



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer :

**0 046 908
B1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag der Patentschrift :
09.01.85

(51) Int. Cl.⁴ : **H 01 F 5/08, H 01 L 39/24**

(21) Anmeldenummer : **81106315.5**

(22) Anmeldetag : **13.08.81**

(54) **Verfahren zur Herstellung einer supraleitenden Wicklung.**

(30) Priorität : **28.08.80 DE 3032399**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung :
10.03.82 Patentblatt 82/10

(45) Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung : **09.01.85 Patentblatt 85/02**

(84) Benannte Vertragsstaaten :
AT CH FR GB IT LI SE

(56) Entgegenhaltungen :
**WO-A-80 /026 19
DE-A- 1 690 075
DE-A- 2 040 298
DE-A- 2 709 300
DE-B- 2 856 885**

(73) Patentinhaber : **BROWN, BOVERI & CIE Aktiengesellschaft
Kallstadter Strasse 1
D-6800 Mannheim 31 (DE)**

(72) Erfinder : **Dustmann, Cord-Heinrich, Dr. Dipl.-Phys.
Mannheimer-Strasse 8
D-7514 Eggenstein-Leopoldshafen (DE)**

(74) Vertreter : **Kempe, Wolfgang, Dr. et al
c/o BROWN, BOVERI & CIE AG Kallstadter Strasse 1
Postfach 351
D-6800 Mannheim 31 (DE)**

EP 0 046 908 B1

Anmerkung : Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt 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

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung einer supraleitenden Wicklung, bei dem mehrere tausend mit einer supraleitenden Schicht und mit einer hochleitfähigen Metallschicht versehene Fasern zu einem Bündel zusammengefaßt sind und dieses Bündel mit einer Isolationsschicht umgeben ist.

Bisher sind Supraleiter als Filamentleiter in Drahtform und als Faserleiter bekannt. Im folgenden wird der Begriff « Filamente » für die fest in eine metallische Matrix eingebetteten supraleitenden Fäden aus bsw. NbTi oder Nb₃Sn benutzt, und der Begriff « Fasern » gilt für unverflochten und ungebunden vorliegende Fäden aus jeglichem Material, z. B. C-Fasern, Borfasern, Stahlfasern.

Es ist bekannt, aus supraleitenden Drähten Spulen herzustellen. Dabei bestehen die supraleitenden Drähte aus supraleitenden Filamenten aus bsw. NbTi oder Nb₃Sn, die in eine Matrix aus hochleitfähigem Material, bsw. Kupfer oder Aluminium eingebettet sind. Die Drähte werden durch metallurgische Verfahren hergestellt. Dabei ist eine gute intermetallische Verbindung zwischen den supraleitenden Filamenten und dem Matrixmaterial für die Funktionstüchtigkeit des supraleitenden Drahtes entscheidend.

Bis zu einer durch die Strombelastbarkeit des Supraleiters gegebenen Stromstärke können die Spulen aus einzelnen supraleitenden Drähten gewickelt werden. Für höhere Stromstärken werden mehrere Drähte zu Seilen zusammengefaßt und mit einer gemeinsamen Isolierschicht umgeben. Diese Seile werden zu Spulen gewickelt und zwar müssen, um die Funktionssicherheit solcher Spulen sicherzustellen, die Seile sorgfältig nebeneinander geschichtet und Hohlräume vermieden werden. Die supraleitenden Drähte oder Seile sowie die Isolierung werden durch eine Imprägnierung mit Harz in ihrer Lage fixiert (DE-A-27 09 300).

Die metallurgischen Herstellungsverfahren für supraleitende Drähte sind insbesondere für Nb₃Sn-Supraleiter sehr aufwendig. Bei letzteren muß zur Bildung des supraleitenden Materials eine Diffusionsglühung bei bsw. 700° für ca. 60 Stunden durchgeführt werden. Wird diese Glühung vor dem Wickelprozeß durchgeführt, so besteht beim Wickeln die Gefahr der Beschädigung des sehr spröden Nb₃Sn-Materials, was sich erst an der fertigen Spule überprüfen läßt. Wird die Glühung nach dem Wickelprozeß durchgeführt, so muß die gesamte Spule einschließlich der Isolation geglüht werden, was an die Isolation und die verwendeten Struktur- und Kontaktmaterialien besondere Anforderungen bezüglich der Temperaturbeständigkeit stellt.

