

(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  
2. Mai 2008 (02.05.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2008/049456 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
**C23C 14/54** (2006.01) **F01D 5/28** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/067659

(22) Internationales Anmeldedatum:  
23. Oktober 2006 (23.10.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **SIEMENS AKTIENGESellschaft** [DE/DE];  
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LADRU, Francis-Ju-  
rjen** [NL/DE]; Mommsenstr. 33, 10629 Berlin (DE).  
**MOTZKUS, Ralf** [DE/DE]; Espanade 36, 13187 Berlin  
(DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGES-  
SELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München  
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,  
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,  
IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,  
LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,  
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO,  
RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

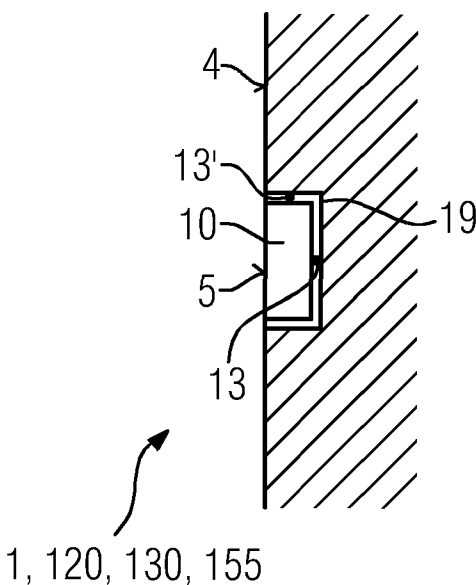
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,  
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,  
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,  
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,  
NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,  
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(54) Title: COATING OPTIMIZATION PROCESS USING A COUPON AND COMPONENT COMPRISING A COUPON

(54) Bezeichnung: BESCHICHTUNGSOPTIMIERUNGSVERFAHREN MIT EINEM COUPON UND BAUTEIL MIT EINEM  
COUPON



(57) Abstract: The use of coupons according to the prior art in coating pro-  
cesses often results in unrepresentative properties, for example in the case of a  
component without a coupon, since the coupon alters the geometry of the com-  
ponent and influences the coating parameters and adhesion mechanisms of the  
material to be applied on a substrate. The invention comprises introducing a  
coupon (10) into a depression (19) of the component (1), as a result of which  
the geometry of the component (1) is not altered compared to a component  
without a coupon.

(57) Zusammenfassung: Das Verwenden von Coupons nach dem Stand  
der Technik bei Beschichtungsverfahren ergibt oft nicht repräsentative  
Eigenschaften wie bei einem Bauteil ohne Coupon, da durch den Coupon die  
Geometrie des Bauteils verändert wird, welches die Beschichtungsparameter  
und Haftungsmechanismen des aufzubringenden Materials auf einem  
Substrat beeinflusst. Die Erfindung beinhaltet, dass ein Coupon (10) in eine  
Vertiefung (19) des Bauteils (1) eingebracht wird, wodurch die Geometrie  
des Bauteils (1) gegenüber einem Bauteil ohne Coupon nicht verändert wird.

WO 2008/049456 A1

Beschichtungsoptimierungsverfahren mit einem Coupon und  
Bauteil mit einem Coupon

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Optimieren der Beschichtung eines Bauteils, bei dem Coupons verwendet werden und ein Bauteil.

Bauteile, die in korrosiver Umgebung oder heißer Umgebung  
10 eingesetzt werden, weisen oft Schichten auf, die den Korrosionsschutz verbessern oder erst den Einsatz bei höheren Temperaturen ermöglichen. Dies ist z.B. bei Bauteilen für Turbinen, die bei Flugzeugen oder Turbinen für die stationäre Erzeugung von Strom der Fall. Die Turbinenschaufeln, aber auch  
15 Brennkammerelemente weisen eine metallische Schutzschicht zum Korrosions- und/oder Oxidationsschutz auf und in besonders heißen Bereichen eine keramische Wärmedämmschicht.

Je nach Bauteilgeometrie, die sich durch das Design ändert  
20 oder andere Beschichtungsmaterialien bzw. Beschichtungsverfahren müssen die Beschichtungsparameter überprüft und optimiert werden.

