



(11) **EP 2 009 132 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
31.12.2008 Patentblatt 2009/01

(51) Int Cl.:
C23C 4/12 (2006.01) C23C 24/04 (2006.01)
C25D 13/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07111431.8**

(22) Anmeldetag: **29.06.2007**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK RS

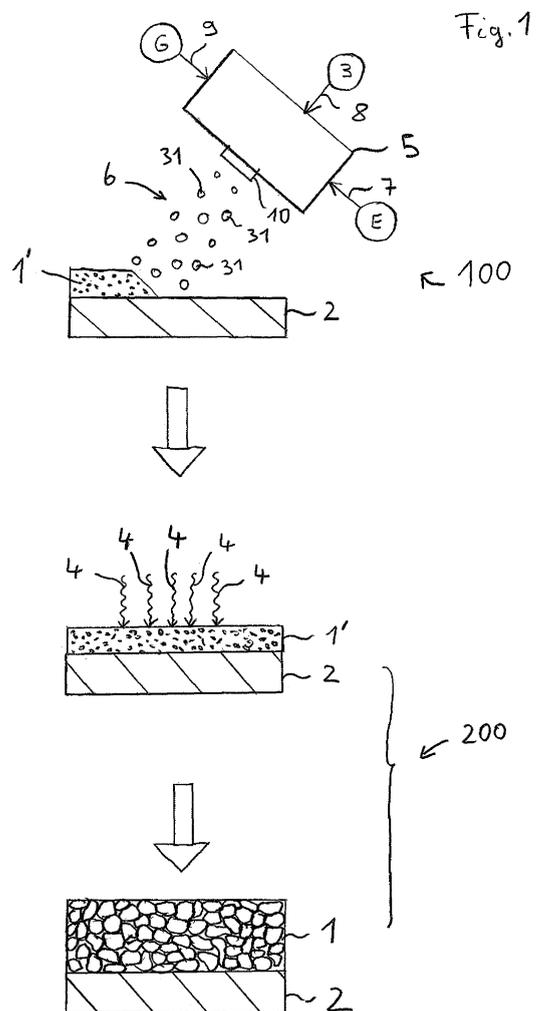
(71) Anmelder: **Sulzer Markets and Technology AG**
8401 Winterthur (CH)

(72) Erfinder:
• **Kränzler, Thomas**
88682 Salem (DE)
• **Ernst, Peter, Dr.**
8174 Stadel b. Niederglatt (CH)

(74) Vertreter: **Sulzer Management AG**
Patentabteilung / 0067
Zürcherstrasse 12
8401 Winterthur (CH)

(54) **Verfahren zur Herstellung einer funktionalen Schicht, Beschichtungsmaterial, Verfahren zu seiner Herstellung sowie funktionale Schicht**

(57) Es wird ein Verfahren vorgeschlagen zur Herstellung einer funktionalen Schicht auf einem Substrat, bei welchem in einem ersten Schritt (100) ein schäumbares Beschichtungsmaterial (3), das ein Metallpulver und ein Treibmittel umfasst, in Form einer Schicht (1') auf das Substrat (2) aufgebracht wird, und in einem zweiten Schritt (200) die Schicht (1') durch Wärmeeintrag (4) aufgeschäumt wird, sodass die Schicht in eine Metallschaum-Schicht (1) umgewandelt wird. Ferner wird ein für diese Verfahren geeignetes Beschichtungsmaterial (3) und ein Verfahren zu seiner Herstellung vorgeschlagen.



EP 2 009 132 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer funktionalen Schicht auf einem Substrat, die als Metallschaum-Schicht ausgebildet ist. Ferner betrifft die Erfindung ein Beschichtungsmaterial zur Durchführung eines solchen Verfahrens, sowie ein Verfahren zur Herstellung des Beschichtungsmaterials, Zudem betrifft die Erfindung die Verwendung des Verfahrens zur Herstellung einer funktionalen Schicht sowie eine solche funktionale Schicht.

[0002] Es ist bekannt, Formkörper aus Metallschaum herzustellen und Metallschaum zum Füllen von Metallprofilen zu verwenden. Hierzu wird typischerweise kommerziell erhältliches Metallpulver mit einer kleinen Menge eines Treibmittels - beispielsweise einem Metallhydrid - vermischt. Diese Mischung wird mittels bekannter Prozesse kompaktiert, z. B. mittels Heiss-Extrusion, Co-Extrusion oder heisostatischem Pressen (HIP). Durch diesen Kompaktierungsprozess entsteht ein dichter Körper (Precursor) aus einem Vormaterial, der in der Regel formbar bzw. bearbeitbar ist. Durch Zuführung von Wärme wird dieser Körper aufgeschäumt und entwickelt sich zu einem hochporösen Metallschaumkörper. Für dieses Aufschäumen wird der Körper aus dem Vormaterial in einer der gewünschten Gestalt entsprechenden Form mit Wärme behandelt. Dabei wird das Metall flüssig oder zumindest plastisch und das Treibmittel setzt Gas frei (bei Metallhydriden ist dies Wasserstoff), welches in Form von Blasen in das flüssige Metall eindringt und dieses aufschäumt. Diese Technologie ist beispielsweise in der US-A-5,151,246 beschrieben.

[0003] Ein bekanntes und kommerziell erhältliches Produkt ist Aluminiumschaum, bei welchem Aluminiumpulver bzw. eine Aluminiumlegierung als Ausgangsmaterial dient. Bei Aluminiumschaum lassen sich typischerweise Dichten im Bereich von 0.5 - 1.0 g/cm³ erzielen, was einer Porosität von bis zu 85 % entspricht.

[0004] Neben der enormen Gewichtsreduzierung, die sich mit Metallschaumkörpern bzw. Metallschaum-Verbundkörpern erzielen lassen, hat Metallschaum auch noch weitere positive Eigenschaften wie beispielsweise eine effiziente Energieabsorption insbesondere bei mechanischer Belastung, eine hohe spezifische Steifigkeit, gute Verarbeitbarkeit, gute Schalldämmeigenschaften, um nur einige zu nennen.