Durch die DE-A-20 40 298 sind Leiter zum Wickeln von Spulen bekanntgeworden, bei denen etwa tausend Fasern zu einem drahtförmigen Leiter zusammengefaßt sind (Faserleiter) und diese Leiter mit einer Isolierschicht überzogen sind.

Dabei sollen die Leiter so angeordnet werden, daß in die feinen Kanäle zwischen den gebündelten Fasern superfluides Helium eindringen kann. Maßnahmen zu Vermeidung mechanischer Instabilitäten sind dabei nicht vorgesehen, so daß bei Auftreten großer Magnetfelder nachteilige Leiterbewegungen auftreten können.

Derartige Wicklungen haben gegenüber den Wicklungen, die aus in einer starren Matrix angeordneten Supraleitern oder zu Seilen zusammengefaßten supraleitenden Drähten bestehen, den Vorteil, daß beim Wickeln keine Hohlräume entstehen, da sich das Bündel jeder Querschnittsform anzupassen vermag. Ferner hat ein Faserbündel aus lose nebeneinanderliegenden Fasern für das Wickeln von Spulen den Vorteil, daß die Gefahr des Brechens einzelner Fasern des Bündels deutlich vermindert wird.

Zur Herstellung von Faserleitern ist es bereits bekannt, Kohlenstofffasern mit einer dünnen Schicht einer Niobverbindung der allgemeinen Formel NbC_xN_y und einer äußeren hochleitfähigen Metallschicht zu versehen. Derartige supraleitende Niobcarbonitrid-Schichten können kontinuierlich hergestellt werden, bsw. kann aus dampfförmigem Niobchlorid in einer Wasserstoffatmosphäre bei etwa 600 °C metallisches Niob auf den Kohlenstofffasern (Kohlenstofffilamenten) abgeschieden werden. Dieses metallische Niob wird anschließend in einer Ammoniak- und Methanatmosphäre bei etwa 1 000 °C in die supraleitende Niobcarbonitridverbindung umgewandelt (DE-B-28 56 885).

Es ist Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer supraleitenden Wicklung anzugeben, bei dem mehrere tausend mit einer supraleitenden Schicht und mit einer hochleitfähigen Metallschicht versehene Fasern lediglich locker zu einem Bündel zusammengefaßt sind und dieses Bündel mit einer Isolationsschicht umgeben ist. Bei dem Verfahren sollen die Nachteile beim Wickeln mit Filamentleitern oder starr zusammengefaßten Leitern vermieden werden. Es soll fern die mechanische Stabilität der einzelnen Fasern sichergestellt werden.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß das Bündel in Kunststoff getränkt, in einer Form zu einer Spule gewickelt und der Kunststoff in dieser Form ausgehärtet wird.

Nach dem Aushärten ist die Wicklung so stabil, daß die Form entfernt werden kann und ein Spulenkörper nicht erforderlich ist. Da der für den Spulenkörper beanspruchte Raum für Windungen zur Verfügung steht, wird neben einer Einsparung an Material der zur Verfügung stehende Raum besser ausgenutzt. Die jedes Bündel umgebende Isolationsschicht kann bsw. eine Umbandelung mit Folie oder eine Umspinnung oder Umflechtung von Glasfasern sein.

Vor dem Aushärten des Kunststoffes wird die Wicklung in der Form gepreßt. Durch geeignete

Abstimmung von Kunststoffanteil und Presskraft kann z. B. für Gleichstromspulen ein guter Kontakt von Faser zu Faser eines Bündels erreicht und damit der Querwiderstand gesenkt werden, während für gepulste Magnetspulen ein höherer Querwiderstand zwischen den einzelnen Fasern durch einen höheren Kunststoffanteil und/oder eine geringere Preßkraft erzielt wird, so daß Stromverdrängungseffekte erheblich verringert werden.

Weiterhin ist es zweckmäßig, wenn das Fasermaterial auf den bereits vorliegenden Trägerkörper derart abgestimmt wird, daß das thermische Schrumpfverhalten der supraleitenden Wicklung an das thermische Schrumpfverhalten des Trägerkörpers angepaßt wird.