Dies kann natürlich dadurch erfolgen, dass ein ganzes Bauteil  
25 beschichtet wird und die Anhaftung der Schichten auf dem Substrat des Bauteils und der Anhaftung der Schichten untereinander dadurch untersucht wird, dass das Bauteil zerstört wird, also ganz durchgeschnitten wird und die Schnittflächen in der Metallographie untersucht werden. Dies führt jedoch  
30 zum totalen Verlust des Bauteils.

Ebenso ist es bekannt Coupons oder Plättchen auf die  
Oberfläche des Bauteils draufzulöten, zu kleben oder zu  
schweißen und die Beschichtungsparameter zu überprüfen.

35 Es ist daher Aufgabe der Erfindung oben genanntes Beschichtungsverfahren zu verbessern.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem ein Coupon so in eine Vertiefung des Bauteils eingebracht wird und durch ein Bauteil gemäß Anspruch 15.

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

Es zeigen:

10

- |            |                                                                             |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Figur 1    | eine Vorgehensweise beim Beschichtungsverfahren nach dem Stand der Technik, |
| Figur 2, 4 | eine Anordnung für das Beschichtungsverfahren der vorliegenden Anmeldung,   |
| 15 Figur 3 | schematischer Ablauf eines Beschichtungsverfahrens,                         |
| Figur 5    | Formen des Coupons,                                                         |
| Figur 6    | eine Gasturbine,                                                            |
| Figur 7    | perspektivisch eine Turbinenschaufel und                                    |
| 20 Figur 8 | perspektivisch eine Brennkammer.                                            |

- Figur 1 zeigt ein Bauteil 1 oder eine Turbinenschaufel 120, 130, das eine Oberfläche 4 im Schaufelblattbereich 406 (Fig. 25 5) aufweist, wobei der Schaufelblattbereich 406 beschichtet wird. Dabei wird nach dem Stand der Technik ein Coupon 7 auf die Schaufelspitze 415 aufgelötet. Dieser steht von der äußeren Oberfläche 4 des Bauteils 1 abweichend von der Sollgeometrie des Bauteils 1 hervor.
- 30 Dadurch dass der Coupon 7 nach dem Stand der Technik von der Oberfläche 4 hervorsteht und diese Oberfläche relativ klein zu der zu beschichtenden Oberfläche ist, können die Randeffekte an den Kanten des Coupons die Anhaftung der Schicht auf den Coupon 7 beeinflussen. Außerdem wird auch dadurch der
- 35 Abstand der Turbinenoberfläche 20 verringert, so dass der Abstand beim Beschichten des Bauteils ohne Coupons an der Stelle, wo der Coupon war, nicht derselbe ist.

Figur 2 zeigt eine Anordnung mit einem Coupon 10, der die Probleme nach dem Stand der Technik überwindet.

5 In das Bauteil 1, 120, 130, 155 wird eine Vertiefung 19 eingebracht. In diese Vertiefung 19 wird ein Coupon 10 angeordnet, so dass dessen Oberfläche 5 insbesondere auf derselben Höhe ist, wie die umgebende Oberfläche 4 des Bauteils 1, 120, 130, 155. Der Coupon 10 kann mechanisch eingeklemmt werden oder mit Schweißpunkten 13 befestigt sein. Ebenso kann  
10 der Coupon 5 eingelötet sein. Auch ein hochtemperaturfester Kleber kann verwendet werden, der den Beschichtungstemperaturen widersteht, aber nicht notwendigerweise den höheren Einsatztemperaturen des Bauteils.

15 Vorzugsweise besteht das Material des Coupons 10 aus demselben Material wie das Substrat des Bauteils 1, 120, 130, 155.

In den Figuren ist die Vertiefung 19 als ein Sackloch dargestellt, jedoch kann die Vertiefung auch ein Durchgangsloch darstellen, so dass der Begriff Vertiefung 19 sowohl auf  
20 Sacklöcher als auch auf Durchgangslöcher angewendet werden kann.

25 Figur 3 zeigt schematisch von links nach rechts den Ablauf des Beschichtungsverfahrens.

Links ist die Anordnung gemäß Figur 2 gezeigt, auf die Material 16 aufgebracht wird. Das Material ist insbesondere bei  
30 Turbinenschaufeln 120, 130 eine metallische MCrAlX-Legierung und/oder eine keramische Wärmedämmschicht oben drauf.