[0005] Heutzutage ist die Verwendung von Metallschaum auf das Füllen von Hohlräumen - beispielsweise in Metallträgern - bzw. auf die Herstellung von Formkörpern durch Aufschäumen des Metalls in einer geeignet gestalteten Form beschränkt.

[0006] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es eine Aufgabe der Erfindung, neue Anwendungsgebiete für Metallschaum zu eröffnen. Im Speziellen soll ein Verfahren zur Herstellung von Metallschaum vorgeschlagen werden, mit dem neue Anwendungen von Metallschaum realisierbar sind. Ferner soll ein Ausgangsmaterial hierfür sowie ein Verfahren zu seiner Herstel-

lung vorgeschlagen werden. Weiterhin sollen Verwendungen des Verfahrens bzw. des Ausgangsmaterials vorgeschlagen werden.

[0007] Die diese Aufgabe lösenden Gegenstände der Erfindung sind durch die unabhängigen Ansprüche der jeweiligen Kategorie gekennzeichnet.

[0008] Erfindungsgemäss wird also ein Verfahren vorgeschlagen zur Herstellung einer funktionalen Schicht auf einem Substrat, bei welchem in einem ersten Schritt ein schäumbares Beschichtungsmaterial, das ein Metallpulver und ein Treibmittel umfasst, in Form einer Schicht auf das Substrat aufgebracht wird, und in einem zweiten Schritt die Schicht durch Wärmeeintrag aufgeschäumt wird, sodass die Schicht in eine Metallschaum-Schicht umgewandelt wird.

[0009] Die grundlegende Idee der Erfindung ist es also ein aufschäumbares Beschichtungsmaterial als Ausgangsmaterial zu verwenden, dieses als Schicht auf einem Substrat abzuscheiden und diese Schicht aufzuschäumen, um so eine Metallschaum-Schicht auf dem Substrat zu erzeugen.

[0010] Durch dieses Verfahren eröffnen sich vollkommen neue Anwendungen für Metallschaum, denn nun ist für das Aufschäumen nicht mehr das Vorhandensein einer Form oder eines Hohlraums erforderlich. Der Metallschaum kann als Schicht auf einem Substrat generiert werden.

[0011] Prinzipiell eignet sich jedes an sich bekannte Verfahren zum Erzeugen von Schichten auf einem Substrat für den ersten Schritt des erfindungsgemässen Verfahrens, beispielsweise Spritzverfahren, thermische Spritzverfahren, elektrophoretische Abscheidung, Spritzlackieren, Siebdruck- oder andere Druckverfahren, Aufwalzen, Schlickerverfahren, Streichen usw.

[0012] Bei einer bevorzugten Verfahrensführung wird im ersten Schritt die Schicht mittels eines thermischen Spritzprozesses, insbesondere mittels Kaltgasspritzen, auf das Substrat aufgebracht. Hierbei sind zwei Varianten möglich. Einerseits kann der thermische Spritzprozess so durchgeführt werden, insbesondere mittels Kaltgasspritzens, dass das Beschichtungsmaterial während des Spritzprozesses nicht schmilzt, sodass das Material zunächst als Schicht auf dem Substrat abgeschieden wird und anschliessend durch Wärmeeintrag aufgeschäumt wird.

[0013] Andererseits ist es aber auch möglich, den ersten und den zweiten Schritt des Verfahrens zumindest teilweise simultan durchzuführen. Dazu kann beispielsweise der thermische Spritzprozess so durchgeführt werden, dass die Partikel des Beschichtungsmaterials bereits auf ihrem Flug zum Substrat aufgeschmolzen oder plastifiziert und durch das Treibmittel aufgeschäumt werden. Natürlich sind Mischformen dieser beiden Varianten möglich.

[0014] Eine andere bevorzugte Verfahrensführung ist es, wenn im ersten Schritt die Schicht mittels elektrophoretischer Deposition auf das Substrat aufgebracht wird. Das Beschichtungsmaterial kann dazu in Form eines

Slurrys bzw. eines Schlickers mittels an sich bekannter Methoden elektrophoretisch abgeschieden werden.

[0015] Aus praktischen Gründen ist es bevorzugt, wenn im zweiten Schritt der Wärmeeintrag mittels eines Heizofens oder mittels elektromagnetischer Bestrahlung, insbesondere mittels Laserbestrahlung, oder mittels elektromagnetischer Induktion durchgeführt wird.

[0016] Eine vorteilhafte Ausführungsform besteht darin, dass das Beschichtungsmaterial ein hoch stickstoffhaltiger Stahl ist, mit höchstens 4 Gewichtsprozent Stickstoff, vorzugsweise mit 1 bis 3 Gewichtsprozent Stickstoff, wobei der Stickstoff zumindest teilweise freigesetzt wird und das Metall aufschäumt. Dazu wird die Schicht vorzugsweise mittels thermischen Spritzens aufgetragen. Der Stahl wird in Pulverform thermisch gespritzt, dabei wird ein Teil des Stickstoffs freigesetzt und führt zu einem "Aufblasen" der Partikel. Diese Ausführungsform ist auch mit anderen hoch stickstoffhaltigen Beschichtungsmaterialien möglich.

[0017] Durch die Erfindung wird ferner ein Verfahren zur Herstellung eines Beschichtungsmaterials zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens vorgeschlagen, mit den folgenden Schritten:

- Bereitstellen eines Metalls in Form eines Pulvers, das eine vorgebbare Viskosität im geschmolzenen Zustand hat,
- Mischen des metallischen Pulvers mit einem Treibmittel, welches ein Gas zum Aufschäumen des Metalls freisetzen kann, wobei der Anteil des Treibmittels höchstens 5 Gewichtsprozent, vorzugsweise höchstens 2 Gewichtsprozent und speziell 0.1 bis 1 Gewichtsprozent beträgt,
- Verarbeiten der Mischung aus dem metallischen Pulver und dem Treibmittel zu dem Beschichtungsmaterial, derart dass das Beschichtungsmaterial ein Pulver ist mit Partikeln, wobei die einzelnen Partikel sowohl das Metall als auch das Treibmittel enthalten.

