

(19)



(11)

EP 2 333 133 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
15.06.2011 Patentblatt 2011/24

(51) Int Cl.:
C23C 24/04^(2006.01) H01F 41/04^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10014526.7**

(22) Anmeldetag: **11.11.2010**

(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

(71) Anmelder: **Linde Aktiengesellschaft**
80331 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Bohn, Matthias**
15370 Petershagen (DE)
• **Krömmner, Werner**
84034 Landshut (DE)

(30) Priorität: **23.11.2009 DE 102009053987**
16.03.2010 EP 10002761

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen einer mehrlagigen Spule**

(57) Bei einem Verfahren zum Herstellen einer kompakten und/oder massiven mehrlagigen Spule (100) mittels Kaltgassprühens (Dynamic Cold Spraying) werden elektrisch leitende Verbindungen (20) zwischen den im Trägermaterial eingebetteten einzelnen Leiterlagen (25), insbesondere zwischen den einzelnen Leiterbahnen (25'), geschaffen.

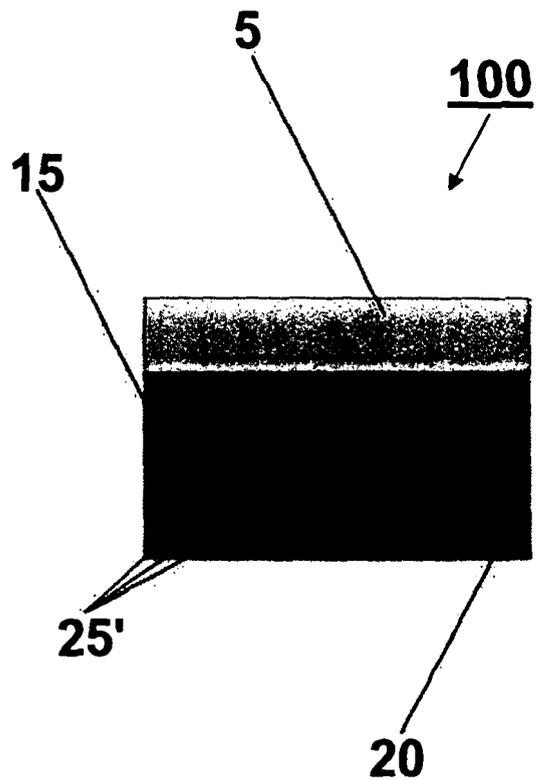


Fig. 3

EP 2 333 133 A1

Beschreibung**Technisches Gebiet**

- 5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Herstellen einer mehrlagigen Spule, wobei das Verfahren auf der Technik des Kaltgasspritzens oder Kaltgassprühens (Dynamic Cold Spraying) beruht.
- [0002]** Hierbei werden zum Beschichten mindestens eines Substrats oder zum Herstellen mindestens eines Formteils Partikel in ungeschmolzenem Zustand mittels mindestens eines Gasstrahls zur Oberfläche des Substrats bzw. Formteils hin beschleunigt und haften dort unter Umwandlung ihrer kinetischen Energie an (vgl. Druckschrift EP 1 382 720 A2 aus dem Stand der Technik).
- 10 **[0003]** Entsprechend weist die Vorrichtung zum Beschichten des Substrats oder zum Herstellen des Formteils mindestens eine Kaltgasspritzpistole auf, wobei die Kaltgasspritzpistole und das zu beschichtende Substrat bzw. Formteil in einer Vakuumkammer angeordnet sind (vgl. Druckschrift EP 1 382 720 A2 aus dem Stand der Technik).

Stand der Technik

- [0004]** Leiter und Spulen, insbesondere supraleitende Spulen, werden konventionellerweise in erster Linie als Drähte hergestellt, häufig in Form einer Kupfermatrix mit Filamenten des Supraleiters.
- 20 **[0005]** Grundsätzlich werden Materialien als supraleitend bezeichnet, deren elektrischer Widerstand beim Unterschreiten einer bestimmten kritischen Temperatur (= materialabhängige Sprungtemperatur, wobei der Phasenübergang in den supraleitenden Zustand nicht abrupt, sondern kontinuierlich erfolgt) auf Null fällt und die externe Magnetfelder aus ihrem Inneren verdrängen (sogenannter Meißner-Ochsenfeld-Effekt).
- [0006]** Als bedeutender supraleitender Werkstoff ist hierbei zum Beispiel Niobtitan (NbTi) oder auch Niobtantal zu nennen. Speziell bei spröden Werkstoffen, insbesondere bei Hochtemperatursupraleiter-Materialien (sogenannten HTSL-Materialien), erfolgt die Herstellung in komplexen Sinterprozessen.
- 25 **[0007]** Die so hergestellten Drähte werden anschließend zu Spulen gewickelt, meist auf Spulenkörper, die der Stabilisierung der Spule dienen. Zudem können die Drähte noch eingegossen werden, zumeist in Kunstharze. Dieses Eingießen in Kunstharze dient dazu, die Spulen vollständig zu stabilisieren, damit die Spulen den im supraleitend erzeugten Magnetfeld wirkenden großen Kräften standhalten; derartige große Kräfte wirken insbesondere in Geräten zur Kernspintomographie und in Geräten zur Kernspinresonanz-Spektroskopie (= nuclear magnetic resonance oder NMR).
- 30 **[0008]** Sind einzelne Spulenteile nicht ausreichend fixiert, dann führen die auftretenden Mikrobewegungen zum Zusammenbruch der Supraleitung (sogenannter Quench, bei dem der Supraleiter plötzlich vom supraleitenden Zustand in den normalleitenden Zustand übergeht, wobei sehr viel Wärme entsteht; besonders gefährlich ist der Quench bei supraleitenden Spulen, denn dort wird beim Zusammenbruch der Supraleitung die gesamte Feldenergie in Wärme umgesetzt).
- 35 **[0009]** In der Druckschrift DE 38 06 177 A1 aus dem Stand der Technik ist die Verwendung von keramischem Pulver mit supraleitenden Eigenschaften als Ausgangsmaterial für das Aufbringen von Hochtemperatursupraleiter-Material auf Werkstücke durch thermisches Spritzen offenbart; die supraleitenden Eigenschaften werden nach dem Aufspritzen durch eine gezielte Wärmebehandlung regeneriert.
- 40 **[0010]** Gemäß dieser Druckschrift DE 38 06 177 A1 wird die Stromtragfähigkeit der Hochtemperatursupraleiter-Schichten dadurch verbessert, dass das thermische Spritzen unter Bedingungen erfolgt, bei denen die Partikel im Spritzstrahl eine niedrige Eigentemperatur und eine hohe Fluggeschwindigkeit haben, wodurch beim Auftreffen auf das Substrat eine hohe Verformung bewirkt wird; die anschließende Wärmebehandlung erfolgt derart, dass ein Kornwachstum der Kristallite in der Schicht in Abhängigkeit vom Verformungsgrad erzielt wird.
- 45 **[0011]** In der Druckschrift WO 2006/061384 A1 aus dem Stand der Technik ist ein Verfahren zum Kaltgasspritzen beschrieben, bei dem mittels einer Kaltgas-Spritzpistole ein Gasstrahl erzeugt wird, in den Partikel eingebracht werden. Die kinetische Energie der Partikel führt zu einer Schichtbildung auf einem Substrat, das eine Gefügetextur aufweist, die auf die sich ausbildende Schicht übertragen wird.
- 50 **[0012]** Gemäß dieser Druckschrift WO 2006/061384 A1 lässt sich durch geeignete Zusammensetzung der Partikel eine hochtemperatursupraleitende Schicht auf dem Substrat erzeugen. Dieser Prozess lässt sich zusätzlich durch eine Heizeinrichtung in einem nachfolgenden Wärmebehandlungsschritt unterstützen.
- [0013]** Hinsichtlich des technologischen Hintergrunds der vorliegenden Erfindung sei ergänzend
- auf die Veröffentlichung "Microstructural characteristics of cold-sprayed nanostructured WC-Co coatings" von R. S. Lima, J. Karthikeyan, C. M. Kay, J. Lindemann und C. C. Berndt, Preparation and Characterization, ELSEVIER Sequoia, NL, Thin Solid Films 2002, Band 416, Nr 1-2, Seiten 129 bis 135, sowie
 - auf die Druckschriften DE 10 2004 058 806 A1, EP 1 921 176 A2, US 5 646 094, US 2002/0056473 A1, US 2004/0026030 A1, US 2004/0202797 A1, WO 01/86018 A2 und WO 2004/044672 A2