Wenn z. B. eine Generatorwelle aus Stahl besteht, so zieht sich diese beim Abkühlen von Raumtemperatur auf die Betriebstemperatur von 4,5 °K zusammen. Zur Anpassung der Wicklung an dieses Zusammenschrumpfen der Generatorwelle ist es zweckmäßig, als Fasergrundmaterial für eine derartige Wicklung Stahl oder einen anderen Werkstoff mit ähnlicher thermischer Dilatation zu verwenden.

In die Faserleiterwicklung können an beliebiger Stelle Kühlrohre integriert werden. Die mechanische Festigkeit wird durch diese Kühlrohre nicht beeinflusst.

Die Fig. 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Spule, während in Fig. 2 die Wickelform dargestellt ist, die nur für die Herstellung der Wicklung verwendet wird und zweckmäßig teilbar ist. Die Wickelform besteht aus dem Kern 5 und den beiden Seitenteilen bzw. Endscheiben 6 und 7. Der Außendurchmesser des Kerns 5 entspricht dem Innendurchmesser D_i der Spule. Der Durchmesser der Endscheiben 6 und 7 muß größer als der Außendurchmesser D_a der Spule sein. Wie aus Fig. 2 zu ersehen ist, wird ein mit Isolierung versehenes Bündel 8, das aus mehreren Fasern besteht und mit Kunststoff getränkt ist, auf den Kern 5 der Spulenform gewickelt, auf dem schon mehrere Windungen 9 aufgebracht wurden. Die in Fig. 1 dargestellten Kühlrohre 2 können nach Aufbringen der ersten Lage Bündel aufgewickelt oder aufgeschoben werden. Anschließend kann das Bündel 8 weiter in die Spulenform gewickelt werden, bis die erforderliche Windungszahl erreicht ist. An den Enden 3 und 4 des Kühlrohres 2 kann, wenn die Spule in Betrieb ist, ein Kühlmedium zu bzw. abgeführt werden. Mit L ist die Länge der Spule angegeben. Der Spulenteil 1 besteht aus den Faserleitern und dem Kunststoff, mit dem das Bündel getränkt wurde und der nach Wickeln der Spule ausgehärtet wird, so daß der Kern 5 und die Endscheiben 6 und 7 der Wickelform entfernt werden können.

Vor dem Aushärten wird durch ein geeignetes Preßwerkzeug die Wicklung in die gewünschte Form gepreßt, durch geeignete Wahl von Preßkraft und Kunststoffanteil kann die Spule den gewünschten Betriebsbedingungen angepaßt werden. Bei der Verwendung von Gleichstrom-

spulen ist ein starkes Zusammenpressen und/oder ein geringerer Kunststoffanteil zweckmäßig, um zwischen den Faserleitern eines Stranges einen guten Kontakt zu erreichen, so daß ein geringer Querwiderstand entsteht. Bei gepulsten Magnetspulen ist dagegen ein geringeres Zusammenpressen der Spule bei einem größeren Kunststoffanteil zweckmäßiger, da hierdurch der Stromverdrängungseffekt bei starkem Anstieg des Stromes günstig beeinflusst wird.

Ansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer supraleitenden Wicklung, bei dem mehrere tausend mit einer supraleitenden Schicht und mit einer hochleitfähigen Metallschicht versehene Fasern zu einem Bündel zusammengefaßt sind und dieses Bündel mit einer Isolationsschicht umgeben ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Bündel in Kunststoff getränkt, in einer Form (5, 6, 7) zu einer Spule (1) gewickelt und der Kunststoff in dieser Form ausgehärtet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Isolationsschicht aus einer Umbandlung mit Folie oder aus Umspinnung oder Umflechtung mit Glasfasern hergestellt ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Wicklung (1) vor dem Aushärten in der Spulenform gepreßt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3 für eine Gleichstromspule, dadurch gekennzeichnet, daß der Kunststoffanteil und die Preßkraft derart aufeinander abgestimmt werden, daß innerhalb des Faserleiterstranges ein guter Kontakt von Faserleiter zu Faserleiter vorhanden ist (geringer Querwiderstand).

5. Verfahren nach Anspruch 3 für gepulste Magnetspulen, dadurch gekennzeichnet, daß der Kunststoffanteil und die Preßkraft derart aufeinander abgestimmt werden, daß ein hoher Querwiderstand zwischen den Faserleitern eines Stranges vorhanden ist (Vermeidung eines Stromverdrängungseffektes).

