

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
31. Juli 2014 (31.07.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/114597 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
C23C 4/12 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/051038

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. Januar 2014 (20.01.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
13152230.2 22. Januar 2013 (22.01.2013) EP

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: WILKENHÖNER, Rolf; Jägerhorn 39, 14532
Kleinmachnow (DE). BARAUTZKI, Karsten; Fontanestr.
9, 14621 Schönwalde (DE). FELKEL, Mario;
Chausseestraße 100, Vorderhaus Etage 4 li, 10115 Berlin
(DE). KYECK, Sascha Martin; Geisenheimerstr. 8,
14197 Berlin (DE). RICHTER, Johannes; Quitzowstraße
125, 10559 Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

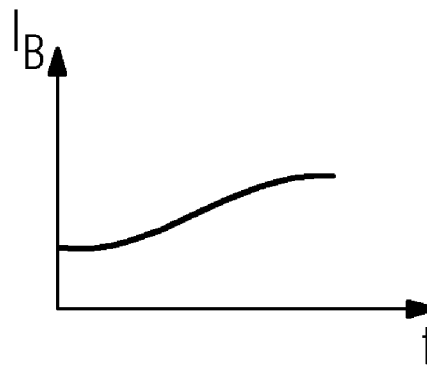
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: CONTROLLED THERMAL COATING

(54) Bezeichnung : GEREGLTE THERMISCHE BESCHICHTUNG

FIG 4



(57) Abstract: The combined measurement of particle speed, particle temperature, particle intensity, burner current and the control thereof within a tolerance range allow the coating structure, coating thickness and the coating weight to be maintained despite wear-associated fluctuations in the coating process.

(57) Zusammenfassung: Durch die kombinierte Messung der Partikelgeschwindigkeit, -temperatur, -Intensität, Brennerspannung und deren Regelung in einem Toleranzbereich ist es möglich, die Schichtstruktur, die Schichtdicke und das Schichtgewicht trotz verschleißbedingter Schwankungen im Beschichtungsprozess konstant zu halten.

WO 2014/114597 A1

Geregelte thermische Beschichtung

Die Erfindung betrifft einen Prozess der thermischen Be-
5 schichtung.

Thermische Spritzprozesse werden zur Herstellung von metalli-
schen und keramischen Schichten eingesetzt, bei denen ein
Material ganz oder zumindest teilweise aufschmilzt.

10 Das Material wird in eine Düse beispielsweise eines Plasma-
brenners oder extern injiziert. Durch sehr hohe Plasmatempe-
raturen und den Pulvermaterialeinfluss verschleißt zumindest
die Düse. Dies führt zu verschleißbedingten Schwankungen im
Beschichtungsprozess, welche hauptsächlich durch einen Span-
15 nungsabfall am Brenner verursacht werden.

Bisher wurden diese Schwankungen durch Nachjustieren des Pul-
vermassenstroms ausgeglichen, um das gewünschte Schichtge-
wicht der Schaufel im Toleranzband zu halten.

20 Dies ist jedoch nicht optimal, da lediglich der spannungsab-
fallinduzierte Leistungsabfall am Brenner durch eine Erhöhung
des Pulvermassenstroms kompensiert wird.

25 Es ist daher Aufgabe der Erfindung oben genanntes Problem zu
lösen.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1.

30 In den Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte Maßnahmen
aufgelistet, die beliebig miteinander kombiniert werden kön-
nen, um weitere Vorteile zu erzielen.

Es zeigen:

35

Figuren 1 - 3 Parameterverläufe aus dem Stand der Technik,
Figuren 4 - 9 erfindungsgemäße Parameterverläufe,
Figur 10 eine Düse,

Figuren 11, 12 eine Temperaturverteilung,
Figur 13 eine Turbinenschaufel.

Die Beschreibung und die Figuren stellen nur Ausführungsbeispiele der Erfindung dar.

Beschichtungen werden durch thermische Beschichtungsprozesse wie SPSS, HVOF, APS, LPPS, VPS, ... aufgebracht. Dabei wird in einer Düse ein Plasma oder eine Flamme erzeugt, wobei durch die Düse oder am Ende der Düse ein Material einströmt.

Durch den Verschleiß an der Düse oder an der Beschichtungs-
vorrichtung verändern sich die Materialstromeigenschaften und damit auch der Aufschmelzgrad des Materials, insbesondere vom
Pulver.

Figur 1 zeigt einen beispielhaften Verlauf der Spannung U_B zwischen der Düse 30 und einer Elektrode 36 (Fig. 10) nach dem Stand der Technik.

Die Spannung U_B zwischen der Düse 30 und der Elektrode fällt mit der Zeit t ab und geht dann in eine Sättigung über. Bei anderen Düsentypen ist auch ein kontinuierlicher Abfall der Spannung U_B über die Zeit t oder andere Verläufe möglich.

Dementsprechend ist der Verlauf der durchschnittlichen Temperaturen T und der durchschnittlichen Materialstromgeschwindigkeit v_p (nicht dargestellt) über die Zeit.

Als Auswirkung davon nimmt das Schichtgewicht m_c mit der Zeit ab (Figur 2) und/oder die Porosität p (Figur 3) nimmt zu.

