leiteroberfläche gezogen wird sowie
 - der so auf die Leiteroberfläche aufgebrauchte Schmelzeschlauch durch Abkühlung verfestigt wird,
- 15 bei welchem Verfahren bei einer Verfahrenstemperatur zwischen 200°C und 500°C, vorzugsweise zwischen 220°C und 450°C, als Isolationsmaterial ein thermoplastisches Material verwendet wird, dessen Schmelztemperatur in diesem Temperaturbereich liegt.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Verfahrenstemperatur zwischen 240°C und 420°C, vorzugsweise zwischen 250°C und 380°C, vorgesehen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Isolationsmaterial ein Polyamid oder ein Polyester vorgesehen wird.
- 25 4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Isolationsmaterial ein Polyetherimid (PEI) oder ein Polyethersulfon (PES) oder ein Polysulfon (PSU) oder ein Polyphenylsulfon (PPSU) oder ein Polyetheretherketon (PEEK) vorgesehen wird.
- 30 5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Leiter (5) vor oder bei dem Einführen in den Führungskanal (3) zumindest annähernd auf die Verfahrenstemperatur aufgeheizt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Führungskanal (3) aufgeheizt wird.
- 35 7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Leiter (5) unter einer Schutzgasatmosphäre aufgeheizt wird.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Aufbringen des Schmelzeschlauchs (9) auf die Leiteroberfläche der Innenraum des Schlauchs evakuiert wird.
- 40 9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schmelzeschlauch (9) um einen Reckgrad zwischen 5 und 15 gedehnt wird.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der aus der Düse (2) ausgetretene, mit der Umhüllung (4) versehene Leiter (5') einer Abkühlungsbehandlung unterzogen wird.
- 45 11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine derart gestaltete Austrittsöffnung (8) der Düse (2) vorgesehen wird, dass deren Beabstandung bezüglich des Leiters (5) in dessen Umfangsrichtung gesehen ungleichmäßig ist.
- 50 12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Umhüllung (4) mit einer mittleren Dicke (d) von höchstens 100 μm , vorzugsweise höchstens 30 μm , ausgebildet wird.
- 55 13. Nach dem Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche umhüllter bandförmiger Hoch- T_c -Supraleiter, **gekennzeichnet durch** ein Aspektverhältnis von mindestens 3, vorzugsweise mindestens 10.
14. Umhüllter bandförmiger Hoch- T_c -Supraleiter nach Anspruch 13, **gekennzeichnet durch** eine Banddicke von höchstens 1,5 mm, vorzugsweise höchstens 0,5 mm.

EP 1 273 015 B1

15. Umhüllter bandförmiger Hoch- T_c -Supraleiter nach Anspruch 13 oder 14, **gekennzeichnet durch** mehrere in ein normalleitendes Material eingebettete Leiterkerne aus dem Hoch- T_c -Supraleitermaterial.
- 5 16. Nach dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 umhüllter bandförmiger Hoch- T_c -Supraleiter, **gekennzeichnet durch** eine Ausbildung als ein supraleitender Mehrfach- oder Verbundleiter, der mindestens einen supraleitenden Einzelleiter oder -Leiterkern umfasst.
- 10 17. Umhüllter bandförmiger Hoch- T_c -Supraleiter nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mindestens eine Einzelleiter mehrere in ein normalleitendes Material eingebettete Leiterkerne aus dem Hoch- T_c -Supraleitermaterial enthält.
18. Umhüllter bandförmiger Hoch- T_c -Supraleiter nach einem der Ansprüche 13 bis 17, **gekennzeichnet durch** eine Umhüllung (4), deren Dicke (d) auf mindestens zwei Seiten des Leiters höchstens 0,03 mm beträgt.
- 15 19. Umhüllter bandförmiger Hoch- T_c -Supraleiter nach einem der Ansprüche 13 bis 18, **gekennzeichnet durch** eine Umhüllung (4), deren Dicke (d) an den Schmalseiten des Leiters größer ist als an den Breitseiten.
- 20 20. Umhüllter bandförmiger Hoch- T_c -Supraleiter nach einem der Ansprüche 13 bis 19, **gekennzeichnet durch** Supraleitermaterial aus einem Bi-Cuprat, das in Ag zumindest enthaltendes normalleitendes Material eingebettet ist.
21. Umhüllter bandförmiger Hoch- T_c -Supraleiter nach einem der Ansprüche 13 bis 20, **gekennzeichnet durch** einen Aufbau als ein Roebelstab-Leiter, dessen bandförmige Supraleiter (5) jeweils einzeln umhüllt sind.