[0018] Dieses Beschichtungsmaterial, das sich sowohl für das thermische Spritzen als auch für die elektrophoretische Deposition eignet, hat die Eigenschaft, dass die einzelnen Partikel sowohl das Metall als auch das Treibmittel enthalten. Es handelt sich hier also nicht um eine rein mechanische Mischung eines Metallpulvers mit einem Treibmittelpulver, sondern in den einzelnen Partikeln ist das Metall "untrennbar" mit dem Treibmittel verbunden.

[0019] Durch die Erfindung wird weiterhin ein Beschichtungsmaterial zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens vorgeschlagen, welches ein Pulver ist mit Partikeln, wobei die einzelnen Partikel sowohl ein aufschäumbares Metall enthalten als auch ein Treibmittel, welches ein Gas zum Aufschäumen des Metalls freisetzen kann.

[0020] Gemäss einer bevorzugten Variante weisen die Partikel einen metallischen Kern auf, der mit dem Treibmittel beschichtet ist (cladded).

[0021] Gemäss einer anderen bevorzugten Variante ist das Treibmittel jeweils in den Partikeln dispergiert, sodass die Partikel jeweils eine metallische Matrix aufweisen, in welche das Treibmittel eingelagert ist. Durch diese sehr gleichmässige Verteilung des Treibmittels in der metallischen Phase lässt sich eine sehr effiziente Aufschäumung erzielen.

[0022] Weiterhin wird durch die Erfindung eine funktionale Schicht vorgeschlagen, hergestellt gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren oder mit einem erfindungsgemässen Beschichtungsmaterial. Solche funktionalen Schichten können unterschiedliche Funktionen haben, z. B. Dichten, Versteifen, Wärmedämmung, Schalldämmung, Verbindung von Teilen usw.

[0023] Auch wird durch die Erfindung ein Substrat mit einer solchen funktionalen Schicht vorgeschlagen. Hierbei kann es sich beispielsweise um eine Turbinenschaukel handeln, auf die eine erfindungsgemässe funktionale Schicht als Anstreifschicht oder Einlaufschicht aufgebracht ist.

[0024] Das erfindungsgemässe Verfahren und das erfindungsgemässe Beschichtungsmaterial können insbesondere Verwendung finden zur Herstellung von Anstreifschichten, Einlaufschichten, Dichtungen, Lagern, Verbindungs- oder Füllmaterial.

[0025] Weitere vorteilhafte Massnahmen und bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0026] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und anhand der Zeichnung näher erläutert. In der schematischen Zeichnung zeigen teilweise im Schnitt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemässen Verfahrens,

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Partikels eines ersten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemässen Beschichtungsmaterials,

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Partikels eines zweiten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemässen Beschichtungsmaterials, und

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Partikels eines dritten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemässen Beschichtungsmaterials.

[0027] Fig. 1 veranschaulicht in einer schematischen Darstellung ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Verfahrens zur Herstellung einer funktionalen Schicht 1 auf einem Substrat 2, das vorzugsweise ein metallisches Substrat 2 ist.

[0028] Die Funktion der funktionalen Schicht 1 kann dabei beispielsweise sein: Erhöhung der Verschleiss-, Abrasions-, Erosionsbeständigkeit, Dichtung, Verbindung von Teilen oder Materialien, Schallschutz, Wärme-

schutz, Änderung der elektrischen oder der Wärmeleitfähigkeit, Erzeugen von Anstreich- oder Einlaufschichten, usw.

[0029] Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst zwei Schritte 100, 200. In dem ersten Schritt 100 wird ein schäumbares Beschichtungsmaterial 3, das ein Metallpulver mit einem Treibmittel umfasst, in Form einer Schicht 1' auf das Substrat 2 aufgebracht. Auf mögliche Verfahren zur Herstellung des Beschichtungsmaterials 3, welches bei diesem Ausführungsbeispiel in Pulverform mit Partikeln 31 vorliegt, wird weiter hinten eingegangen.

[0030] Im zweiten Schritt wird die Schicht 1' durch Wärmeeintrag, der in Fig. 1 symbolisch mit den Pfeilen 4 dargestellt ist, aufgeschäumt, sodass die Schicht 1' in die funktionale Schicht 1, welche eine Metallschaum-Schicht ist, umgewandelt wird.

[0031] Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel erfolgt das Aufbringen der Schicht 1' im ersten Schritt 100 mittels eines thermischen Spritzprozesses.

[0032] Thermische Spritzprozesse sind beispielsweise alle Formen des Plasmaspritzens, Flammsspritzen, HVOF-Verfahren. Desweiteren sind auch solche Spritzprozesse bekannt, bei welchen das Prozessgas im Vergleich zum klassischen Plasmaspritzen "kalt" ist, beispielsweise höchstens einige hundert Kelvin, sodass die Partikel im Gasstrom nicht aufgeschmolzen werden und aufgrund ihrer kinetischen Energie am Substrat anhaften. Diese in der Literatur als Kaltgasspritzen oder kinetisches Gasspritzen bezeichnete Prozesse sowie Hybrid-Prozesse (Plasma-Kaltgas-Spritzen) sollen im Rahmen dieser Anmeldung auch von dem Begriff "thermisches Spritzen" umfasst sein bzw. mit dem Begriff "thermisches Spritzen" gemeint sein.