Es werden daher erfindungsgemäß die Eigenschaften der Flamme oder des Plasmas und/oder des aufgeschmolzenen Materials, die bei der thermischen Beschichtung aus der Düse 30, insbesondere bei der Plasma-Beschichtung oder HVOF-Beschichtung austreten, ermittelt.

Dabei werden Zielwerte Z_1 , Z_2 , Z_3 , wie insbesondere von Spannung U_B zwischen der Düse 30 und der Elektrode 36 oder der Leistung P an der Düse 30, Materialstromgeschwindigkeit v_p , die Temperatur T_p des Materialstroms 42 und/oder eine Helligkeitsverteilung $H(x,y)$ oder Temperaturverteilung $T(x,y)$ mit H = Lichtstärke oder Strahlungsleistung der Partikel M_{xy} im Materialstrom 42 ermittelt.

Dies erfolgt durch Messgeräte, die über Pyrometrie oder CCD-Kameras quantitative Daten ermitteln.

Werden bei der Messung also Abweichungen festgestellt, so ist auf einen Verschleiß zu schließen und Parameter R_1 , R_2 , R_3 zur Veränderung der Zielgrößen Z_1 , Z_2 , Z_3 werden entsprechend eingestellt, so dass wieder die gewünschten Zielwerte von Z_1 , Z_2 , Z_3 erreicht werden.

Die Regelung der Zielwerte (Z_1 , Z_2 , Z_3) erfolgt über die Anpassung der Regelgrößen (R_1 , R_2 , R_3), hier von Stromstärke I_B der Düse 30, der Flussraten der Primär- und/oder Sekundärgase in H_2 , in Ar an der Düse 30, durch welche sich die Zielparameter Z_1 , Z_2 , Z_3 gezielt einstellen lassen.

Primärgase sind Argon (Ar) und/oder Helium (He), Sekundärgas ist z.B. Wasserstoff (H_2), die durch die Düse 30 strömen.

Es können ein, zwei oder drei Regelgrößen verwendet werden ausgehend von einem optimalen Sollzustand für Z_1 , Z_2 , Z_3 , für die hier verwendeten drei Regelgrößen R_1 , R_2 , R_3 .

Ausgehend von den Regelgrößen R_1 , R_2 , R_3 , bei denen die Zielgrößen Z_1 , Z_2 , Z_3 eingehalten werden, werden vorab Parametersätze K_1 , K_2 , ... ermittelt, bei denen die Regelgrößen R_1 , R_2 , R_3 gleichzeitig oder teilweise erhöht ($> 1,0$) oder erniedrigt ($< 1,0$) werden oder konstant ($1,0$) bleiben.

1,0 stellt dabei für R1, R2, R3, ... einen nominierten Wert dar, nämlich der eingestellte Wert geteilt durch den Ausgangszustand von R1, R2,

- 5 Die Werte 1,1; 0,9 stellen dementsprechend eine entsprechende Erhöhung oder Erniedrigung von R1, R2, ... dar.

	R1	R2	R3
K1	1,1	1,1	1,1
K2	1,1	1,0	1,0
K3	1,1	1,0	1,1
K4	1,1	1,0	0,9
K5	0,9	0,9	0,9
K6	0,9	1,1	1,0
K7	...	...	...

- 10 Aufgrund dieser Erhöhungen und/oder Änderungen der Regelgrößen R1, R2, R3 werden dann die veränderten Werte der hier vorzugsweise drei verwendeten Zielgrößen Z₁, Z₂, Z₃ ermittelt:

	R1	R2	R3	Z1	Z2	Z3
K1	1,1	1,1	1,1	1,2	0,8	0,8
K2	1,1	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2
K3	1,1	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2
K4	1,1	1,0	0,9	1,2	1,2	1,2
K5	...	...	...	...	...	...

- 15 Die Werte 1,1; 0,9; 1,0 stellen dementsprechend eine entsprechende Erhöhung, Erniedrigung oder keine Veränderung der normierten Werte von Z1, Z2, ... dar.

- 20 Die Veränderungen der Zielgrößen Z1, Z2, Z3, hier Partikeltemperatur T_P, Spannung U_B, Leistung P, Partikelgeschwindigkeit, hängen von der jeweiligen Düse 30 ab.

Ebenso ist es möglich, nur mit höheren ($\uparrow$) und niedrigeren ($\downarrow$) Werten für R1, R2, ... eine Datentabelle zu erfassen, d.h. keine gleichbleibende Werte (-) für die Regelgrößen.

	R1	R2	R3	Z1	Z2	Z3
K1	1,1	1,1	1,1	1,2	0,8	0,8
K8	1,1	1,1	0,8	1,2	1,2	1,3
K9	1,1	0,9	1,1	1,2	1,1	1,1
K10	0,9	1,1	0,9	1,2	1,2	1,2
K11	.	.	.	.	.	.