25 Claims

- 30 1. Method for producing a sheathing made of an electrical insulating material of plastic on all sides around at least one superconductor in strip form with oxidic high- T_c superconductor material, wherein, for a continuous sheathing process at a process temperature having virtually no detrimental effect on the superconducting properties of the conductor,
- 35 - the conductor emerges from a guide channel extending in a direction of advancement,
- a melt tube of molten thermoplastic insulating material is extruded in the direction of advancement from a die, the outlet opening of which surrounds the conductor at a distance on all sides,
- the melt tube is stretched and drawn onto the surface of the conductor as the conductor is advanced
and
- the melt tube applied in this way to the surface of the conductor is made to set by cooling,
- in which method at a process temperature between 200°C and 500°C, preferably between 220°C and 450°C, a thermoplastic material whose melting temperature is in this temperature range is used as the insulating material.
- 40 2. Method according to Claim 1, **characterized in that** a process temperature between 240°C and 420°C, preferably between 250°C and 380°C, is provided.
- 45 3. Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** a polyamide or a polyester is provided as the insulating material.
- 50 4. Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** a polyether imide (PEI) or a polyether sulphone (PES) or a polysulphone (PSU) or a polyphenylene sulphone (PPSU) or a polyether ether ketone (PEEK) is provided as the insulating material.
- 55 5. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the conductor (5) is heated up, at least approximately to the process temperature, before or during introduction into the guide channel (3).
6. Method according to Claim 5, **characterized in that** the guide channel (3) is heated up.
7. Method according to Claim 5 or 6, **characterized in that** the conductor (5) is heated up under an inert gas atmosphere.
8. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that**, for bringing the melt tube (9) onto the

surface of the conductor, the space inside the tube is evacuated.

- 5
9. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the melt tube (9) is stretched by a degree of stretching of between 5 and 15.
10. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the conductor (5') emerging from the die (2), provided with the sheathing (4), is subjected to a cooling treatment.
- 10 11. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** an outlet opening (8) of the die (2) shaped such that its spacing with respect to the conductor (5) is non-uniform, seen in the circumferential direction of the latter, is provided.
12. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** a sheathing (4) with an average thickness (d) of at most 100 μm , preferably at most 30 μm , is formed.
- 15 13. High- T_c superconductor in strip form sheathed according to the method according to one of the preceding claims, **characterized by** an aspect ratio of at least 3, preferably at least 10.
- 20 14. Sheathed high- T_c superconductor in strip form according to Claim 13, **characterized by** a strip thickness of at most 1.5 mm, preferably at most 0.5 mm.
15. Sheathed high- T_c superconductor in strip form according to Claim 13 or 14, **characterized by** a plurality of conductor cores of the high- T_c superconductor material, embedded in a normally conducting material.
- 25 16. High- T_c superconductor in strip form sheathed according to the method according to one of Claims 1 to 12, **characterized by** being formed as a superconducting multiple or composite conductor, which comprises at least one superconducting single conductor or conductor core.
- 30 17. Sheathed high- T_c superconductor in strip form according to Claim 16, **characterized in that** the at least one single conductor contains a plurality of conductor cores of the high- T_c superconductor material embedded in a normally conducting material.
- 35 18. Sheathed high- T_c superconductor in strip form according to one of Claims 13 to 17, **characterized by** a sheathing (4) of which the thickness (d) on at least two sides of the conductor amounts at most to 0.03 mm.
19. Sheathed high- T_c superconductor in strip form according to one of Claims 13 to 18, **characterized by** a sheathing (4) of which the thickness (d) on the narrow sides of the conductor is greater than on the wide sides.
- 40 20. Sheathed high- T_c superconductor in strip form according to one of Claims 13 to 19, **characterized by** superconductor material of a Bi cuprate, which is embedded in normally conducting material at least containing Ag.
- 45 21. Sheathed high- T_c superconductor in strip form according to one of Claims 13 to 20, **characterized by** a construction as a Roebel bar conductor, whose superconductors (5) in strip form are each sheathed individually.