Auf der rechten Seite in Figur 3 ist zu erkennen, dass die  
35 Beschichtung 16 auf der Oberfläche des Coupons 10 vorhanden ist und sich keinerlei Höhenunterschiede zu einem Bauteil 1, 120, 130, 155 ergeben, in dem keine Vertiefung mit einem Coupon vorhanden ist. Dies wird auch dadurch geleistet, dass der

Spalt zwischen dem Coupon 10 der Vertiefung 19 und dem umliegenden Substrat 6 sehr gering ist, so dass auftreffendes Material erst gar nicht in diesen Spalt gelangen kann oder sehr schnell mit wenig Material verschlossen wird.

- 5 Der Coupon 10 kann bei verschiedenen Beschichtungsverfahren angewendet werden. Dies sind Niedertemperaturspritzverfahren, wie Kaltgasspritzen oder HVOF, Thermische Spritzverfahren wie sämtliche Plasmaspritzverfahren (VPS, APS, LPPS, ...) sowie PVD- oder CVD-Verfahren oder ein EB-PVD-Verfahren.

10

Nach dem Beschichten können die Coupons 10 mit der Beschichtung leicht entfernt werden, da sie nur mechanisch eingeklemmt oder mit ein, zwei oder drei Beschichtungspunkten 13, 13' befestigt waren. Dieser Coupon 10 kann zerstörend metallographisch untersucht werden. Das Bauteil 1, 120, 130, 155  
15 kann vorzugsweise mehrere Coupons 10 aufweisen.

20

Das Bauteil 1, 120, 130, 155, das nach der Beschichtung wie der Coupon 10 ebenfalls eine Beschichtung aufweist, kann wieder verwendet werden, indem die Beschichtung 16 entfernt wird, ein neuer Coupon die Vertiefung 19 eingelötet wird und weitere Versuchsreihen mit demselben Bauteil durchgeführt werden. Ebenso kann bei einer neuen Versuchsreihe an anderer Stelle eine neue Vertiefung 19 angebracht werden und die vorher verwendete Vertiefung zugelötet werden.  
25

30

Ebenso ist es möglich, in einem ersten Schritt zur Optimierung von Beschichtungsparametern eines Bauteils 1, 120, 130, 155 ein entsprechendes Bauteil ohne Vertiefung zu verwenden, bei dem dann an den interessanten Stellen, wie z. B. Anström-  
35 kante, Abströmkante, gekrümmte Bereiche, wie in Figur 5 gezeigt, ein Stück des Bauteils mit Beschichtungen 16 herausgeschnitten wird, wobei die so rausgeschnittene Stelle der Vertiefung 19 entspricht, die dann entsprechend mit einem Coupon in einem weiteren Optimierungsschritt mitbeschichtet werden kann.

Insbesondere ist diese Art der Einbringung von Coupons interessant bei besonders stark gekrümmten Bereichen eines Bauteils, wie z.B. einer Anström- 409 oder Abströmkante 412 odereiner Turbinenschaufel 120, 130 an der Schaufelspitze 415.

Ebenso kann ein Coupon 10 eine Vertiefung 19 eingebracht werden und ggf. mit dem Bauteil 1, 120, 130, 155 überarbeitet werden, so dass seine Oberfläche 5 auf selber Höhe ist, wie die umgehende Oberfläche 4 des Bauteils 1, 120, 130, 155. Vorzugsweise weist die äußere Geometrie des Bauteils 1, 120, 130, 155 mit Coupon 10 dieselbe Geometrie auf, wie das Bauteil ohne Coupon 10 bzw. Vertiefung 19.

In Figur 4 wird der Coupon 10 an einer Seite 21 der Vertiefung 19 angelehnt und durch eine Verbindungsstelle 13 an der anderen Seite 20 der Vertiefung 19 in der Vertiefung 19 durch ein Lot, Schweißpunkt oder einem Kleber gehalten.

20

Die Figur 5 zeigt verschiedene Stellen an denen ein Coupon vorhanden ist. Dies kann im Bereich der Anströmkante 409 sein, wobei selbst die Innengeometrie mit des Coupons mit der Geometrie innerhalb der Schaufel übereinstimmt.

Der Coupon 10, der im Bereich der Anströmkante 409 eingebracht wird, ist U-förmig ausgebildet und erstreckt sich vorzugsweise von der Druck- über die Anströmkante auf die Saugseite.

Ebenso wäre es möglich, den Coupon entweder nur auf der Saug- oder nur auf der Druckseite aufzubringen.

Auch im Bereich der Schaufelspitze 415 kann ein U-Profil eingebracht werden, das sich insbesondere von der Saug- bis zu Druckseite erstreckt.