5

Ebenso ist es möglich, die höheren (1,0) oder niedrigeren (0,9) Werte von R1, R2, R3 unterschiedlich groß auszugestalten und die Auswirkung auf die Zielgrößen Z1, Z2, Z3 zu bestimmen:

10

K1: R2 hat prozentual größere Änderungen als R1, R3; K2: R1 hat prozentual größere Änderungen als R2, R3; K4: R3 kleiner als R1, R2.

	R1	R2	R3	Z1	Z2	Z3
K12	1,1	1,2	1,1	1,1	0,9	0,9
K13	1,2	1,1	1,1	1,1	1,4	1,2
K14	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
K15	1,1	1,0	0,8	1,1	1,1	1,1

15

Diese vorab ermittelten Parametersätze K1, ... werden dann zur Regelung verwendet, wenn eine Abweichung bei Z1, Z2, Z3 auftritt.

20

Es wird bei einer Abweichung des Wertes von Z1, Z2, ... ermittelt, welche Kombination K1, K2, ... von Z1, Z2, Z3 der Abweichung am nächsten kommt, ggf. eine Bestfit-Anpassung durchgeführt und die Regelwerte R1, R2, R3 dieser so gefundenen

25

Kombination K1, K2, ... werden dann für den weiteren Betrieb

der Düse 30 und Elektrode 36 verwendet, um die Abweichungen zu kompensieren.

5 Durch diese Regelung bleiben die Schichtstruktur, die Schichtdicke und das Schichtgewicht m_c (Fig. 6) der Schaufel sowie Porosität p (Fig. 7) über die Zeit t konstant.

10 Durch die Regelung der Stromstärke I_B (Fig. 4) wird die Leistung P relativ konstant gehalten (Fig. 5). Dies ist dann auch erkennbar an den konstanten Werten der Partikeltemperaturen und der Partikelgeschwindigkeiten V_p (nicht dargestellt).

15 Figur 10 zeigt eine Düse 30, bei der als Primärgas Argon (Ar), Helium (He) und/oder als Sekundärgas Wasserstoff (H_2) an einem Düsenende 31 eingeleitet werden und am anderen Ende 33 Material ($M_{x,y}$) hinzugeführt wird.

20 Durch das Anlegen der Spannung U_B zwischen der Elektrode 36 und der Düse 30 wird durch einen hochenergetischen Lichtbogen ein Plasma erzeugt, das die Plasmaflamme bildet.

25 Ebenso können die Gas-Flussraten $\dot{m}_G$ von Argon $\dot{m}_{Ar}$ (Fig. 8) sowie die von Wasserstoff $\dot{m}_{H_2}$ (Fig. 9) an der Düse 30 geregelt werden, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen, insbesondere für die Spannung U_B .

30 In Figur 11 ist eine Verteilung 36 der Temperatur $T(x,y)$ oder der Helligkeit $H(x,y)$ in Ausströmrichtung z des Materialstroms 42 dargestellt.

Dabei gibt es einen heißesten inneren Kern 39' und weiter außen gelegene Bereiche 39'', 39''', die weniger heiß sind.
35 Das Vorhandensein von mehreren Bereichen 39', 39'', 39''' ist hier nur schematisch bzgl. eines kontinuierlichen Abfalls oder Veränderung der Temperatur oder Helligkeit.

Figur 12 ist eine seitliche Ansicht auf den Materialstrom 42 und dessen Helligkeitsverteilung $H(x,y)$ oder dessen Temperaturverteilung $T(x,y)$.

Bei dieser seitlichen Aufsicht werden die Helligkeitswerte in
5 x-Richtung für eine y Position aufsummiert.

Die Helligkeit $H(x,y)$ wird bestimmt durch alle Partikel M_{xy} entlang der x-Richtung für eine Stelle y und der Temperatur T der Partikel M_{xy} , da nicht nur die äußeren Partikeln im Bereich 39''' strahlen, sondern auch die inneren Partikel im
10 Bereich 39' nach außen abstrahlen und erfasst werden.

Die Temperatur $T(x,y)$ wird eher nur durch die äußeren Partikel im Bereich 39''' bestimmt.

15

Es kann auch ein integraler Wert R einer Fläche $\int H(x,y) dx dy$

über die Aufsicht gemäß Figur 11 oder Figur 12 ermittelt werden und es ergibt sich ein einzelner integraler Helligkeitswert R.

20

Dieser Wert R kann zur Regelung verwendet werden.

Wenn Abweichungen in diesem Integralwert R festgestellt werden, tritt eine Regelung ein.

Ebenso kann ein integraler Temperaturwert $R = \int T(x,y) dx dy$ über

25

den Querschnitt gemäß Figur 12 oder Figur 11 für die Regelung ermittelt werden.

Dieser integrale, singuläre Wert R stellt dann auch eine Regelgröße Z dar.

30

Ebenso kann ein bildhafter Vergleich zu verschiedenen Zeiten zwischen zwei Bildern der Figuren 11, 12 für die Temperaturverteilung $T(x,y)$ oder Helligkeitsverteilung $H(x,y)$ ange stellt und Abweichungen ermittelt werden.

35

Wenn Abweichungen festgestellt werden, tritt ebenfalls eine Regelung ein.