[0033] Bei dem in Fig. 1 dargestellten Prozess handelt es sich um einen Plasmaspritzprozess oder um einen Kaltgasspritzprozess oder um einen hybriden Plasma-Kaltgas-Spritzprozess,

[0034] Es ist eine Spritzvorrichtung 5 vorgesehen, mit der ein Prozessstrahl 6 generierbar ist, mit welchem das Substrat 2 beschichtet wird. Im Falle des Plasmaspritzens umfasst die Spritzvorrichtung 5 einen nicht dargestellten Plasmabrenner, im Falle des kinetischen Spritzens eine nicht dargestellte Kaltgas-Spritzeinrichtung,

[0035] In an sich bekannter Weise wird mit der Spritzvorrichtung 3 aus dem Beschichtungsmaterial M, einem Prozessgas oder einem Prozessgasgemisch G und gegebenenfalls elektrischer Energie E der Prozessstrahl 6 erzeugt. Die Einspeisung dieser Komponenten E, G und Beschichtungsmaterial 3 ist in Fig. 1 durch die Pfeile 7, 8, 9 symbolisiert. Der erzeugte Prozessstrahl 6 tritt durch eine Düse 10 aus und transportiert das Beschichtungsmaterial 3 in Form der im Prozessstrahl dispergierten Partikel 31 zu dem Substrat 2, um dort die Schicht 1' aufzubauen.

[0036] Im Falle des Plasmaspritzens dient die elektrische Energie E dazu, das Plasma zu generieren. Im Falle des Kaltgas-Spritzens wird üblicherweise die elektrische

Energie E dazu genutzt, das Prozessgas G zu heizen. Dabei ist jedoch im typischen Kaltgas-Spritzprozess die Temperatur des Prozessgases G deutlich geringer als im Plasmaspritzprozess und beträgt in der Regel höchstens einige hundert und bis zu 1000 °C.

[0037] Das Beschichtungsmaterial 3 umfasst sowohl ein Metallpulver als auch ein Treibmittel. Das Metallpulver und das Treibmittel können in Form einer Mischung vorliegen. Beispielsweise können sowohl das Metall als auch das Treibmittel in Pulverform vorliegen. Das Beschichtungsmaterial 3 kann dann eine mechanische Mischung des Metallpulvers und des Treibmittels sein. Im ersten Schritt 100 wird dann eine kompaktierte Schicht aus Metallpulver und Treibmittelpulver auf dem Substrat 2 generiert. Es ist aber auch möglich, dass das Beschichtungsmaterial ein Metallpulver mit einem darin eingelagerten Treibmittel ist.

[0038] Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel enthalten - wie weiter hinten noch erläutert wird - die Partikel 31 sowohl das Metall als auch das Treibmittel. Als Treibmittel werden beispielsweise Metallhydride wie Lithiumhydrid oder Titanhydrid verwendet. Diese haben die Eigenschaft, dass sie sich oberhalb einer material-spezifischen Zersetzungstemperatur in das Metall und gasförmigen Wasserstoff zersetzen. Natürlich sind auch andere Treibmittel verwendbar wie beispielsweise Metallnitride oder Karbonate wie Natriumcarbonat (NaHCO_3), Natriumbicarbonat, Kaliumcarbonat, Calciumcarbonat oder Hydrate wie Aluminiumhydroxid oder hoch stickstoffhaltige Verbindungen, die beispielsweise durch schnelles Erstarren einer übersättigten Schmelze generierbar sind. Wesentlich für das Treibmittel ist, dass durch Erhöhung der Temperatur ein Gas freigesetzt wird, welches das Metall aufschäumen kann.

[0039] Der bei diesem Ausführungsbeispiel als erster Schritt 100 durchgeführte thermische Spritzprozess wird so durchgeführt, dass das Treibmittel dabei im wesentlichen kein Gas freisetzt. Das Treibmittel wird nicht über seine Zersetzungstemperatur erhitzt. Daher ist für den ersten Schritt 100 insbesondere das Kaltgas-Spritzen besonders geeignet, weil bei diesem der Wärmeeintrag in die Partikel während des Spritzprozesses deutlich geringer ist. Es ist für den Fachmann kein Problem, die Prozessparameter im Spritzprozess so einzustellen, dass während des Spritzens im wesentlichen kein Gas von dem Treibmittel freigesetzt wird.

[0040] Durch diese Massnahme wird die Schicht 1' auf dem Substrat 2 in nichtaufgeschäumten Zustand abgelagert.

[0041] Die Wahl des geeigneten Treibmittels hängt von dem Metall bzw. der Zusammensetzung der metallischen Komponente des Beschichtungsmaterials ab. Das Treibmittel wird so gewählt, dass seine Zersetzungstemperatur bzw. die Temperatur, oberhalb derer das Gas zum Aufschäumen freigesetzt wird, im Bereich der Schmelztemperatur der metallischen Komponente des Beschichtungsmaterials 3 liegt.

[0042] Nachdem im ersten Schritt 100 die Schicht 1'

auf das Substrat 2 aufgebracht wurde, erfolgt im zweiten Schritt 200 der Wärmeeintrag 4 zum Aufschäumen der Schicht 1'. Der Wärmeeintrag 4 kann auf verschiedene Weise erfolgen. Das Substrat 2 mit der Schicht 1' kann beispielsweise in einem Heizofen mit Wärme beaufschlagt werden, oder die Schicht 1' wird mit elektromagnetischer Strahlung beaufschlagt, vorzugsweise mittels Laserstrahlung. Ferner ist der Wärmeeintrag 4 mittels elektromagnetischer Induktion oder auch Mittels Plasmabehandlung möglich.

[0043] Durch den Wärmeeintrag 4 wird das Metall in dem Beschichtungsmaterial 3 bzw. in der Schicht 1' über seine Schmelztemperatur erwärmt und schmilzt. Das Treibmittel zersetzt sich, wodurch das Gas zum Aufschäumen des nun geschmolzenen Metalls der Schicht 1' freigesetzt wird. Dadurch wird die Schicht 1' in die als Metallschaum-Schicht ausgebildete funktionale Schicht 1 umgewandelt, die im untersten Teil der Fig. 1 dargestellt ist.