Eine weitere Stelle, bei der eine Turbinenschaufel ein gekrümmter Bereich vorhanden ist, ist der Bereich des Schaufelblatts 406 zur Schaufelplattform 403. In diesem Übergang 420 kann auch ein gekrümmter Coupon 10 vorhanden sein.

5

Die Figur 6 zeigt beispielhaft eine Gasturbine 100 in einem Längsteilschnitt.

Die Gasturbine 100 weist im Inneren einen um eine Rotationsachse 102 drehgelagerten Rotor 103 mit einer Welle 101 auf, der auch als Turbinenläufer bezeichnet wird.

Entlang des Rotors 103 folgen aufeinander ein Ansauggehäuse 104, ein Verdichter 105, eine beispielsweise torusartige Brennkammer 110, insbesondere Ringbrennkammer, mit mehreren koaxial angeordneten Brennern 107, eine Turbine 108 und das Abgasgehäuse 109.

Die Ringbrennkammer 110 kommuniziert mit einem beispielsweise ringförmigen Heißgaskanal 111. Dort bilden beispielsweise vier hintereinander geschaltete Turbinenstufen 112 die Turbine 108.

Jede Turbinenstufe 112 ist beispielsweise aus zwei Schaufelringen gebildet. In Strömungsrichtung eines Arbeitsmediums 113 gesehen folgt im Heißgaskanal 111 einer Leitschaufelreihe 115 eine aus Laufschaufeln 120 gebildete Reihe 125.

25

Die Leitschaufeln 130 sind dabei an einem Innengehäuse 138 eines Stators 143 befestigt, wohingegen die Laufschaufeln 120 einer Reihe 125 beispielsweise mittels einer Turbinenscheibe 133 am Rotor 103 angebracht sind.

An dem Rotor 103 angekoppelt ist ein Generator oder eine Arbeitsmaschine (nicht dargestellt).

Während des Betriebes der Gasturbine 100 wird vom Verdichter 105 durch das Ansauggehäuse 104 Luft 135 angesaugt und verdichtet. Die am turbinenseitigen Ende des Verdichters 105 bereitgestellte verdichtete Luft wird zu den Brennern 107 geführt und dort mit einem Brennmittel vermischt. Das Gemisch wird dann unter Bildung des Arbeitsmediums 113 in der Brenn-

35

kammer 110 verbrannt. Von dort aus strömt das Arbeitsmedium 113 entlang des Heißgaskanals 111 vorbei an den Leitschaufeln 130 und den Laufschaufeln 120. An den Laufschaufeln 120 entspannt sich das Arbeitsmedium 113 impulsübertragend, so dass  
5 die Laufschaufeln 120 den Rotor 103 antreiben und dieser die an ihn angekoppelte Arbeitsmaschine.

Die dem heißen Arbeitsmedium 113 ausgesetzten Bauteile unterliegen während des Betriebes der Gasturbine 100 thermischen  
10 Belastungen. Die Leitschaufeln 130 und Laufschaufeln 120 der in Strömungsrichtung des Arbeitsmediums 113 gesehen ersten Turbinenstufe 112 werden neben den die Ringbrennkammer 110 auskleidenden Hitzeschildelementen am meisten thermisch belastet.

15 Um den dort herrschenden Temperaturen standzuhalten, können diese mittels eines Kühlmittels gekühlt werden.  
Ebenso können Substrate der Bauteile eine gerichtete Struktur aufweisen, d.h. sie sind einkristallin (SX-Struktur) oder weisen nur längsgerichtete Körner auf (DS-Struktur).  
20 Als Material für die Bauteile, insbesondere für die Turbinenschaufel 120, 130 und Bauteile der Brennkammer 110 werden beispielsweise eisen-, nickel- oder kobaltbasierte Superlegierungen verwendet.

Solche Superlegierungen sind beispielsweise aus der EP 1 204  
25 776 B1, EP 1 306 454, EP 1 319 729 A1, WO 99/67435 oder WO 00/44949 bekannt; diese Schriften sind bzgl. der chemischen Zusammensetzung der Legierungen Teil der Offenbarung.

Ebenso können die Schaufeln 120, 130 Beschichtungen gegen  
30 Korrosion (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, Scandium (Sc) und/oder zumindest ein Element der Seltenen Erden bzw. Hafnium). Solche Legierungen sind bekannt aus der EP 0 486 489  
35 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 oder EP 1 306 454 A1, die bzgl. der chemischen Zusammensetzung Teil dieser Offenbarung sein sollen.