Die Materialflussrate $\dot{m}_M$ des Materialstroms wird bei der Regelung dabei vorzugsweise nicht verändert.

5

Die Figur 13 zeigt in perspektivischer Ansicht eine Laufschaufel 120 oder Leitschaufel 130 einer Strömungsmaschine, die sich entlang einer Längsachse 121 erstreckt.

Die Strömungsmaschine kann eine Gasturbine eines Flugzeugs oder eines Kraftwerks zur Elektrizitätserzeugung, eine Dampfturbine oder ein Kompressor sein.

Die Schaufel 120, 130 weist entlang der Längsachse 121 aufeinander folgend einen Befestigungsbereich 400, eine daran angrenzende Schaufelplattform 403 sowie ein Schaufelblatt 406 und eine Schaufelspitze 415 auf.

Als Leitschaufel 130 kann die Schaufel 130 an ihrer Schaufelspitze 415 eine weitere Plattform aufweisen (nicht dargestellt).

20

Im Befestigungsbereich 400 ist ein Schaufelfuß 183 gebildet, der zur Befestigung der Laufschaufeln 120, 130 an einer Welle oder einer Scheibe dient (nicht dargestellt).

Der Schaufelfuß 183 ist beispielsweise als Hammerkopf ausgestaltet. Andere Ausgestaltungen als Tannenbaum- oder Schwalbenschwanzfuß sind möglich.

Die Schaufel 120, 130 weist für ein Medium, das an dem Schaufelblatt 406 vorbeiströmt, eine Anströmkante 409 und eine Abströmkante 412 auf.

30

Bei herkömmlichen Schaufeln 120, 130 werden in allen Bereichen 400, 403, 406 der Schaufel 120, 130 beispielsweise massive metallische Werkstoffe, insbesondere Superlegierungen verwendet.

Solche Superlegierungen sind beispielsweise aus der EP 1 204 776 B1, EP 1 306 454, EP 1 319 729 A1, WO 99/67435 oder WO 00/44949 bekannt.

Die Schaufel 120, 130 kann hierbei durch ein Gussverfahren, auch mittels gerichteter Erstarrung, durch ein Schmiedeverfahren, durch ein Fräsverfahren oder Kombinationen daraus gefertigt sein.

5

Werkstücke mit einkristalliner Struktur oder Strukturen werden als Bauteile für Maschinen eingesetzt, die im Betrieb hohen mechanischen, thermischen und/oder chemischen Belastungen ausgesetzt sind.

10 Die Fertigung von derartigen einkristallinen Werkstücken erfolgt z.B. durch gerichtetes Erstarren aus der Schmelze. Es handelt sich dabei um Gießverfahren, bei denen die flüssige metallische Legierung zur einkristallinen Struktur, d.h. zum einkristallinen Werkstück, oder gerichtet erstarrt.

15 Dabei werden dendritische Kristalle entlang dem Wärmefluss ausgerichtet und bilden entweder eine stängelkristalline Kornstruktur (kolumnar, d.h. Körner, die über die ganze Länge des Werkstückes verlaufen und hier, dem allgemeinen Sprachgebrauch nach, als gerichtet erstarrt bezeichnet werden) oder
20 eine einkristalline Struktur, d.h. das ganze Werkstück besteht aus einem einzigen Kristall. In diesen Verfahren muss man den Übergang zur globulitischen (polykristallinen) Erstarrung meiden, da sich durch ungerichtetes Wachstum notwendigerweise transversale und longitudinale Korngrenzen ausbilden, welche die guten Eigenschaften des gerichtet erstarrten
25 oder einkristallinen Bauteiles zunichte machen.

Ist allgemein von gerichtet erstarrten Gefügen die Rede, so sind damit sowohl Einkristalle gemeint, die keine Korngrenzen oder höchstens Kleinwinkelkorngrenzen aufweisen, als auch
30 Stängelkristallstrukturen, die wohl in longitudinaler Richtung verlaufende Korngrenzen, aber keine transversalen Korngrenzen aufweisen. Bei diesen zweitgenannten kristallinen Strukturen spricht man auch von gerichtet erstarrten Gefügen (directionally solidified structures).

35 Solche Verfahren sind aus der US-PS 6,024,792 und der EP 0 892 090 A1 bekannt.

Ebenso können die Schaufeln 120, 130 Beschichtungen gegen Korrosion oder Oxidation aufweisen, z. B. (MCrAlX; M ist zumindest ein Element der Gruppe Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), X ist ein Aktivelement und steht für Yttrium (Y) und/oder Silizium und/oder zumindest ein Element der Seltenen Erden, bzw. Hafnium (Hf)). Solche Legierungen sind bekannt aus der EP 0 486 489 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 oder EP 1 306 454 A1.

Die Dichte liegt vorzugsweise bei 95% der theoretischen Dichte.

Auf der MCrAlX-Schicht (als Zwischenschicht oder als äußerste Schicht) bildet sich eine schützende Aluminiumoxidschicht (TGO = thermal grown oxide layer).