aufmerksam gemacht.

[0014] Soll nun eine Spule mittels Kaltgassprühens (Dynamic Cold Spraying) in prinzipiell beliebiger Form völlig kompakt, das heißt als massiver Block hergestellt werden, so stellt sich das technische Problem, diese Spule mit mehreren Leiterlagen bereitzustellen sowie leitende Verbindungen zwischen den einzelnen Lagen zu schaffen.

[0015] Dieses technische Problem wird nicht vollumfänglich durch die (nach dem vorliegend beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlichte) Druckschrift DE 10 2008 024 504 A1 (entspricht der Druckschrift US 2009/0291851 A1) gelöst, gemäß der Partikel in ungeschmolzenem Zustand mittels Kaltgassprühens (Dynamic Cold Spraying) zum Zwecke des Beschichtens eines Substrats oder zum Zwecke des Herstellens eines Formteils zur Oberfläche des Substrats bzw. Formteils hin beschleunigt werden und dort unter Umwandlung ihrer kinetischen Energie anhaften, wobei die Partikel

- zumindest zum Teil elektrisch leitende, insbesondere supraleitende, Eigenschaft und
- zumindest zum Teil elektrisch schwach leitende oder elektrisch isolierende (= elektrisch nicht leitende) Eigenschaft aufweisen.

Darstellung der vorliegenden Erfindung: Aufgabe, Lösung, Vorteile

[0016] Ausgehend von den vorstehend dargelegten Nachteilen und Unzulänglichkeiten sowie unter Würdigung des umrissenen Standes der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung der eingangs genannten Art so weiterzubilden, dass bei einer mittels Kaltgassprühens (Dynamic Cold Spraying) hergestellten kompakten und/oder massiven Spule mehrere Leiterlagen bereitgestellt sowie leitende Verbindungen zwischen den einzelnen Leiterlagen geschaffen werden.

[0017] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen sowie durch eine Vorrichtung mit den im Anspruch 7 angegebenen Merkmalen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und zweckmäßige Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung sind in den jeweiligen Unteransprüchen gekennzeichnet.

[0018] Mithin basiert die vorliegende Erfindung auf einem Verfahren zum Kaltgasspritzen (Dynamic Cold Spraying), mittels dessen mehrlagige elektrische Leiter, insbesondere rotationssymmetrische Spulen, zum Beispiel aus elektrisch supraleitenden Werkstoffen, hergestellt werden können.

[0019] Durch das Kaltgas-Sprühverfahren lässt sich eine breite Wahl von Werkstoffen, also Nichtleiter (auch Schwachleiter) und elektrische Leiter (auch Supraleiter, insbesondere H[och]T[emperatur]S[upra]L[eiter]), auf einen Grundwerkstoff oder auf das Substrat auftragen. Durch die hohe Geschwindigkeit der gesprühten Partikel oder der gesprühten Teilchen entstehen Schichten, die in ihren Eigenschaften den Eigenschaften von gegossenen oder gewalzten Werkstoffen gleich kommen.

[0020] Anstelle des Herstellens eines Drahts oder des Wickelns einer Spule wird beispielsweise die gesamte Struktur einer Spule auf den Spulenträger aufgespritzt, also eine Kupfermatrix, Supraleiterbahnen und Isolationswerkstoff. Durch entsprechende Form und/oder durch entsprechendes Führen des Trägerwerkstoffs können Spulen in beliebiger Form und völlig kompakt sowie stabil hergestellt werden, zum Beispiel in Form eines stabilen Blocks oder in Form eines kompakten Klotzes. Hierbei ermöglicht es die vorliegende Erfindung nun, "Wicklungen" in mehreren Lagen, das heißt insbesondere

- aus der gesprühten Leiterschicht die tatsächlichen "Einzeldrähte" sowie
- bei mehrlagigen "Wicklungen" entsprechende leitende Verbindungen zwischen den einzelnen Lagen bereitzustellen.

[0021] Dies wird erfindungsgemäß erreicht, indem die leitende Schicht mittels mechanischer Bearbeitung, zum Beispiel spanabhebend, oder per Laser oder dergleichen in mindestens eine wendelförmige Leiterbahn gebracht wird. Diese wendelförmige Leiterbahn wird durch Aufsprühen mindestens einer weiteren Schicht des Trägermaterials eingebettet.

[0022] Sodann wird durch Aufsprühen und durch mechanische Bearbeitung, zum Beispiel spanabhebend, oder per Laser oder dergleichen mindestens eine weitere Lage des Leiters bereitgestellt; schließlich wird durch eine Art "Stichloch-Sprühverfahren" die elektrisch leitende Verbindung zwischen den beiden Leiterlagen zur Verfügung gestellt.

[0023] Auf diese Weise wird die Herstellung beliebiger mehrlagiger Magnetspulen nach dem Cold-Spray-Verfahren ermöglicht, wobei die vorgenannten Verfahrensschritte mehrmals, insbesondere beliebig oft, wiederholt werden können, um mehr- oder viellagige Spulenkörper mit elektrischer Kontaktierung zwischen den einzelnen Leiterlagen zur Verfügung zu stellen.