Auf der MCrAlX kann noch eine Wärmedämmschicht vorhanden sein, 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.

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

10 Die Leitschaufel 130 weist einen dem Innengehäuse 138 der Turbine 108 zugewandten Leitschaufelfuß (hier nicht dargestellt) und einen dem Leitschaufelfuß gegenüberliegenden Leitschaufelkopf auf. Der Leitschaufelkopf ist dem Rotor 103 zugewandt und an einem Befestigungsring 140 des Stators 143 festgelegt.

15

Die Figur 7 zeigt in perspektivischer Ansicht eine Laufschaufel 120 oder Leitschaufel 130 einer Strömungsmaschine, die sich entlang einer Längsachse 121 erstreckt.

20

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

- 25 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).

30

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

35

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.

- 5 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  
10 776 B1, EP 1 306 454, EP 1 319 729 A1, WO 99/67435 oder WO 00/44949 bekannt; diese Schriften sind bzgl. der chemischen Zusammensetzung der Legierung Teil der Offenbarung.
- Die Schaufel 120, 130 kann hierbei durch ein Gussverfahren, auch mittels gerichteter Erstarrung, durch ein Schmiedeverfahren,  
15 durch ein Fräsverfahren oder Kombinationen daraus gefertigt sein.

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

- 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  
25 metallische Legierung zur einkristallinen Struktur, d.h. zum einkristallinen Werkstück, oder gerichtet erstarrt.

- Dabei werden dendritische Kristalle entlang dem Wärmefluss ausgerichtet und bilden entweder eine stängelkristalline Kornstruktur (kolumnar, d.h. Körner, die über die ganze Länge  
30 des Werkstückes verlaufen und hier, dem allgemeinen Sprachgebrauch nach, als gerichtet erstarrt bezeichnet werden) oder 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 oder einkristallinen Bauteiles zunichte machen.
- 35

Ist allgemein von gerichtet erstarrten Gefügen die Rede, so sind damit sowohl Einkristalle gemeint, die keine Korngrenzen oder höchstens Kleinwinkelkorngrenzen aufweisen, als auch 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).

Solche Verfahren sind aus der US-PS 6,024,792 und der EP 0 892 090 A1 bekannt; diese Schriften sind bzgl. des Erstarrungsverfahrens Teil der Offenbarung.

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 bzgl. der chemischen Zusammensetzung der Legierung Teil dieser Offenbarung sein sollen. 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).

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 Wärme-

dämmschicht kann poröse, mikro- oder makrorissbehaftete Körner zur besseren Thermoschockbeständigkeit aufweisen. Die Wärmedämmschicht ist also vorzugsweise poröser als die MCrAlX-Schicht.

5

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 Oxidations-

10 schichten 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.

15 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.

20

Die Figur 8 zeigt eine Brennkammer 110 einer Gasturbine. Die Brennkammer 110 ist beispielsweise als so genannte Ringbrennkammer ausgestaltet, bei der eine Vielzahl von in Umfangsrichtung um eine Rotationsachse 102 herum angeordneten Brennern 107 in einen gemeinsamen Brennkammerraum 154 münden, die

25 die Flammen 156 erzeugen. Dazu ist die Brennkammer 110 in ihrer Gesamtheit als ringförmige Struktur ausgestaltet, die um die Rotationsachse 102 herum positioniert ist.

30 Zur Erzielung eines vergleichsweise hohen Wirkungsgrades ist die Brennkammer 110 für eine vergleichsweise hohe Temperatur des Arbeitsmediums M von etwa 1000°C bis 1600°C ausgelegt. Um auch bei diesen, für die Materialien ungünstigen Betriebsparametern eine vergleichsweise lange Betriebsdauer zu ermöglichen,

35 ist die Brennkammerwand 153 auf ihrer dem Arbeitsmedium M zugewandten Seite mit einer aus Hitzeschildelementen 155 gebildeten Innenauskleidung versehen.