[0044] Alternativ ist auch ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Verfahrens möglich, bei welchem der erste Schritt 100 und der zweite Schritt 200 zumindest teilweise gleichzeitig oder simultan durchgeführt werden. In diesem Falle werden die Prozessparameter für das thermische Spritzverfahren, das hier vorzugsweise ein Plasmaspritzen ist, so durchgeführt, dass die Partikel 31 bereits im Prozessstrahl 6 plastifiziert oder aufgeschmolzen werden und das Treibmittel das Gas zum Aufschäumen der metallischen Komponente freisetzt. Folglich werden die Partikel 31 bereits im Prozessstrahl 6 auf ihrem Weg zum Substrat 2 zumindest teilweise aufgeschäumt oder "aufgeblasen" und bilden dann auf dem Substrat 2 die funktionale Metallschaum-Schicht 1, Der Wärmeeintrag 4 erfolgt hier also durch den Prozessstrahl 6, beispielsweise durch die Energie des Plasmas bzw. des Prozessgases.

[0045] Natürlich sind diese beiden Ausführungsbeispiele auch kombinierbar, das heisst, das thermische Spritzverfahren wird so durch geführt, dass es zu einem zumindest teilweisen Aufschäumen der Partikel 31 im Prozessstrahl 6 kommt und anschliessend erfolgt ein zusätzlicher Wärmeeintrag 4 auf die auf dem Substrat 2 befindliche Schicht, um die Aufschäumung zu vervollständigen.

[0046] Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Verfahren wird im ersten Schritt die Schicht 1' mittels elektrophoretischer Deposition auf dem Substrat 2 erzeugt. Dazu wird das pulverförmige Beschichtungsmaterial mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit zu einem Schlicker bzw. einem Slurry verarbeitet. Mit diesem erfolgt die elektrophoretische Abscheidung der Schicht 1' auf dem Substrat 2, das während der Elektrophoretischen Deposition als eine der beiden Elektroden (Anode oder Kathode) geschaltet ist. Der zweite Schritt, nämlich das Aufschäumen der Schicht 1' zu der Metallschaum-Schicht 1 erfolgt in sinngemäss gleicher Weise wie bereits erläutert.

[0047] Natürlich kann bei Varianten diese Ausfüh-

rungsbeispiels der Schlicker anstelle durch elektrophoretische Deposition auch mittels anderer an sich bekannter Verfahren in Form einer Schicht auf das Substrat aufgebracht werden, beispielsweise mittels Spritzlackierens, mittels Auftragen - beispielsweise mit einem Pinsel. Prinzipiell sind alle an sich bekannten Verfahren zum Aufbringen einer Schicht auf ein Substrat für den ersten Schritt des erfindungsgemässen Verfahrens geeignet, auch Druckverfahren wie Siebdruck oder Aufwalzen. Vorzugsweise wird die Schicht 1' als gleichmässige Schicht aufgebracht.

[0048] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Herstellung eines Beschichtungsmaterials, dass für die Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens geeignet ist so wie ein derartiges Beschichtungsmaterial, was im Folgenden näher erläutert wird.

[0049] Das Beschichtungsmaterial 3 ist ein Pulver, welches ein Metallpulver mit einem darin eingelagerten Treibmittel zur Freisetzung eines Gases zwecks Aufschäumung der metallischen Komponente umfasst. Das pulverförmige Beschichtungsmaterial umfasst Partikel 31, die jeweils sowohl das Metall 32 (siehe z.B. Fig. 2) als auch das Treibmittel 33 enthalten. Das bedeutet, dass zumindest ein wesentlicher Anteil der Partikel 31 des Beschichtungsmaterials, beispielsweise mindestens 75% der Partikel des Beschichtungsmaterials 3, jeweils sowohl das Metall 32 als auch das Treibmittel 33 enthalten. Die beiden Komponenten Metall 32 und Treibmittel 33 bilden also jeweils in den Partikeln 31 eine "untrennbare" Zusammensetzung, in dem Sinne, dass das einzelne Partikel 31 beide Komponenten 32, 33 in sich vereint.

[0050] Je nach Herstellungsverfahren sind verschiedene Varianten für die Ausgestaltung der Partikel möglich. In den Fig. 2-4 sind drei verschiedene Ausführungsbeispiele für jeweils ein Partikel 31 des Beschichtungsmaterials 3 schematisch dargestellt.

[0051] Bei dem in Fig. 2 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel weist das Partikel zwei im wesentlichen getrennt Bereiche auf, von denen der eine von dem Metall 32 gebildet wird und der andere von dem Treibmittel 33.

[0052] Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 3 hat das Partikel 31 einen metallischen Kern 32 der mit dem Treibmittel 33 beschichtet ist (cladded particle)

[0053] Bei dem dritten Ausführungsbeispiel, das in Fig. 4 schematisch dargestellt ist, bildet das Treibmittel 33 eine disperse Phase, die möglichst gleichmässig über die metallische Phase 32 verteilt ist. Hier bildet das Metall 32 eine metallische Matrix, in welcher das Treibmittel 33 eingelagert ist. Dieses dritte Ausführungsbeispiel ist besonders bevorzugt, weil es eine sehr gleichmässige Verteilung des Treibmittels 33 gewährleistet, was sich vorteilhaft auf den Aufschäumprozess auswirkt.

[0054] Zur Herstellung des Beschichtungsmaterials 3 wird zunächst ein Metallpulver und ein dafür geeignetes Treibmittel ausgewählt. Beispiele für geeignete Treibmittel wie beispielsweise eine Metallhydridpulver sind bereits weiter vorne genannt worden. Das Metallpulver

kann entweder ein elementares Metall wie Aluminium oder eine Legierung oder eine Mischung mehrerer Metalle sein.