Revendications

- 50 1. Procédé d'obtention d'un enrobage de tous côtés en une matière plastique isolante du point de vue électrique d'au moins un supraconducteur en forme de bande ayant une matière supraconductrice oxydée à T_c haute, dans lequel dans une opération d'enrobage continu à une température du procédé n'influant pratiquement pas sur les propriétés de supraconduction du conducteur,
- 55 - on fait sortir le conducteur d'un canal de guidage s'étendant dans une direction d'avance,
 - on extrude un tube souple fondu en une matière isolante thermoplastique fondue dans la direction d'avance d'une buse dont l'orifice de sortie entoure le conducteur en étant à distance de tous côtés,
 - par l'avance du conducteur, le tube souple fondu est allongé et est tiré sur la surface du conducteur, ainsi que
 - on solidifie par refroidissement le tube souple fondu déposé à la surface du conducteur,

EP 1 273 015 B1

procédé dans lequel on utilise, à une température du procédé comprise entre 200°C et 500°C, de préférence entre 220°C et 450°C, comme matière isolante une matière thermoplastique dont le point de fusion est dans cette plage de températures.

- 5 2. Procédé suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'on prévoit une température du procédé comprise entre 240°C et 420°C, de préférence entre 250°C et 380°C.
3. Procédé suivant la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'on prévoit comme matière isolante un polyamide ou un polyester.
- 10 4. Procédé suivant la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'on prévoit comme matière isolante un polyétherimide (PEI) ou une polyéthersulfone (PES) ou une polysulfone (PSU) ou une polyphénylènesulfone (PPSU) ou une polyétheréthercétone (PEEK).
- 15 5. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on porte le conducteur (5) avant ou lors de l'entrée dans le canal (3) de guidage au moins à peu près à la température du procédé.
6. Procédé suivant la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'on chauffe le canal (3) de guidage.
- 20 7. Procédé suivant la revendication 5 ou 6, **caractérisé en ce que** l'on chauffe le conducteur (5) sous une atmosphère de gaz protecteur.
8. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, pour déposer le tube (9) souple fondu à la surface du conducteur, on fait le vide à l'intérieur du tube souple.
- 25 9. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on allonge le tube (9) souple fondu d'un degré d'étirage compris entre 5 et 15.
- 30 10. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on soumet le conducteur (5') sorti de la buse (2) et muni de l'enrobage (4) à un traitement de refroidissement.
11. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on prévoit un orifice (8) de sortie de la buse (2) tel que sa distance au conducteur (5), considéré dans sa direction de pourtour, n'est pas uniforme.
- 35 12. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on constitue un enrobage (4) d'une épaisseur (d) moyenne de 100 μm au plus, de préférence de 30 μm au plus.
13. Supraconducteur à T_c haute en forme de bande enrobée suivant le procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé par** un rapport d'aspect d'au moins 3, de préférence d'au moins 10.
- 40 14. Supraconducteur à T_c haute en forme de bande enrobée suivant la revendication 13, **caractérisé par** une épaisseur de bande de 1,5 mm au plus, de préférence de 0,5 mm au plus.
15. Supraconducteur à T_c haute en forme de bande enrobée suivant la revendication 13 ou 14, **caractérisé par** plusieurs âmes de conducteur en la matière supraconductrice à T_c haute incorporée dans une matière de conduction normale.
- 45 16. Supraconducteur à T_c haute en forme de bande enrobée suivant l'une des revendications 1 à 12, **caractérisé par** une constitution sous la forme d'un conducteur supraconducteur multifilaire ou composite qui comprend au moins un conducteur individuel supraconducteur ou une âme conductrice supraconductrice.
- 50 17. Supraconducteur à T_c haute en forme de bande enrobée suivant la revendication 16, **caractérisé en ce que** le au moins un conducteur individuel a plusieurs âmes conductrices en la matière supraconductrice à T_c haute incorporée dans une matière de conduction normale.
- 55 18. Supraconducteur à T_c haute en forme de bande enrobée suivant l'une des revendications 13 à 17, **caractérisé par** un enrobage (4) dont l'épaisseur (d) sur au moins deux côtés du conducteur est de 0,03 mm au plus.
19. Supraconducteur à T_c haute en forme de bande enrobée suivant l'une des revendications 13 à 18, **caractérisé par**