[0024] In bevorzugter Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird zur Bildung der (Supra-)Leiterlagen, insbesondere der HTSL-Lagen, Niobtitan (NbTi) oder auch Niobtantal abwechselnd mit Kupfer als Werkstoff mit hohem Widerstand, insbesondere als Isolationslage oder als Isolationschicht, gespritzt. Auf diese Weise wird eine kompakte sowie stabile supraleitende Spule bereitgestellt.

[0025] Insbesondere bei Verwendung von Nanopartikeln oder Nanoteilchen als auf das Substrat bzw. Formteil auf-

zuwachsene Partikel oder Teilchen ist eine gute Durchmischung der in die gebildete Schicht eingebauten Partikel oder Teilchen innerhalb dieser Schicht gewährleistet; auf diese Weise sind sowohl die Leiterlage oder Leiterschicht als auch die Isolationslage oder Isolationsschicht jeweils besonders konsistent und stabil ausgebildet.

[0026] Gemäß einer zweckmäßigen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung weist das Substrat bzw. Formteil eine Gefügestruktur oder Gefügetextur auf, die zumindest in etwa der Gefügestruktur oder Gefügetextur eines Hochtemperatursupraleiters (HTSL) entspricht. Dies bedeutet mit anderen Worten, dass die Gefügestruktur oder Gefügetextur des Substrats bzw. Formteils auf die anhaftenden Partikel oder Teilchen übertragen werden kann.

[0027] Die aus den sich im Kaltgasstrahl befindlichen Partikeln oder Teilchen gebildete Beschichtung oder Schicht weist damit eine Gefügestruktur oder Gefügetextur auf, die durch das Gefüge des Substrats bzw. Formteils, auf dem die Schicht aufwächst, bestimmt ist.

[0028] Bei fortschreitendem Schichtaufbau steht zwar das strukturierte bzw. texturierte Substrat zur Schichtbildung nicht mehr zur Verfügung, jedoch weisen die bereits aufbrachten Partikel oder Teilchen die gewünschte Gefügestruktur oder Gefügetextur auf, so dass auch diese als Substrat für weitere auftreffende Teilchen dienen können, die ihrerseits die gewünschte Gefügestruktur oder Gefügetextur erhalten.

[0029] Soweit die Gefügestruktur oder Gefügetextur des Substrats bzw. Formteils noch nicht vollständig auf die Beschichtung übertragen ist, kann diese Übertragung durch mindestens einen Diffusionsprozess abgeschlossen werden, der durch mindestens eine in zweckmäßiger Weise vorsehbare Wärmebehandlung des beschichteten Substrats bzw. Formteils in Gang gesetzt und/oder unterstützt werden kann.

[0030] Hierdurch lässt sich vorteilhafterweise die Qualität zum Beispiel der HTSL-Schicht verbessern, wozu vorrichtungsgemäß mindestens eine Heizeinrichtung zum Durchführen einer derartigen Wärmebehandlung nach Aufbringen der Partikel vorgesehen sein kann. Mithin können die supraleitenden Eigenschaften, insbesondere die hochtemperatursupraleitenden Eigenschaften, nach dem Aufspritzen durch eine gezielte Wärmebehandlung regeneriert werden.

[0031] In vorteilhafter Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann dem Gasstrahl mindestens ein reaktives Gas, insbesondere Sauerstoff, zugesetzt werden, das in die, insbesondere weitere, Trägerlage und/oder in die, insbesondere weitere, Leiterlage eingebaut wird. Auf diese Weise kann die erzeugbare Lagen- oder Schichtvielfalt in zweckmäßiger Weise gesteigert werden, denn mit der Möglichkeit der Zuführung mindestens eines reaktiven Gases kommt ein weiterer optionaler Parameter zur Beeinflussung des ablaufenden Verfahrens hinzu.

[0032] Die vorliegende Erfindung betrifft des Weiteren eine als kompakter Block oder als stabiles Gefüge ausgebildete mehrlagige Spule, hergestellt nach dem Verfahren gemäß der vorstehend dargelegten Art und/oder mit der Vorrichtung gemäß der vorstehend dargelegten Art.

[0033] Die vorliegende Erfindung betrifft schließlich die Verwendung eines Verfahrens gemäß der vorstehend dargelegten Art und/oder mindestens einer Vorrichtung gemäß der vorstehend dargelegten Art zum Herstellen

- von, insbesondere supraleitenden, Rotoren und/oder Statoren, insbesondere für Elektromotoren, oder
- von leitenden, insbesondere supraleitenden, Spulen, insbesondere für M[agnetic]R[esonance][maging]-Geräte oder für N[uclear]M[agnetic]R[esonance]-Geräte.

[0034] Im Ergebnis sind eine vereinfachte Herstellbarkeit sowie im Vergleich zum Stand der Technik verbesserte Produkteigenschaften von elektrischen Leitern und Spulen, insbesondere von supraleitenden Spulen, zum Beispiel von hochtemperatursupraleitenden Spulen, gewährleistet. Bei derartigen Spulen können mit dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung sowie mit der Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung mehrere Leiterlagen bereitgestellt sowie leitende Verbindungen zwischen den einzelnen Leiterlagen geschaffen werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0035] Wie bereits vorstehend erörtert, gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Hierzu wird einerseits auf die dem Anspruch 1 sowie dem Anspruch 7 nachgeordneten Ansprüche verwiesen, andererseits werden weitere Ausgestaltungen, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung nachstehend unter Anderem anhand des durch Fig. 1 bis Fig. 3 veranschaulichten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

[0036] Es zeigt:

Fig. 1 in schematischer Darstellung ein Ausführungsbeispiel für eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die nach dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung arbeitet;

Fig. 2A bis Fig. 2H in schematischer Darstellung (oberer Teil der Fig. 2A bis Fig. 2D perspektivisch, unterer Teil der Fig. 2A bis Fig. 2D im Teilquerschnitt; Fig. 2E bis Fig. 2H im Teilquerschnitt) ein Ausführungsbeispiel für die Abfolge der Schritte des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 3 in schematischer Teilquerschnittsdarstellung ein Ausführungsbeispiel für ein gemäß der vorliegenden Erfindung hergestelltes Verfahrensprodukt gemäß der vorliegenden Erfindung.

Gleiche oder ähnliche Ausgestaltungen, Elemente oder Merkmale sind in Fig. 1 bis Fig. 3 mit identischen Bezugszeichen versehen.

Bester Weg zur Ausführung der vorliegenden Erfindung

[0037] Eine zum Betrieb des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignete, anhand Fig. 1 veranschaulichte Vorrichtung weist eine Vakuumkammer 4 auf, in der ein Substrat 5 vor der Düse einer Kaltgasspritzpistole 3 platziert werden kann (die Platzierung des Grundwerkstoffs oder Substrats 5 vor der Kaltgasspritzpistole 3 erfolgt mittels einer in Fig. 1 lediglich aus Gründen der Übersichtlichkeit der Darstellung nicht gezeigten Halterung).