[0055] Zunächst wird das Metall in Form eines Pulvers bereitgestellt, das eine vorgebbare Viskosität im geschmolzenen Zustand hat. Einerseits darf das Metall im flüssigen Zustand nicht so niederviskos sein, dass das von dem Treibmittel freigesetzte Gas, das Metall verlässt, ohne eine aufschäumende Wirkung auszuüben. Andererseits darf das Metall im flüssigen Zustand nicht zu hochviskos sein, weil sonst das Treibmittel das flüssige Metall nicht aufschäumen kann. Um die Viskosität des Metalles im geschmolzenen Zustand auf einen für das Aufschäumen richtigen Wert einzustellen, ist es bekannt dem Metall in der flüssigen Phase ein Keramikpulver beizumischen, um das Metall zu verdicken. Wenn die Viskosität des flüssigen Metalls den korrekten Wert hat, wird das Metall in an sich bekannter Weise zu einem Pulver verarbeitet.

[0056] Im nächsten Verfahrensschritt wird das metallische Pulver mit dem Treibmittel, das vorzugsweise auch in Pulverform vorliegt, vermischt. Dazu wird zunächst ein für das jeweilige Metallpulver geeignetes Treibmittel ausgewählt. Ein wesentliches Kriterium ist hierbei, dass die Zersetzungstemperatur des Treibmittels, also die Temperatur, bei welcher das Treibmittel das Gas zum Aufschäumen freigibt, im Bereich der Schmelztemperatur des metallischen Pulvers liegt.

[0057] Die Menge des Treibmittels wird entsprechend der gewünschten Porosität der zu erzeugenden Metallschaum-Schicht bestimmt. Der Anteil des Treibmittels beträgt aber höchstens fünf Gewichtsprozent (Gew.%). In der Praxis hat es sich insbesondere bewährt, wenn der Anteil Treibmittel höchstens 2 Gew.% und insbesondere 0.1-1 Gew.% beträgt.

[0058] Das Treibmittel wird innig mit dem Metallpulver vermischt. Diese Mischung aus dem Treibmittel und dem metallischen Pulver wird nun zu dem Beschichtungsmaterial 3 verarbeitet, das als Pulver mit Partikeln vorliegt, wobei die einzelnen Partikel sowohl das Metall als auch das Treibmittel enthalten (siehe Fig. 2 - Fig. 4). Diese Verarbeitung kann mittels an sich bekannter Methoden wie beispielsweise in einem Atomizer oder mittels Sprühtrocknung und Granulierung erfolgen, Hierbei kann es vorteilhaft sein, die Pulvermischung zunächst kurz anzuschmelzen.

[0059] Das in Fig. 3 dargestellte zweite Ausführungsbeispiel, bei welchem der metallische Kern 32 mit dem Treibmittel 33 beschichtet ist wird beispielsweise hergestellt indem das zu beschichtende Metallpulver in eine Suspension aus Lösungsmittel, feinem Treibmittelpulver und einem Haftvermittler vorzugsweise auf organischer Basis eingebracht wird. Beim Abziehen des Lösungsmittels unter ständigem Rühren überzieht sich das Metallpulver mit einer dünnen Schicht des Treibmittels.

[0060] Anschliessend kann noch eine Nachbearbeitung des pulverförmigen Beschichtungsmaterials erfolgen, beispielsweise um die einzelnen Partikel rund oder

rund zu machen.

[0061] Die Partikelgrösse der Partikel 31 beträgt beispielsweise 50 μm . Die notwendige bzw. geeignete Partikelgrösse der Partikel 31 richtet sich nach dem eingesetzten Beschichtungsverfahren bzw. der eingesetzten Beschichtungsanlage. Beim thermischen Spritzen liegen die Partikelgrössen typischerweise zwischen 25 μm +/- 5 μm und 100 μm +/- 50 μm . Bei der elektrophoretischen Abscheidung sind deutlich feinere Partikel im Bereich von 5 μm und darunter notwendig, um ein zu schnelles Absetzen der Partikel zu verhindern.

[0062] Eine andere Variante für das Treibmittel besteht darin, dass man als Beschichtungsmaterial eine hoch stickstoffhaltige Verbindung beispielsweise einen hoch stickstoffhaltigen Stahl einsetzt, damit ist ein Stahl gemeint der maximal 4 Gew.% Stickstoff, vorzugsweise 1 - 3 Gew.% Stickstoff, enthält. Solche hoch stickstoffhaltigen Verbindungen haben im allgemeinen die Eigenschaft, dass sie beim Erwärmen den Stickstoff wieder in Gasform abgeben. Dieser bei Wärmeeintrag 4 abgegebene Stickstoff kann dann als Gas zum Aufschäumen dienen.

[0063] Da die Löslichkeit von Stickstoff in Stählen oberhalb etwa 1000°C deutlich zunimmt kann ein derartiges Beschichtungsmaterial hergestellt werden, in dem der Stahl bei über 1000 °C mit Stickstoff übersättigt wird. Anschliessend wird die Schmelze sehr rasch zum Erstarren gebracht.

[0064] Wird dann ein derartiges hoch stickstoffhaltiges Beschichtungsmaterial als Schicht 1' aufgebracht, kann die Schicht durch Wärmeeintrag 4 mit dem im Beschichtungsmaterial vorhandenen Stickstoff aufgeschäumt werden.

[0065] Metallschaum-Schichten, die aus hoch stickstoffhaltigen Stahl hergestellt werden, haben sehr gute mechanische Eigenschaften und bieten einen hohen Korrosionsschutz.