Vorzugsweise weist die Schichtzusammensetzung Co-30Ni-28Cr-8Al-0,6Y-0,7Si oder Co-28Ni-24Cr-10Al-0,6Y auf. Neben diesen kobaltbasierten Schutzbeschichtungen werden auch vorzugsweise nickelbasierte Schutzschichten verwendet wie Ni-10Cr-12Al-0,6Y-3Re oder Ni-12Co-21Cr-11Al-0,4Y-2Re oder Ni-25Co-17Cr-10Al-0,4Y-1,5Re.

Auf der MCrAlX kann noch eine Wärmedämmschicht vorhanden sein, die vorzugsweise die äußerste Schicht ist, und besteht beispielsweise aus ZrO_2 , Y_2O_3 - ZrO_2 , d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollständig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Kalziumoxid und/oder Magnesiumoxid.

Die Wärmedämmschicht bedeckt die gesamte MCrAlX-Schicht.

Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmschicht erzeugt.

Andere Beschichtungsverfahren sind denkbar, z.B. atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), LPPS, VPS oder CVD. Die Wärmedämmschicht kann poröse, mikro- oder makrorissbehaftete Körner zur besseren Thermoschockbeständigkeit aufweisen. Die Wärmedämmschicht ist also vorzugsweise poröser als die MCrAlX-Schicht.

Wiederaufarbeitung (Refurbishment) bedeutet, dass Bauteile 120, 130 nach ihrem Einsatz gegebenenfalls von Schutzschichten befreit werden müssen (z.B. durch Sandstrahlen). Danach erfolgt eine Entfernung der Korrosions- und/oder Oxidationsschichten bzw. -produkte. Gegebenenfalls werden auch noch Risse im Bauteil 120, 130 repariert. Danach erfolgt eine Wiederbeschichtung des Bauteils 120, 130 und ein erneuter Einsatz des Bauteils 120, 130.

- 10 Die Schaufel 120, 130 kann hohl oder massiv ausgeführt sein. Wenn die Schaufel 120, 130 gekühlt werden soll, ist sie hohl und weist ggf. noch Filmkühllöcher 418 (gestrichelt angedeutet) auf.

Patentansprüche

1. Verfahren zur thermischen Beschichtung mittels eines
5 Materialstroms (42) mittels einer Düse (30),
insbesondere mittels eines Pulverstroms,
bei dem ein Material (M_{xy}) des Materialstroms (42) erwärmt,
angeschmolzen und/oder aufgeschmolzen wird,
insbesondere mittels eines Plasmas oder einer Flamme,
10 bei dem zumindest eine der Zielgrößen ($Z_1, Z_2, Z_3, \dots$)
Materialstromgeschwindigkeit (v_p) des Materialstroms (42)
und/oder
Helligkeitsverteilungen ($H(x, y); \int H(x, y) dx dy$) oder
Temperaturverteilung ($T(x, y); \int T(x, y) dx dy$)
15 des Materialstroms (42)
und/oder
Spannung (U_B) zwischen einer Elektrode (36) und der Düse
(30)
und/oder
20 die Leistung (P) der Düse (30)
gemessen oder bestimmt und geregelt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
25 bei dem als zumindest eine Zielgröße ($Z_1, Z_2, Z_3, \dots$)
eine Helligkeitsverteilung ($H(x, y); \int H(x, y) dx dy$) des
Materialstroms (42) oder die Spannung (U_B) zwischen der
Düse (30) und der Elektrode (36) oder die Leistung (P) an
der Düse (30) geregelt werden.

30

35

3. Verfahren nach Anspruch 1,
bei dem als Zielgrößen (Z_1 , Z_2)
entweder
die Materialstromgeschwindigkeit (v_p) und
5 die Spannung (U_B) zwischen der Düse (30) und
der Elektrode (36)
oder
die Materialstromgeschwindigkeit (v_p) und
die Leistung (P) an der Düse (30)
10 geregelt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1,
bei dem als Zielgrößen (Z_1 , Z_2)
15 eine Helligkeitsverteilung ($H(x,y)$; $\int H(x,y) dx dy$) des
Materialstroms (42) und
die Materialstromgeschwindigkeit (v_p)
geregelt werden.
- 20
5. Verfahren nach Anspruch 1,
bei dem als Zielgrößen (Z_1 , Z_2)
eine Temperaturverteilung ($T(x,y)$; $\int T(x,y) dx dy$) des
Materialstroms (42) und
25 die Materialstromgeschwindigkeit (v_p)
geregelt werden.
6. Verfahren nach Anspruch 1,
30 bei dem als Zielgrößen (Z_1 , Z_2 , Z_3)
entweder
eine Temperaturverteilung ($T(x,y)$; $\int T(x,y) dx dy$) des
Materialstroms (42),
die Materialstromgeschwindigkeit (v_p) und
35 die Spannung (U_B) zwischen der Düse (30) und der Elektrode
(36)

oder

eine Temperaturverteilung $(T(x,y); \int T(x,y) dx dy)$ des

Materialstroms (42),

die Materialstromgeschwindigkeit (v_p) und

5 die Leistung der Düse (30)
geregelt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1,

10 bei dem als Zielgrößen (Z_1, Z_2, Z_3)

entweder

die Helligkeitsverteilung $(H(x,y); \int H(x,y) dx dy)$ des

Materialstroms (42),

die Materialstromgeschwindigkeit (v_p) und

15 die Spannung (U_B) zwischen der Düse (30) und der Elektrode
(36)

oder

die Helligkeitsverteilung des $(H(x,y); \int H(x,y) dx dy)$

Materialstroms (42),

20 die Materialstromgeschwindigkeit (v_p) und

die Leistung (P) an der Düse (30)

geregelt werden.