[0038] Zum Durchführen der Beschichtung des Werkstücks bzw. der Herstellung des Formteils 5 wird die Vakuumkammer 4 evakuiert und mittels der Kaltgasspritzpistole 3 ein Gasstrahl erzeugt, in den Partikel zur Beschichtung des Werkstücks bzw. zur Herstellung des Formteils 5 eingespeist werden.

[0039] Hierbei gelangt der Hauptgasstrom, beispielsweise eine Helium-Stickstoff-Mischung mit etwa vierzig Vol.-% Helium, über die Gaszuleitung 1 in die Vakuumkammer 4; die Spritzpartikel gelangen im Hilfsgasstrom über die Zuleitung 2 in die Vakuumkammer 4, in der ein Druck von etwa vierzig Millibar herrscht, und dort in die Kaltgasspritzpistole 3. Die Zuleitungen 1, 2 werden hierzu in die Vakuumkammer 4 hineingeführt, in der sich sowohl die Kaltgasspritzpistole 3 als auch das Formteil 5 befindet. Der gesamte Kaltgasspritzprozess findet somit in der Vakuumkammer 4 statt.

[0040] Die Partikel werden durch den Kaltgasstrahl so stark beschleunigt, dass ein Anhaften der Partikel auf der Oberfläche des zu beschichtenden Substrats 5 durch Umwandlung der kinetischen Energie der Partikel erreicht wird. Die Partikel können zusätzlich erwärmt werden, wobei deren Erwärmung derart begrenzt wird, dass die Schmelztemperatur der Partikel nicht erreicht wird (dieser Umstand trägt namensgebend zum Begriff Kaltgasspritzen bei).

[0041] Das Trägergas, das beim Kaltgasspritzen zusammen mit den Spritzpartikeln aus der Spritzpistole 3 spritzt und die Spritzpartikel zum Werkstück 5 trägt, gelangt nach dem Spritzprozess in die Vakuumkammer 4. Das verbrauchte Trägergas wird über die Gasleitung 6 aus der Vakuumkammer 4 mittels der Vakuumpumpe 8 entfernt. Zwischen die Vakuumkammer 4 und die Vakuumpumpe 8 ist der Partikelfilter 7 geschaltet, der freie Spritzpartikel aus dem verbrauchten Trägergas entfernt, um in zuverlässiger Weise zu verhindern, dass die Festkörperteilchen die Pumpe 8 beschädigen.

[0042] Durch das anhand Fig. 1 veranschaulichte Kaltgas-Sprühverfahren lässt sich eine breite Wahl von Werkstoffen, also elektrische Nichtleiter, elektrische Schwachleiter, elektrische Leiter und auch elektrische Supraleiter wie auch elektrische Hochtemperatursupraleiter auf den Grundwerkstoff 5 auftragen. Durch die hohe Geschwindigkeit der gesprützten Partikel entstehen Schichten, die in ihren Eigenschaften denen von gegossenen oder gewalzten Werkstoffen gleich kommen.

[0043] Anstelle des Herstellens eines Drahts oder des Wickelns einer Spule kann gemäß Fig. 1 die gesamte Struktur einer Spule auf den Spulenträger 5 aufgespritzt werden, also eine Kupfermatrix, Supraleiterbahnen und Isolationswerkstoff. Durch entsprechende Form und Führen des Trägerwerkstoffs 5 können Spulen in beliebiger Form und völlig kompakt sowie stabil hergestellt werden, zum Beispiel in Form eines stabilen Blocks oder eines kompakten Klotzes.

[0044] Als Isolationswerkstoff (mit relativ hohem Widerstand) kann in Fig. 1 Kupfer abwechselnd mit Niobtitan (NbTi) oder auch Niobtantal als supraleitendem Werkstoff unter Bildung einer supraleitenden Spule gespritzt werden.

[0045] Die Qualität dieser supraleitenden Spule, insbesondere dieser hochtemperatursupraleitenden Spule, lässt sich mittels einer (in Fig. 1 lediglich aus Gründen der Übersichtlichkeit der Darstellung nicht gezeigten) Heizeinrichtung zum Durchführen einer Wärmebehandlung erhöhen. Mithin können die supraleitenden Eigenschaften, insbesondere die hochtemperatursupraleitenden Eigenschaften, nach dem Aufspritzen durch eine derartige gezielte Wärmebehandlung regeneriert werden.

[0046] Die in Fig. 1 dargestellte Anordnung kommt verfahrensgemäß insbesondere beim Herstellen von, zum Beispiel supraleitenden, Rotoren und Statoren von Elektromotoren sowie insbesondere beim Herstellen von, insbesondere rotationssymmetrischen, Spulen für M[agnetic]R[esonance]I[maging]-Geräte oder für N[uclear]M[agnetic]R[esonance]-Geräte zum Einsatz.

[0047] Die Abfolge der Verfahrensschritte gemäß der vorliegenden Erfindung wird anhand Fig. 2A bis Fig. 2H erläutert:

[0048] Um eine anhand Fig. 3 veranschaulichte mehr- oder viellagige Spule 100 herzustellen, werden zum Beschichten der Oberfläche eines als Basismaterial fungierenden magnetischen Substrats oder magnetischen Formteils 5 (vgl. Fig. 2A), das eine Gefügestruktur oder Gefügetextur aufweist, die in etwa der Gefügestruktur oder Gefügetextur eines Hochtemperatursupraleiters (HTSL) entspricht, mittels Kaltgasspritzens Trägerpartikel mit elektrisch schwach leitender oder elektrisch isolierender (= elektrisch nicht leitender) Eigenschaft in ungeschmolzenem Zustand aufgespritzt (vgl. Fig. 2B).

[0049] Hierbei werden die Trägerpartikel aus Kupfer mittels des in der Kaltgasspritzpistole 3 erzeugten Gasstrahls aus der Düse 9 heraus zur Oberfläche des Substrats bzw. Formteils 5 hin beschleunigt, haften dort unter Umwandlung ihrer kinetischen Energie an und bilden so eine Trägerlage 15 in Form einer als Kupfermatrix.

[0050] Sodann werden zum Beschichten der Kupfermatrix 15 mittels Kaltgasspritzens Leiterpartikel mit elektrisch (hochtemperatur)supraleitender Eigenschaft in ungeschmolzenem Zustand aufgesprüht (vgl. Fig. 2C). Hierbei werden die Leiterpartikel aus Niobtitan (NbTi) oder aus Niobtantal mittels des in der Kaltgasspritzpistole 3 erzeugten Gasstrahls aus der Düse 9 heraus zur Kupfermatrix 15 hin beschleunigt, haften dort unter Umwandlung ihrer kinetischen Energie an und bilden so eine Leiterlage 25.