[0066] Die erfindungsgemäss hergestellte funktionale Schicht, die als Metallschaum-Schicht ausgestaltet ist, kann auf vielfältige Art eingesetzt werden. Im Folgenden sollen nur einige Verwendungen des erfindungsgemässen Verfahrens zur Herstellung einer funktionalen Schicht bzw. des erfindungsgemässen Beschichtungsmaterials genannt werden: Herstellung von Korrosionsschutzschichten, Hartbeschichtungen, Anstreifschichten und Einlaufschichten, z. B. auf Komponenten von Turbinen wie Turbinenschaufeln oder Segmenten mit mehreren Turbinenschaufeln, Herstellung von Dichtungen, Lagern, Gleitlagern, Verbindungsmaterial

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer funktionalen Schicht auf einem Substrat, bei welchem in einem ersten Schritt (100) ein schäumbares Beschichtungsmaterial (3), das ein Metallpulver und ein Treibmittel umfasst, in Form einer Schicht (1') auf das Substrat (2)

- aufgebracht wird, und in einem zweiten Schritt (200) die Schicht (1') durch Wärmeeintrag (4) aufgeschäumt wird, sodass die Schicht in eine Metallschaum-Schicht (1) umgewandelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem im ersten Schritt (100) die Schicht (1') mittels eines thermischen Spritzprozesses, insbesondere mittels Kaltgasspritzen auf das Substrat (2) aufgebracht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem im ersten Schritt (100) die Schicht (1') mittels elektrophoretischer Deposition auf das Substrat (2) aufgebracht wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche bei welchem im zweiten Schritt (200) der Wärmeeintrag (4) mittels eines Heizofens oder mittels elektromagnetischer Bestrahlung, insbesondere mittels Laserbestrahlung, oder mittels elektromagnetischer Induktion durchgeführt wird.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem das Beschichtungsmaterial (3) ein hoch stickstoffhaltiger Stahl ist, mit höchstens 4 Gewichtsprozent Stickstoff, vorzugsweise mit 1 bis 3 Gewichtsprozent Stickstoff, wobei der Stickstoff zumindest teilweise freigesetzt wird und das Metall aufschäumt.
6. Verfahren zur Herstellung eines Beschichtungsmaterials zur Durchführung eines Verfahrens gemäss einem der Ansprüche 1 - 5 mit den folgenden Schritten
- Bereitstellen eines Metalls in Form eines Pulvers, das eine vorgebbare Viskosität im geschmolzenen Zustand hat,
 - Mischen des metallischen Pulvers mit einem Treibmittel, welches ein Gas zum Aufschäumen des Metalls freisetzen kann, wobei der Anteil des Treibmittels höchstens 5 Gewichtsprozent, vorzugsweise höchstens 2 Gewichtsprozent und speziell 0.1 bis 1 Gewichtsprozent beträgt,
 - Verarbeiten der Mischung aus dem metallischen Pulver und dem Treibmittel zu dem Beschichtungsmaterial, derart dass das Beschichtungsmaterial (3) ein Pulver ist mit Partikeln (31), wobei die einzelnen Partikel (31) sowohl das Metall (32) als auch das Treibmittel (33) enthalten.
7. Beschichtungsmaterial zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1-5, welches ein Pulver ist mit Partikeln (31), wobei die einzelnen Partikel sowohl ein aufschäumbares Metall (32) enthalten als auch ein Treibmittel (33), welches ein Gas zum Aufschäumen des Metalls freisetzen kann.
8. Beschichtungsmaterial nach Anspruch 7, bei welchem die Partikel (31) einen metallischen Kern (32) aufweisen, der mit dem Treibmittel (33) beschichtet ist.
9. Beschichtungsmaterial nach einem der Ansprüche 7-8, wobei das Treibmittel (33) jeweils in den Partikeln (31) dispergiert ist, sodass die Partikel (31) jeweils eine metallische Matrix (32) aufweisen, in welche das Treibmittel (33) eingelagert ist.
10. Funktionale Schicht hergestellt gemäss einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1-5 oder mit einem Beschichtungsmaterial (3) nach einen der Ansprüche 7-9
11. Substrat mit einer funktionalen Schicht (1) gemäss Anspruch 10
12. Verwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1-5 oder eines Beschichtungsmaterials nach einen der Ansprüche 7-9 zur Herstellung von Anstreifschichten, Einlaufschichten, Dichtungen, Lagern, Verbindungs- oder Füllmaterial.