EP 1 273 015 B1

un enrobage (4) dont l'épaisseur (d) est plus grande sur les petits côtés du conducteur que sur les grands côtés.

5 **20.** Supraconducteur à T_c haute en forme de bande enrobée suivant l'une des revendications 13 à 19, **caractérisé en ce que** la matière supraconductrice est en cuprate de Bi qui est incorporé dans une matière conductrice normale contenant au moins de l'Ag.

10 **21.** Supraconducteur à T_c haute en forme de bande enrobée suivant l'une des revendications 13 à 20, **caractérisé par** une structure sous la forme d'un conducteur en barre Roebel dont les supraconducteurs (5) en forme de bandes sont enrobés respectivement individuellement.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

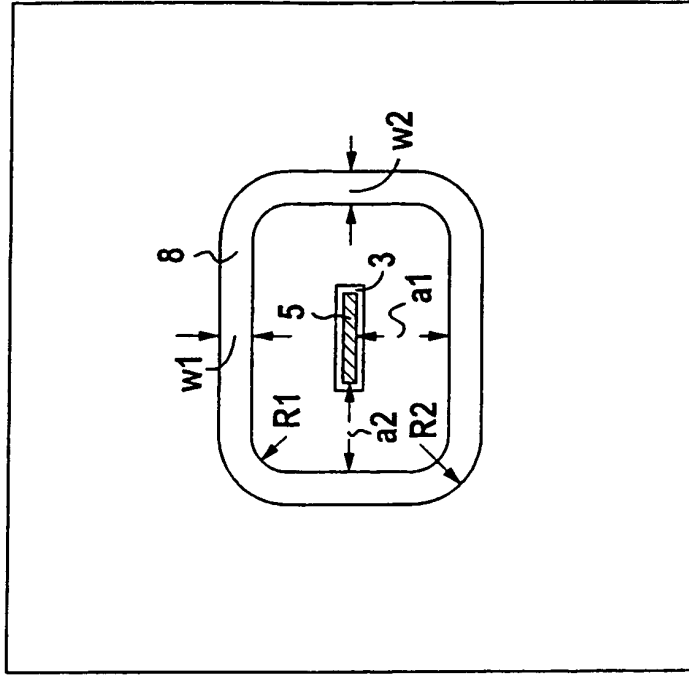


FIG 2

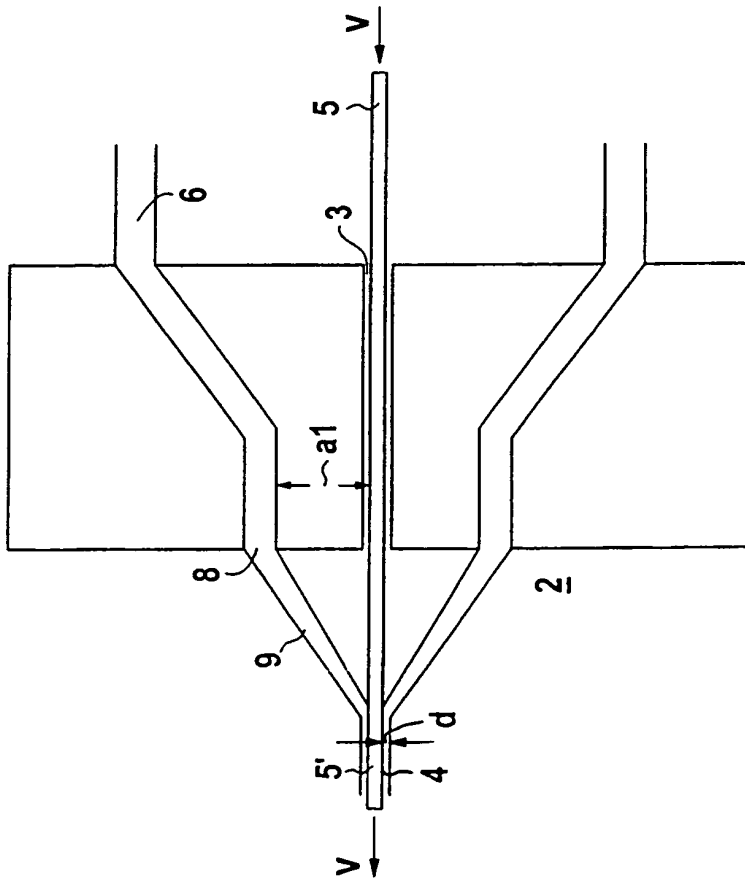


FIG 1

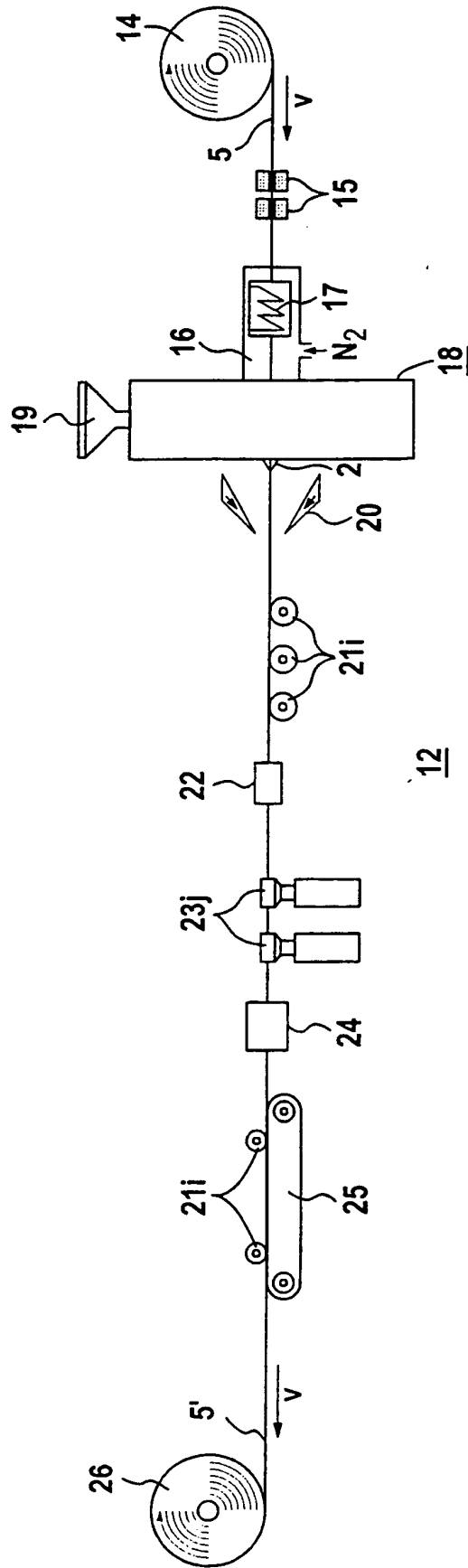


FIG 3

12