[0051] Die Leiterlage 25 wird mittels mechanischer Bearbeitungsmittel 10, nämlich spanabhebend (vgl. Fig. 2D), oder per Laser in eine wendelförmige Leiterbahn 25' umgeformt. Dieser Verfahrensschritt bewirkt also eine, insbesondere mechanische, Trennung der supraleitenden Drähte oder Leiterbahn innerhalb der Leiterlage 25 durch dazwischen liegende Auskehlungen oder Nuten.

[0052] Die durch Laserbearbeitung oder Abgraten oder Abspannen bewirkte Leiterbahn 25' wird durch Kaltgasaufsprühen weiterer Trägerpartikel unter Ausbildung einer weiteren Trägerlage 15 eingebettet (vgl. Fig. 2E).

[0053] Zur Leiterbahn 25' wird eine elektrisch supraleitende Verbindung 20 bereitgestellt, indem nach Art eines Stichloch-Sprühverfahrens

- zunächst durch diejenige Trägerlage 15, die an die elektrisch leitend zu verbindende Leiterlage 25 angrenzt, eine stichlochförmige oder zylinderrörmige Ausnehmung 19 mechanisch bereitgestellt wird, zum Beispiel mittels eines Bohrers 11 eingebracht wird (vgl. Fig. 2F), und
- sodann aus der Düse 9 Leiterpartikel in ungeschmolzenem Zustand in die Ausnehmung 19 gesprüht werden, so dass die Ausnehmung 19 mittels Kaltgasspritzens unter Bildung der Verbindung 20 mit elektrisch supraleitendem Material ausgefüllt wird (vgl. Fig. 2G).

[0054] Nach Bilden der elektrisch supraleitenden Verbindung 20 wird die weitere Trägerlage 15 mitsamt der Verbindung 20 mittels Kaltgasspritzens aus der Düse 9 mit Leiterpartikeln unter Ausbildung einer weiteren Leiterlage 25 beschichtet (vgl. Fig. 2H). Auch diese weitere Leiterlage 25 wird mittels mechanischer Bearbeitungsmittel 10, nämlich spanabhebend, oder per Laser in eine weitere wendelförmige Leiterbahn 25' umgeformt (vgl. Fig. 2D analog). Dieser Verfahrensschritt bewirkt also eine, insbesondere mechanische, Trennung der supraleitenden Drähte oder Leiterbahn innerhalb der weiteren Leiterlage 25 durch dazwischen liegende Auskehlungen oder Nuten, wobei diese weitere Leiterbahn 25' mit der angrenzenden oder benachbarten (, zum Beispiel in Bezug auf Fig. 3 darüber liegenden) Leiterbahn 25' durch die Verbindung 20 elektrisch supraleitend verbunden ist.

[0055] Die anhand Fig. 2D, Fig. 2E, Fig. 2F, Fig. 2G, Fig. 2H veranschaulichte Abfolge von Verfahrensschritten zum Bereitstellen weiterer Leiterlagen 25 wird sechsmal wiederholt; hierbei werden die weiteren Leiterlagen 25 jeweils in weitere Leiterbahnen 25' umgeformt, wobei die elektrisch supraleitenden Verbindungen 20 abwechselnd an den entgegengesetzten lateralen Rändern der weiteren Leiterbahnen 25' generiert werden, um auf diese Weise eine durchgängige elektrische Verbindung zwischen der innersten Leiterbahn 25' und der äußersten Leiterbahn 25' zu bereitzustellen.

[0056] Am Ende des Herstellungsprozesses steht eine als kompakter Block oder als stabiles Gefüge ausgebildete rotationssymmetrische siebenlagige Spule 100 (vgl. Fig. 3), die

- als supraleitender Rotor und/oder Stator für einen Elektromotor oder
- als supraleitende Spule für ein M[agnetic]R[esonance][imaging]-Gerät oder für ein N[uclear]M[agnetic]R[esonance]-Gerät

eingesetzt werden kann.

Bezugszeichenliste

[0057]

- 1 Gaszuleitung
- 2 Zuleitung
- 3 Kaltgasspritzpistole mit Düse 9
- 4 Vakuumkammer
- 5 Substrat, insbesondere magnetisches Substrat, oder Formteil, insbesondere magnetisches Formteil, oder Grundwerkstoff, insbesondere magnetischer Grundwerkstoff

EP 2 333 133 A1

- 6 Gasleitung
- 7 Partikelfilter
- 5 8 Vakuumpumpe
- 9 Düse der Kaltgasspritzpistole 3
- 10 mechanisches Bearbeitungsmittel, insbesondere Spanabheber, oder Laser
- 10 11 mechanisches Bearbeitungsmittel, insbesondere Bohrer
- 15 Trägerlage, insbesondere weitere Trägerlage, zum Beispiel Kupfermatrix, wie etwa weitere Kupfermatrix
- 15 19 Ausnehmung, insbesondere stichlochförmige oder zylinderförmige Ausnehmung
- 20 elektrisch leitende, insbesondere elektrisch supraleitende, Verbindung
- 25 Leiterlage, insbesondere weitere Leiterlage
- 20 25' Leiterbahn, insbesondere weitere Leiterbahn
- 100 mehrlagige, insbesondere rotationssymmetrische, Spule, zum Beispiel als kompakter Block oder als stabiles Gefüge ausgebildete mehrlagige Spule
- 25