25 8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2,
3, 4, 5, 6 oder 7,

bei dem die Stromstärke (I_B) zwischen der Düse (30) und der
Elektrode (36),

und/oder

30 die Gasflussraten ($\dot{m}_{H_2}, \dot{m}_{Ar}$) der Düse (30),

als Regelgrößen (R_1, R_2, R_3) verändert werden,

um die Zielgrößen (Z_1, Z_2, Z_3) wie die Helligkeitsverteilung
 $(H(x,y); \int H(x,y) dx dy)$ des Materialstroms (42) oder

die Temperaturverteilung $(T(x,y); \int T(x,y) dx dy)$ des Material-

stroms (42) oder
die Spannung (U_B) an der Düse (30) oder
die Leistung (P) an der Düse (30) und/oder Materialstrom-
geschwindigkeit (v_p)

5 in einem bestimmten Toleranzbereich oder konstant zu hal-
ten.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis
10 8,
bei dem als eine Regelgröße (R1, R2, R3) die Stromstärke
(I_B) erhöht oder gesenkt wird.

15 10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis
9,
bei dem als zumindest eine Regelgröße (R1, R2, R3) die Gas-
flussrate ($\dot{m}_{Ar}$, $\dot{m}_{H2}$) der Primärgase (Argon, Helium)
und/oder der Sekundärgase (Wasserstoff, ...) der Düse (30)
20 erhöht oder gesenkt werden.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis
10,
25 bei dem die Materialflussrate ($\dot{m}_m$) während der Beschich-
tung nicht verändert wird.

12. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis
30 11,
bei dem als Temperatur die Temperaturverteilung ($T(x, y)$)
des Materialsstroms (42) verwendet wird.

35

13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis
11,
bei dem als Temperatur des Materialsstroms (42) ein Integralwert ($\int T(x,y) dx dy$) des Materialsstroms (42) verwendet
5 wird.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis
11,
10 bei dem als Helligkeitswert ein Integralwert
($\int H(x,y) dx dy$) des Materialsstroms (42) verwendet wird.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis
11,
15 bei dem als Helligkeitswert die Helligkeitsverteilung
($H(x,y)$) des Materialsstroms (42) verwendet wird.

16. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis
20 11, 14 oder 15,
bei dem als Helligkeitswert (H) die Lichtstärke oder Strahlungsleistung des Materialsstroms (42) verwendet wird.

25 17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis
16,
bei dem ein HVOF-Verfahren verwendet wird.

30 18. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis
16,
bei dem ein Plasmaspritzverfahren verwendet wird.

19. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis
18,
bei dem vor der Beschichtung,
ausgehend von einem und/oder mehreren Anfangswerten der
5 Regelgrößen (R1, R2, R3),
bei dem die gewünschten Zielgrößen (Z1, Z2, Z3) erreicht
und/oder eingehalten werden,
Parametersätze für verschiedene Konstellationen wie höher,
tiefer, konstant der Regelgrößen (R1, R2, R3) eingestellt
10 werden und
die Veränderungen der Zielgrößen (Z1, Z2, Z3) ermittelt
werden,
die dann später zur Regelung verwendet werden.