Fig. 1

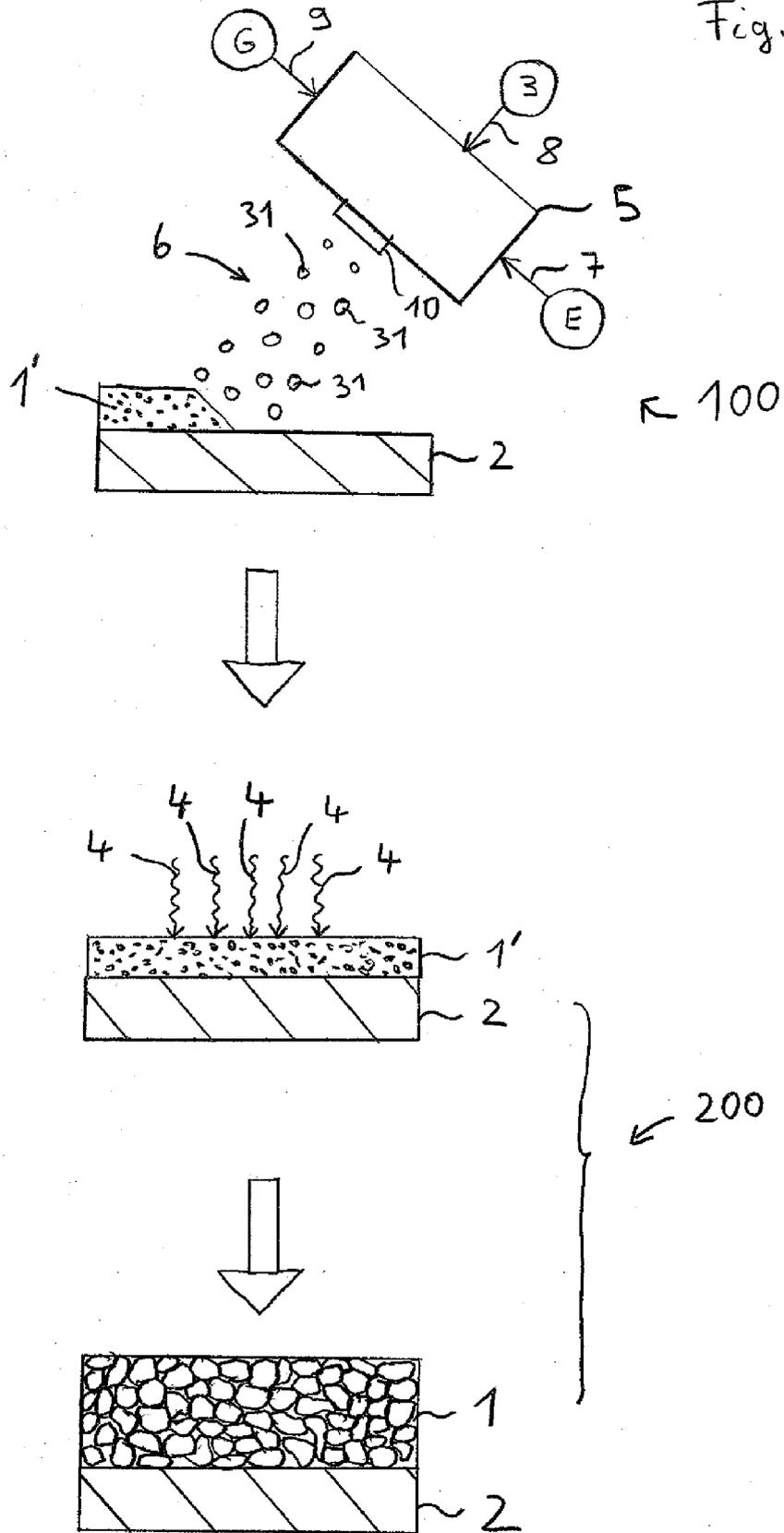


Fig. 2

← 31

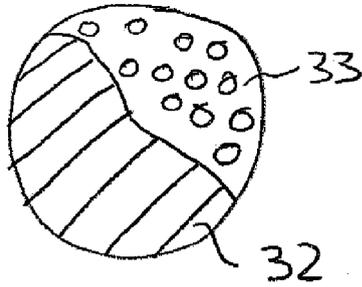


Fig. 3

← 31

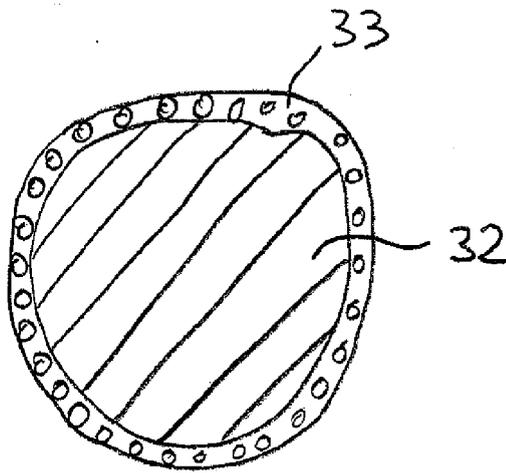
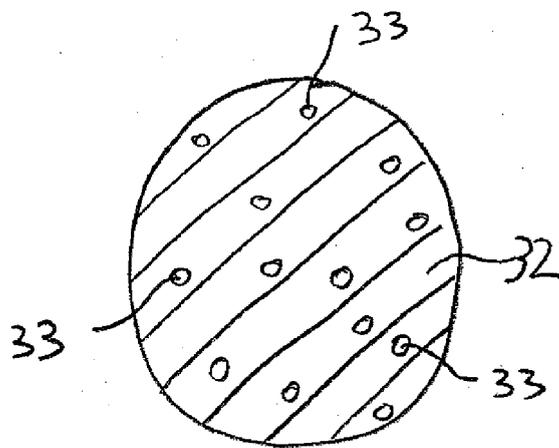


Fig. 4

← 31





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 07 11 1431

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 195 01 659 C1 (DAIMLER BENZ AG [DE]) 15. Mai 1996 (1996-05-15) * Spalte 2, Zeilen 10-22 * * Spalte 2, Zeilen 47-60 * * Spalte 3, Zeilen 56-65 * * Spalte 4, Zeilen 41-46 * * Spalte 4, Zeilen 66-68 * * Spalte 6, Zeilen 1-15 * * Abbildungen 1,2a,2b * -----	1-12	INV. C23C4/12 C23C24/04 C25D13/02
X	WO 2006/044102 A (UNIV CALIFORNIA [US]) 27. April 2006 (2006-04-27) * Ansprüche 1-11 * * Abbildungen 1-3 * -----	7,9-12	
X	WO 2004/033746 A (RWTH AACHEN [DE]; MAURER MATTHIAS [DE]; LUGSCHEIDER ERICH [DE]) 22. April 2004 (2004-04-22) * Seite 1, Absatz 4 * * Seite 2, Absatz 4 * * Ansprüche 1-17 * -----	7,10-12	
X	EP 0 422 360 A (VER SCHMIEDEWERKE GMBH [DE]) 17. April 1991 (1991-04-17) * Seite 4, Zeilen 5-11; Beispiel c; Tabelle 1 * * Ansprüche 1,5,6 * -----	7,9-12	C23C C25D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 13. August 2007	Prüfer Rolle, Susett
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, 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	
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			

1
EPO FORM 1503 03.02. (P04/C03)

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

EP 07 11 1431

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.

13-08-2007

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19501659	C1	15-05-1996	KEINE	
WO 2006044102	A	27-04-2006	US 2007142643 A1 US 2006078454 A1	21-06-2007 13-04-2006
WO 2004033746	A	22-04-2004	AU 2003271671 A1 DE 10246454 A1	04-05-2004 15-04-2004
EP 0422360	A	17-04-1991	DE 4023462 C1	04-07-1991

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

- US 5151246 A [0002]