Patentansprüche

- 30 1. Verfahren zum Herstellen einer mehrlagigen Spule (100), wobei
- [a.1] zur Ausbildung mindestens einer Trägerlage (15) mittels Kaltgasspritzens Trägerpartikel, die zumindest zum Teil elektrisch schwach leitende oder elektrisch isolierende Eigenschaft aufweisen, zumindest bereichsweise auf die Oberfläche mindestens eines, insbesondere magnetischen, Substrats oder mindestens eines, insbesondere magnetischen, Formteils (5) aufgesprüht werden,
- 35 [a.2] zur Ausbildung mindestens einer Leiterlage (25) mittels Kaltgasspritzens Leiterpartikel, die zumindest zum Teil elektrisch leitende, insbesondere elektrisch supraleitende, Eigenschaft aufweisen, zumindest bereichsweise auf die Trägerlage (15) aufgesprüht werden,
- [a.3] die Leiterlage (25) mittels mechanischer Bearbeitung (10), insbesondere spanabhebend, oder per Laser in mindestens eine, insbesondere wendelförmige, Leiterbahn (25') geformt wird,
- 40 [b.1] die Leiterbahn (25') durch Aufsprühen weiterer Trägerpartikel unter Ausbildung mindestens einer weiteren Trägerlage (15) eingebettet wird,
- [b.2] Leiterpartikel unter Ausbildung mindestens einer weiteren Leiterlage (25) auf die weitere Trägerlage (15) aufgesprüht werden,
- [b.3] die weitere Leiterlage (25) mittels mechanischer Bearbeitung (10), insbesondere spanabhebend, oder per Laser in mindestens eine, insbesondere wendelförmige, weitere Leiterbahn (25') geformt wird und
- 45 [c] zur, insbesondere weiteren, Leiterlage (25), zum Beispiel zur, insbesondere weiteren, Leiterbahn (25'), oder zwischen mindestens zwei zueinander benachbarten der, insbesondere weiteren, Leiterlagen (25), zum Beispiel zwischen mindestens zwei zueinander benachbarten der, insbesondere weiteren, Leiterbahnen (25'), mindestens eine elektrisch leitende, insbesondere elektrisch supraleitende, Verbindung (20) bereitgestellt wird, wobei die Verfahrensschritte [b.1], [b.2], [b.3], [c]
- 50
- zum Bereitstellen weiterer Leiterlagen (25) mehrmals, insbesondere beliebig oft, iteriert werden können und/oder
 - zum Umformen der weiteren Leiterlagen (25) in weitere Leiterbahnen (25') in beliebiger Reihenfolge, insbesondere der Verfahrensschritt [c] zwischen dem Verfahrensschritt [b.1] und dem Verfahrensschritt [b.2], abfolgen können.
- 55
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die elektrisch leitende Verbindung (20) nach Art eines Stichloch-Sprühverfahrens erfolgt, insbesondere dass

EP 2 333 133 A1

- in der an die elektrisch leitend zu verbindende Leiterlage (25) angrenzenden Trägerlage (15) mindestens eine Ausnehmung (19) mechanisch bereitgestellt (11) wird, zum Beispiel durch die Trägerlage (15) mindestens eine Ausnehmung (19) gebohrt wird, und
- die Ausnehmung (19) mit elektrisch leitendem, insbesondere elektrisch supraleitendem, Material gefüllt wird, zum Beispiel Leiterpartikel in die Ausnehmung (19) gesprüht werden.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**,

- **dass** die elektrisch schwach leitende oder elektrisch isolierende Eigenschaft durch Kupfer (Cu) bereitgestellt wird und/oder
- **dass** die elektrisch leitende, insbesondere elektrisch supraleitende, Eigenschaft durch Niobtitan (NbTi) oder durch Niobtantal bereitgestellt wird,
- - wobei die Leiterpartikel zumindest zum Teil die chemischen Bestandteile mindestens eines Hochtemperatursupraleiters (HTSL) enthalten können und/oder
- - wobei das Substrat oder Formteil (5) eine Gefügestruktur oder Gefügetextur aufweisen kann, die zumindest in etwa der Gefügestruktur oder Gefügetextur eines Hochtemperatursupraleiters (HTSL) entspricht.

4. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- als Trägerpartikel und/oder
 - als Leiterpartikel
- Nanopartikel oder Nanoteilchen verwendet werden.

5. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Kaltgasspritzen dem Gasstrahl mindestens ein reaktives Gas, insbesondere Sauerstoff, zugesetzt wird, das in die, insbesondere weitere, Trägerlage (15) und/oder in die, insbesondere weitere, Leiterlage (25) eingebaut wird.

6. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Aufbringen der Trägerpartikel und/oder der Leiterpartikel mindestens eine Wärmebehandlung des beschichteten Substrats oder Formteils (5) durchgeführt wird.

7. Zum Herstellen einer mehrlagigen Spule (100) vorgesehene Vorrichtung mit mindestens einer in mindestens einer Vakuumkammer (4) angeordneten Kaltgasspritzpistole (3), mittels derer, insbesondere alternierend,

- mindestens ein elektrisch schwach leitendes oder elektrisch isolierendes Material unter Ausbildung mindestens einer, insbesondere weiteren, Trägerlage (15) und
- mindestens ein elektrisch leitendes, insbesondere elektrisch supraleitendes, Material unter Ausbildung mindestens einer, insbesondere weiteren, Leiterlage (25) auf mindestens ein, insbesondere magnetisches, Substrat oder auf mindestens ein, insbesondere magnetisches, Formteil (5) unter Ausbildung mindestens eines kompakten Blocks oder mindestens eines stabilen Gefüges aufbringbar ist, wobei
- mechanische, insbesondere auf Spanabheben basierende, oder auf Laser basierende Bearbeitungsmittel (10) zum Umformen der, insbesondere weiteren, Leiterlage (25) in mindestens eine, insbesondere weitere, Leiterbahn (25') und
- mechanische, insbesondere auf Bohren und Spritzen basierende, Bearbeitungsmittel (11, 9) zum Bereitstellen mindestens einer elektrisch leitenden, insbesondere elektrisch supraleitenden, Verbindung (20) zwischen mindestens zwei zueinander benachbarten der, insbesondere weiteren, Leiterlagen (25), zum Beispiel zwischen mindestens zwei zueinander benachbarten der, insbesondere weiteren, Leiterbahnen (25'), vorgesehen sind.

8. Vorrichtung gemäß Anspruch 7, **gekennzeichnet durch** mindestens eine Heizeinrichtung zum Durchführen mindestens einer Wärmebehandlung nach Aufbringen

- des elektrisch schwach leitenden oder elektrisch isolierenden Materials und/oder
- des elektrisch leitenden, insbesondere elektrisch supraleitenden, Materials.

9. Als kompakter Block oder als stabiles Gefüge ausgebildete mehrlagige Spule (100), hergestellt nach dem Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6 und/oder mit der Vorrichtung gemäß Anspruch 7 oder 8.

EP 2 333 133 A1

10. Verwendung eines Verfahrens gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6 und/oder mindestens einer Vorrichtung gemäß Anspruch 7 oder 8 zum Herstellen

- 5 - von, insbesondere supraleitenden, Rotoren und/oder Statoren, insbesondere für Elektromotoren, oder
- von leitenden, insbesondere supraleitenden, Spulen, insbesondere für M[agnetic]R[esonance][maging]-Geräte oder für N[uclear]M[agnetic]R[esonance]-Geräte.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