FIG 1

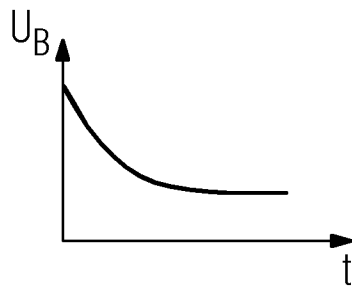


FIG 5

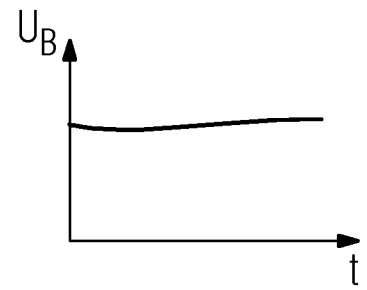


FIG 2

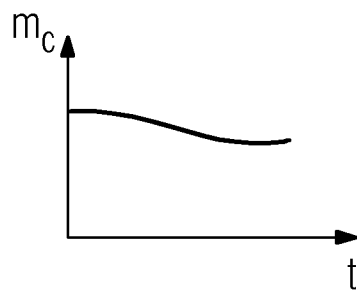


FIG 6

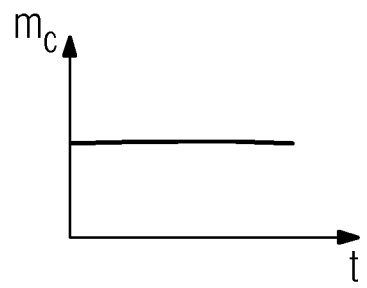


FIG 3

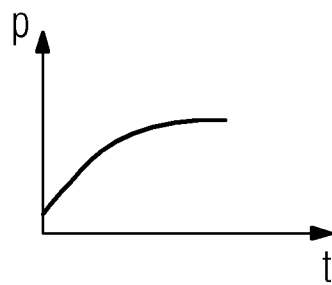


FIG 7

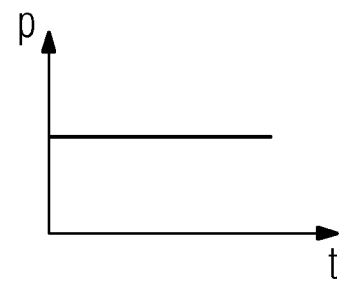


FIG 4

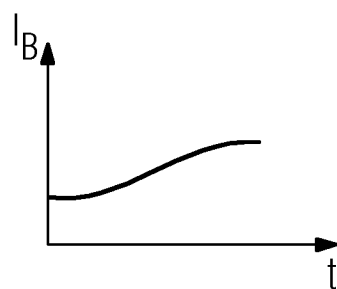


FIG 8

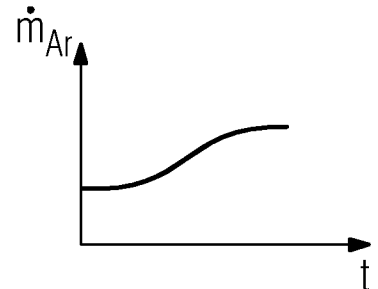


FIG 9

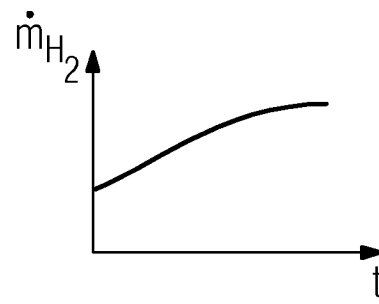


FIG 10

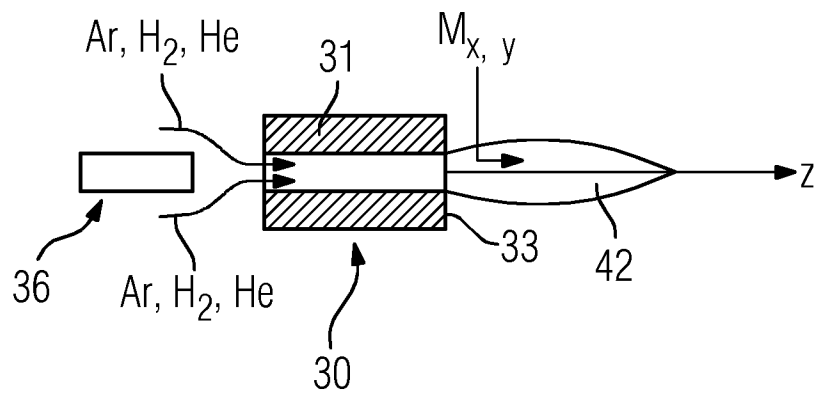


FIG 11

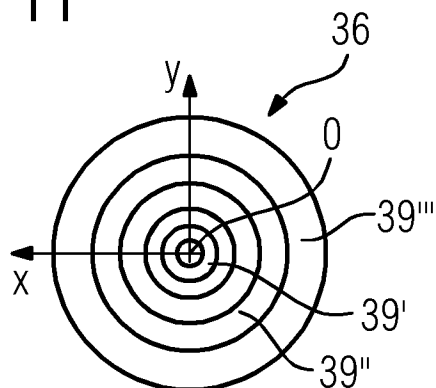


FIG 12

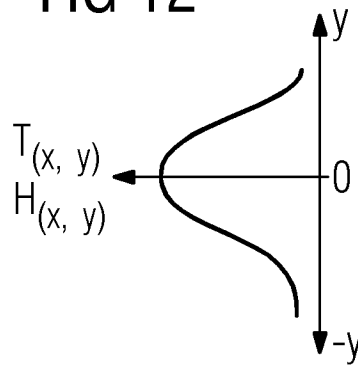
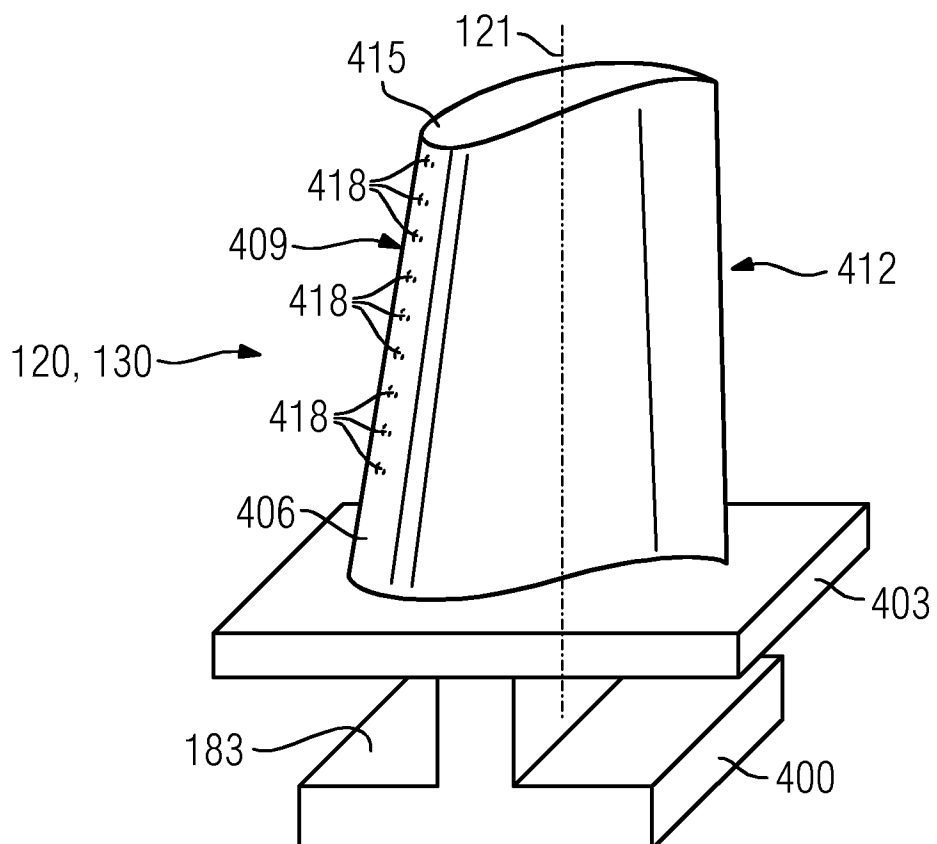


FIG 13



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2014/051038

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. C23C4/12
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
C23C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/245354 A1 (SRINIVASAN VASUDEVAN [US]) 9 December 2004 (2004-12-09) paragraphs [0007], [0008], [0042]; claims 1-22 -----	1,3,5,7, 12-14, 17-19
X	WO 2005/085489 A1 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]; ABDULLAHI HASSAN [DE]; JAKIMOV ANDREAS [DE]) 15 September 2005 (2005-09-15) page 1, paragraph 2 page 2, paragraph 3 page 4, line 4 - page 5, line 1 -----	1-5,7, 12-19
X	US 3 949 266 A (VOGTS WILLIAM A ET AL) 6 April 1976 (1976-04-06) column 2, line 41 - column 3, line 6 ----- -/-	1-3, 7-14,18, 19



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 March 2014

Date of mailing of the international search report

03/04/2014

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hoyer, Wolfgang

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2014/051038

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/031776 A1 (GEVELBER MICHAEL ALAN [US] ET AL) 19 February 2004 (2004-02-19) paragraphs [0116], [0117]; figures 1,5 -----	1,3,5-7, 12-14, 18,19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/051038

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2004245354 A1	09-12-2004	NONE	