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere Kühlrohre (2) mit dem Faserleiterstrang (8) in die Spulenform (5, 6, 7) gewickelt werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem gegebenen Trägerkörper (z. B. Generatorwelle) ein Fasermaterial verwendet wird, dessen thermisches Schrumpfverhalten und damit das Schrumpfverhalten der supraleitenden Wicklung dem Schrumpfverhalten des Trägerkörpers angepaßt ist.

Claims

1. Method for manufacturing a superconductive winding in which several thousand fibres, which are provided with a superconductive layer and with a highly conductive metal layer, are

combined to form a bundle and this bundle is surrounded by an insulation layer, characterised in that the bundle is saturated in synthetic material, wound in a former (5, 6, 7) into a coil (1) and the synthetic material is hardened in this former.

2. Method according to Claim 1, characterised in that the insulation layer is produced from a foil wrapping or a glass fibre braiding or covering.

3. Method according to Claim 1 or 2, characterised in that, before the hardening, the winding (1) is pressed inside the coil former.

4. Method according to Claim 3, relating to a direct-current coil, characterised in that the proportion of synthetic material and the pressing force are matched to each other in such a manner that good contact exists between fibre conductor and fibre conductor (low transverse resistance) within the strand of fibre conductors.

5. Method according to Claim 3, relating to pulsed magnetic coils, characterised in that the proportion of synthetic material and the pressing force are matched to each other in such a manner that a high transverse resistance exists between the fibre conductors of a strand (preventing a current displacement effect).

6. Method according to one of Claims 1 to 5, characterised in that one or several cooling tubes (2) are wound together with the fibre-conductor strand (8) into the coil former (5, 6, 7).

7. Method according to one of Claims 1 to 6, characterised in that, with a given carrier body (for example a generator shaft), a fibre material is used, the thermal shrinkage characteristic of which and thus the shrinkage characteristic of the superconductive winding is matched to the shrinkage characteristic of the carrier body.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un enroulement supraconducteur, dans lequel plusieurs milliers de fibres revêtues d'une couche supraconduc-

trice et d'une couche métallique de haute conductibilité sont rassemblées en un faisceau et ce faisceau est entouré d'une couche isolante, caractérisé par le fait que le faisceau est imprégné de matière plastique et enroulé dans un moule (5, 6, 7) pour former une bobine (1), la matière plastique étant durcie par cuisson dans ce moule.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la couche isolante est obtenue par emmaillotage à l'aide d'une feuille ou par tissage ou tressage en rond de fibres de verre.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé par le fait que l'enroulement (1) est soumis à compression avant son durcissement par cuisson dans le moule à bobines.

4. Procédé selon la revendication 3 pour une bobine à courant continu, caractérisé par le fait que la quantité de matière plastique et la force de compression sont harmonisées mutuellement de telle manière qu'il règne, à l'intérieur de l'écheveau de conducteurs en fibres, un bon contact d'un conducteur en fibres à un autre conducteur en fibres (faible résistance transversale).

5. Procédé selon la revendication 3 pour bobines magnétiques pulsées, caractérisé par le fait que la quantité de matière plastique et la force de compression sont harmonisées mutuellement, de telle manière qu'une forte résistance transversale règne entre les conducteurs en fibres d'un écheveau (en évitant un effet pelliculaire).

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait qu'un ou plusieurs tubes de refroidissement (2) sont enroulés dans le moule (5, 6, 7) à bobines conjointement à l'écheveau (8) de conducteurs en fibres.

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé par le fait que, en présence d'un élément de support donné (par exemple l'arbre d'un générateur), on utilise une matière fibreuse dont le comportement de contraction thermique, et donc le comportement de contraction de l'enroulement supraconducteur, est adapté au comportement de contraction de l'élément de support.