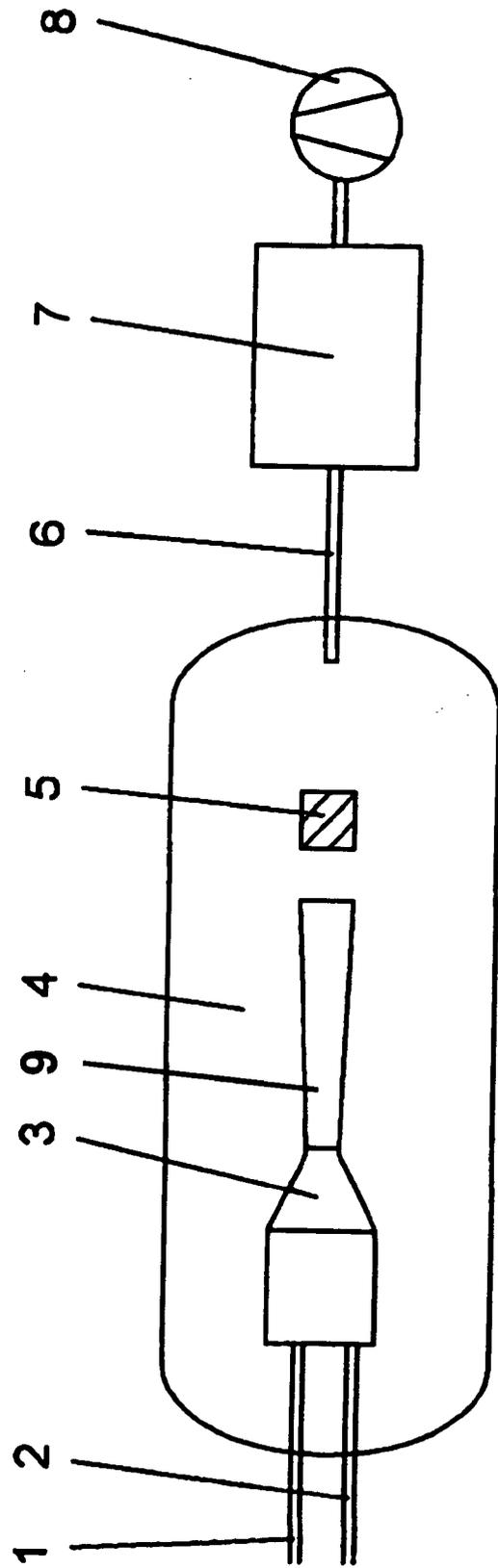


Fig. 1

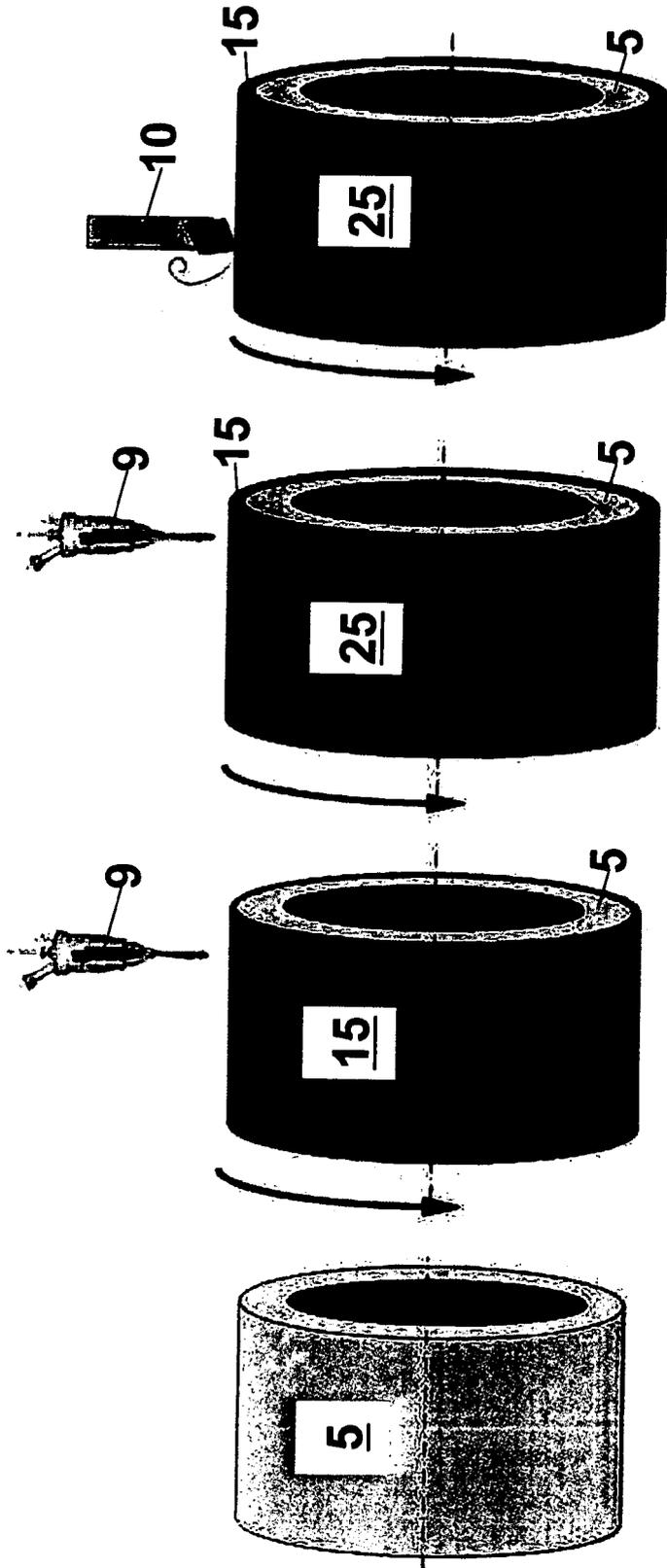
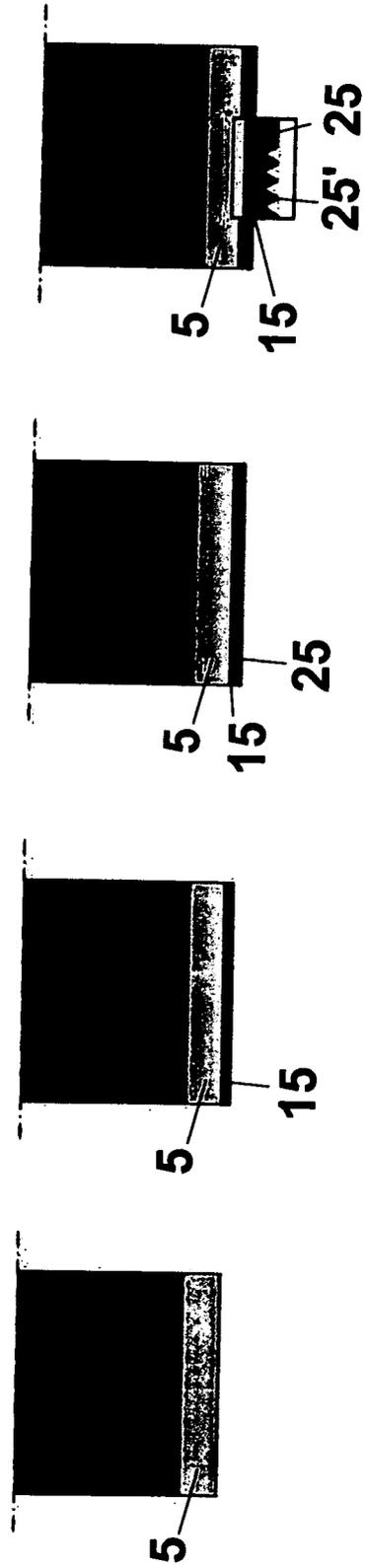