WO 2005085489 A1	15-09-2005	DE 102004010782 A1	22-09-2005
		EP 1721024 A1	15-11-2006
		US 2007264439 A1	15-11-2007
		WO 2005085489 A1	15-09-2005

US 3949266 A	06-04-1976	NONE	

US 2004031776 A1	19-02-2004	US 2004031776 A1	19-02-2004
		US 2006198944 A1	07-09-2006

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/051038

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. C23C4/12
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherhierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
C23C

Recherhierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherhierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2004/245354 A1 (SRINIVASAN VASUDEVAN [US]) 9. Dezember 2004 (2004-12-09) Absätze [0007], [0008], [0042]; Ansprüche 1-22 -----	1,3,5,7, 12-14, 17-19
X	WO 2005/085489 A1 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]; ABDULLAHI HASSAN [DE]; JAKIMOV ANDREAS [DE]) 15. September 2005 (2005-09-15) Seite 1, Absatz 2 Seite 2, Absatz 3 Seite 4, Zeile 4 - Seite 5, Zeile 1 -----	1-5,7, 12-19
X	US 3 949 266 A (VOGTS WILLIAM A ET AL) 6. April 1976 (1976-04-06) Spalte 2, Zeile 41 - Spalte 3, Zeile 6 ----- -/-	1-3, 7-14,18, 19



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. März 2014

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

03/04/2014

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Hoyer, Wolfgang

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/051038

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2004/031776 A1 (GEVELBER MICHAEL ALAN [US] ET AL) 19. Februar 2004 (2004-02-19) Absätze [0116], [0117]; Abbildungen 1,5 -----	1,3,5-7, 12-14, 18,19

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/051038

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2004245354 A1	09-12-2004	KEINE	
WO 2005085489 A1	15-09-2005	DE 102004010782 A1	22-09-2005
		EP 1721024 A1	15-11-2006
		US 2007264439 A1	15-11-2007
		WO 2005085489 A1	15-09-2005
US 3949266 A	06-04-1976	KEINE	
US 2004031776 A1	19-02-2004	US 2004031776 A1	19-02-2004
		US 2006198944 A1	07-09-2006