50

55

60

65

4

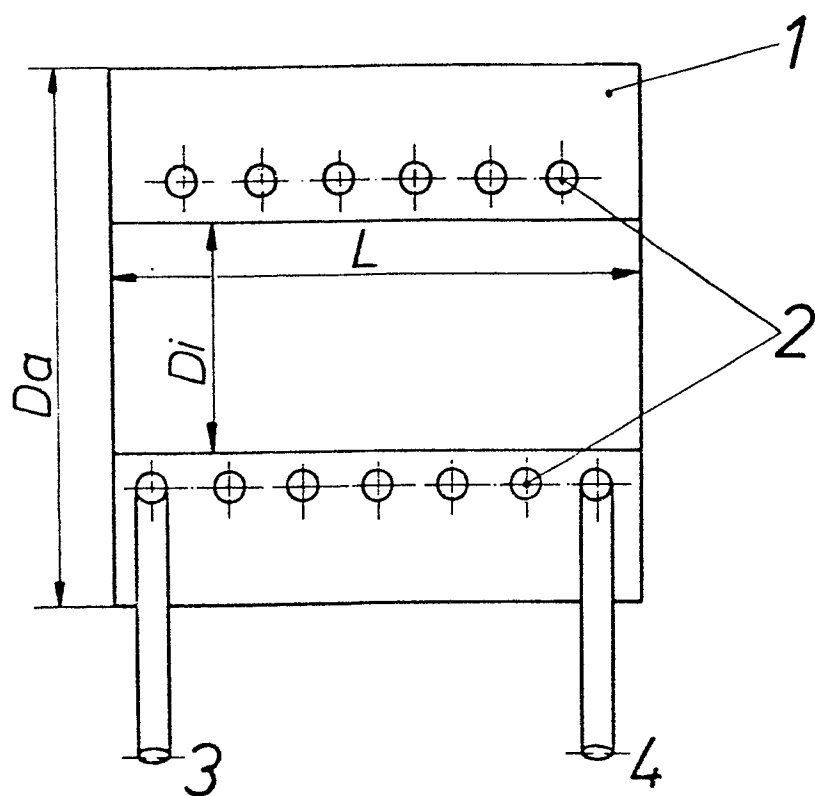


Fig. 1

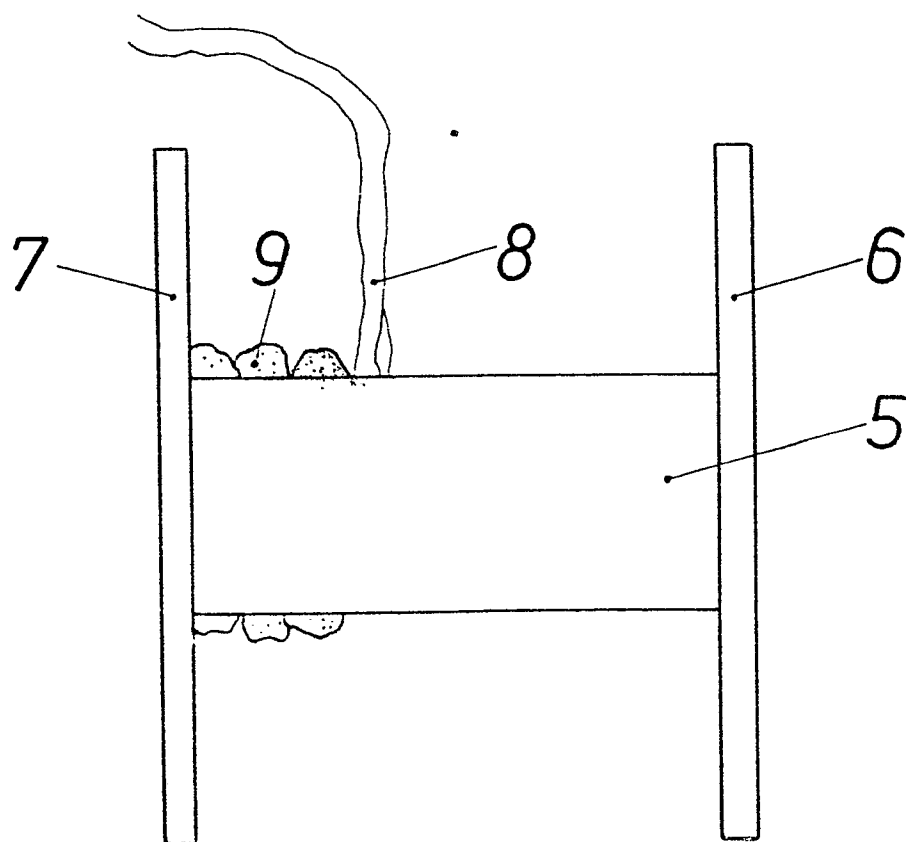


Fig. 2