Fig. 2D

Fig. 2C

Fig. 2B

Fig. 2A



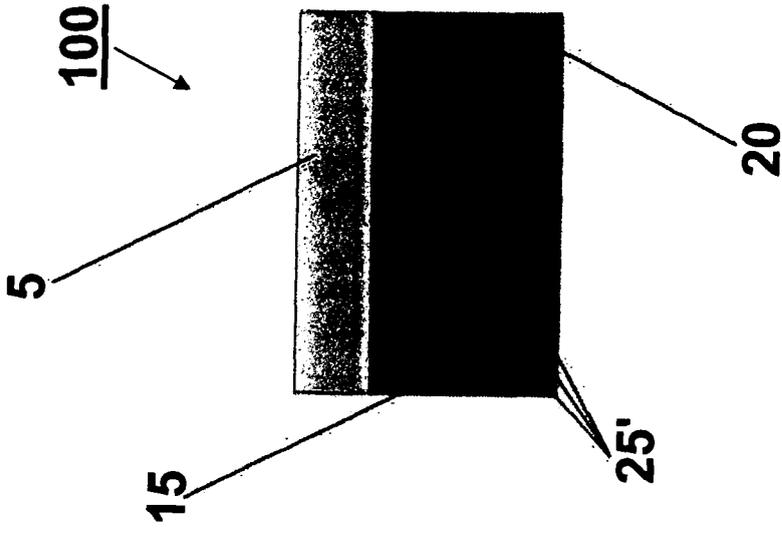


Fig. 3

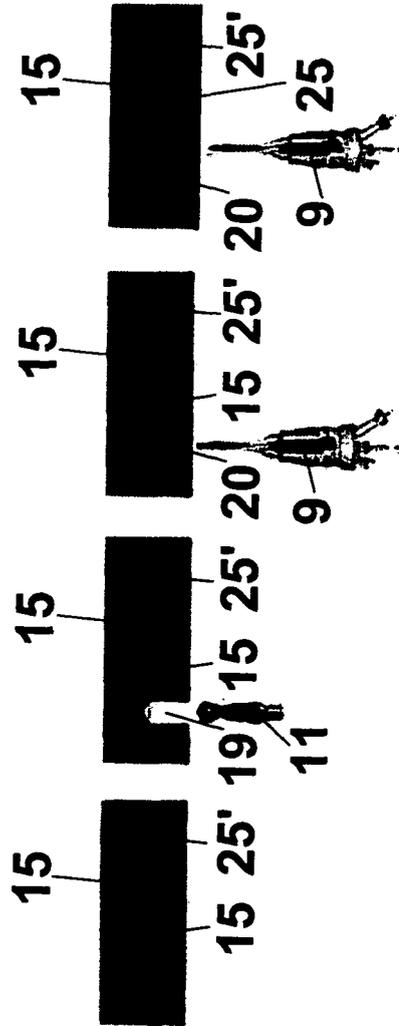


Fig. 2E Fig. 2F Fig. 2G Fig. 2H



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 10 01 4526

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 102 24 780 A1 (LINDE AG [DE]) 18. Dezember 2003 (2003-12-18) * Absatz [0014]; Abbildung 1 *	7	INV. C23C24/04 H01F41/04
X,D	WO 2006/061384 A1 (SIEMENS AG [DE]; KRÜGER URSUS [DE]; ULLRICH RAYMOND [DE]) 15. Juni 2006 (2006-06-15) * Seite 6, Zeile 10 - Seite 7, Zeile 19 *	7,8	
X	WO 2006/082170 A1 (SIEMENS AG [DE]; KRÜGER URSUS [DE]; ULLRICH RAYMOND R [DE]) 10. August 2006 (2006-08-10) * Seite 6, Zeile 10 - Seite 7, Zeile 19; Abbildung 1 *	7,8	
A	JP 7 142255 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 2. Juni 1995 (1995-06-02) * Zusammenfassung *	1-10	
A	WO 03/019589 A1 (COATED CONDUCTORS CONSULTANCY [GB]; MAHER EAMONN [GB]) 6. März 2003 (2003-03-06) * Seite 12, Zeilen 1-16; Abbildung 7 *	1-10	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	JP 63 207007 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LAB) 26. August 1988 (1988-08-26) * Zusammenfassung *	1-10	C23C H01F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 14. Februar 2011	Prüfer Hoyer, Wolfgang
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 : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 1
 EPO FORM 1503 03.82 (P/MC03)

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

EP 10 01 4526

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.

14-02-2011

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10224780	A1	18-12-2003	AT 355400 T	15-03-2006
			EP 1382720 A2	21-01-2004
			US 2004037954 A1	26-02-2004

WO 2006061384	A1	15-06-2006	CN 101072897 A	14-11-2007
			DE 102004059716 B3	06-04-2006
			EP 1834010 A1	19-09-2007
			US 2009239754 A1	24-09-2009

WO 2006082170	A1	10-08-2006	CN 101111630 A	23-01-2008
			DE 102005005359 A1	10-08-2006
			EP 1844181 A1	17-10-2007
			JP 2008528800 T	31-07-2008
			KR 20070100377 A	10-10-2007
			US 2010068410 A1	18-03-2010

JP 7142255	A	02-06-1995	KEINE	

WO 03019589	A1	06-03-2003	AT 484064 T	15-10-2010
			EP 1421592 A1	26-05-2004
			US 2005028347 A1	10-02-2005

JP 63207007	A	26-08-1988	JP 2660280 B2	08-10-1997

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1382720 A2 [0002] [0003]
- DE 3806177 A1 [0009] [0010]
- WO 2006061384 A1 [0011] [0012]
- DE 102004058806 A1 [0013]
- EP 1921176 A2 [0013]
- US 5646094 A [0013]
- US 20020056473 A1 [0013]
- US 20040026030 A1 [0013]
- US 20040202797 A1 [0013]
- WO 0186018 A2 [0013]
- WO 2004044672 A2 [0013]
- DE 102008024504 A1 [0015]
- US 20090291851 A1 [0015]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Microstructural characteristics of cold-sprayed nanostructured WC-Co coatings. **R. S. LIMA ; J. KARTHIKEYAN ; C. M. KAY ; J. LINDEMANN ; C. C. BERNDT.** Preparation and Characterization. ELSEVIER Sequoia, 2002, vol. 416, 129-135 [0013]