- Jedes Hitzeschildelement 155 aus einer Legierung ist arbeits-  
mediumsseitig mit einer besonders hitzebeständigen Schutz-  
schicht (MCrAlX-Schicht und/oder keramische Beschichtung)  
ausgestattet oder ist aus hochtemperaturbeständigem Material  
5 (massive keramische Steine) gefertigt.
- Diese Schutzschichten können ähnlich der Turbinenschaufeln  
sein, also bedeutet beispielsweise 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  
10 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 bzgl. der chemischen Zusammensetzung der Legie-  
rung Teil dieser Offenbarung sein sollen.
- 15 Auf der MCrAlX kann noch eine beispielsweise keramische Wär-  
medämmschicht vorhanden sein und besteht beispielsweise aus  
 $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3-ZrO_2$ , d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollstän-  
dig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Kalziumoxid  
20 und/oder Magnesiumoxid.
- Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronen-  
strahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der  
Wärmedämmschicht erzeugt.
- Andere Beschichtungsverfahren sind denkbar, z.B. atmosphäri-  
25 sches Plasmaspritzen (APS), LPPS, VPS oder CVD. Die Wärme-  
dämmschicht kann poröse, mikro- oder makrorissbehaftete Kör-  
ner zur besseren Thermoschockbeständigkeit aufweisen.
- Wiederaufarbeitung (Refurbishment) bedeutet, dass Hitze-  
30 schildelemente 155 nach ihrem Einsatz gegebenenfalls von  
Schutzschichten befreit werden müssen (z.B. durch Sandstrah-  
len). Danach erfolgt eine Entfernung der Korrosions- und/oder  
Oxidationsschichten bzw. -produkte. Gegebenenfalls werden  
auch noch Risse in dem Hitzeschildelement 155 repariert.  
35 Danach erfolgt eine Wiederbeschichtung der Hitzeschildele-  
mente 155 und ein erneuter Einsatz der Hitzeschildelemente  
155.

Aufgrund der hohen Temperaturen im Inneren der Brennkammer 110 kann zudem für die Hitzeschildelemente 155 bzw. für deren Halteelemente ein Kühlsystem vorgesehen sein. Die Hitzeschildelemente 155 sind dann beispielsweise hohl und weisen  
5 ggf. noch in den Brennkammerraum 154 mündende Kühllöcher (nicht dargestellt) auf.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Optimieren der Beschichtungsverfahrens-  
5 parameter eines Bauteils (1, 120, 130, 155),  
das eine Oberfläche (4) aufweist und  
bei dem ein Coupon (10) verwendet wird,  
der (10) mit der Oberfläche (4) beschichtet wird und  
der (10) nach der Beschichtung insbesondere zerstörend  
10 untersucht wird,  
  
dadurch gekennzeichnet, dass  
  
das Bauteil (1, 120, 130) eine Vertiefung (19) aufweist,  
15 in der der Coupon (10) angeordnet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
20 eine äußere freie Oberfläche (5) des Coupons (10) in der  
Vertiefung (19) auf selber Höhe ist wie die Oberfläche (4)  
des Bauteils (1, 120, 130, 155) in der Umgebung um den  
Coupon (10).  
25
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
30 für den Coupon (10) das gleiche Material verwendet wird,  
wie für das Bauteil (1, 120, 130, 155).
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3,  
35 dadurch gekennzeichnet, dass  
  
der Coupon (10) in der Vertiefung (19) angelötet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
5 der Coupon (10) in der Vertiefung (19) angeschweißt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3,  
10 dadurch gekennzeichnet, dass  
  
der Coupon (10) mechanisch in der Vertiefung (19) eingeklemmt wird.
- 15 7. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
  
das Beschichtungsverfahren ausgewählt wird aus  
20 der Gruppe der Niedertemperaturspritzverfahren,  
insbesondere Kaltgasspritzen oder HVOF oder  
aus der Gruppe der thermischen Spritzverfahren,  
insbesondere Plasmaspritzverfahren wie VPS, APS, LPPS oder  
aus der Gruppe der PVD- oder CVD-Verfahren.  
25
8. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
  
30 der Coupon (10) in besonders stark gekrümmten Bereichen  
(409, 412) des Bauteils (1, 120, 130, 155) angeordnet wird.
- 35



9. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
  
dass der Coupon (10) so ausgebildet ist,  
5 dass das Bauteil (1, 120, 130, 155) mit Coupon (10) dieselbe äußere Geometrie aufweist wie das Bauteil (120, 130, 155) ohne Coupon und ohne Vertiefung.
- 10 10. Verfahren nach Anspruch 1, 7 oder 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
  
dass der Coupon (10) in einer Vertiefung (19) des Bauteils  
(1, 120, 130, 155) eingebracht wird und  
15 dass der Coupon (10) bearbeitet wird,  
um die Oberfläche (5) des Coupons (10) an die umgebende  
Oberfläche (4) des Bauteils (1, 120, 130, 155) anzupassen,  
so dass kein Überstand zwischen Coupon (10) und Bauteil (1,  
120, 130, 155) mehr vorhanden ist.  
20
11. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5,  
bei dem ein Spalt in der Vertiefung (19) zwischen Coupon  
(10) und Bauteil (1, 120, 130, 155) nicht vollständig zuge-  
25 lötet oder zugeschweißt wird.
12. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen  
Ansprüche 4, 5 oder 11,  
30 bei dem der Coupon (10) an zwei bis vier Stellen in der  
Vertiefung (19) befestigt wird.
13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen  
35 Ansprüche,  
bei dem der beschichtete Coupon (10) herausgelöst wird und  
untersucht wird.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche,  
5 bei dem der beschichtete Coupon (10) mit den Beschichtungen (16) herausgelöst wird,  
bei dem die Beschichtungen von dem Bauteil (1, 120, 130) entfernt werden,  
wenn der Coupon (10) entfernt wurde,  
10 und ein neuer Coupon (10) in die Vertiefung (19) zur Beschichtung gebracht wird.
15. Bauteil (1, 120, 130, 155),  
15 insbesondere hergestellt nach einem der Ansprüche 1 bis 14,  
das eine Vertiefung (19) aufweist,  
in dem ein Coupon (10) befestigt ist.
- 20 16. Bauteil nach Anspruch 14,  
bei dem der Coupon (10) an besonders stark gekrümmten Bereichen,  
insbesondere in/um die Anströmkante (409) oder in/um die Abströmkante (412) einer Turbinenschaufel (120, 130) vor-  
25 handen ist.
17. Bauteil nach Anspruch 14,  
bei dem der Coupon (10) in einer Schaufelspitze (415) vor-  
30 handen ist.
18. Verfahren nach Anspruch 1 oder Bauteil nach Anspruch 15,  
16 oder 17,  
35 bei dem mehrere Coupons (10) vorhanden sind.

19. Bauteil nach Anspruch 15 oder 16,  
bei dem die Befestigung des Coupons (10) in der Vertiefung  
(19) nicht den mechanischen und/oder thermischen Belastun-  
gen während der Einsatzdauer und Einsatzbedingungen des  
5 Bauteils (1, 120, 130, 155) standhält.

20. Bauteil nach Anspruch 15, 16, 17, 18 oder 19,  
das ein Bauteil einer Turbine (100) ist,  
10 insbesondere eine Turbinenschaufel (120, 130) oder ein  
Brennkammerelement (155) ist.

21. Bauteil nach Anspruch 15,  
15 das die gleiche äußere Geometrie aufweist wie ein Bauteil  
ohne Coupon (10) bzw. Vertiefung (19).

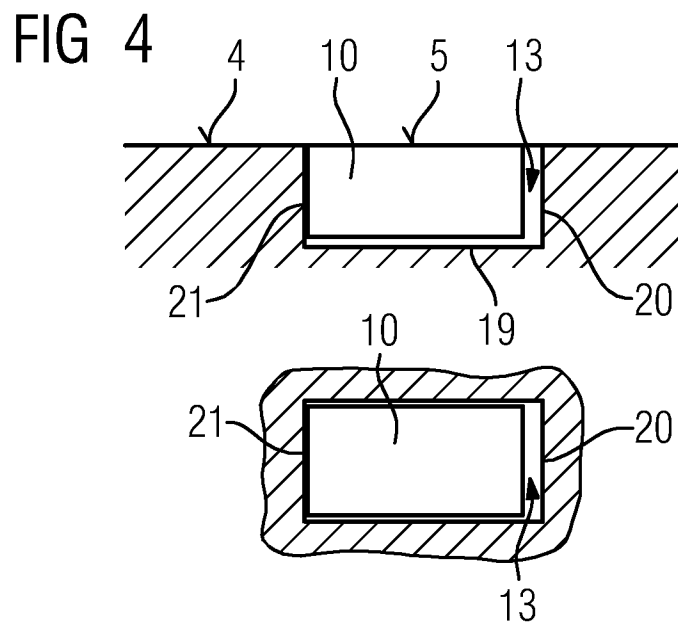
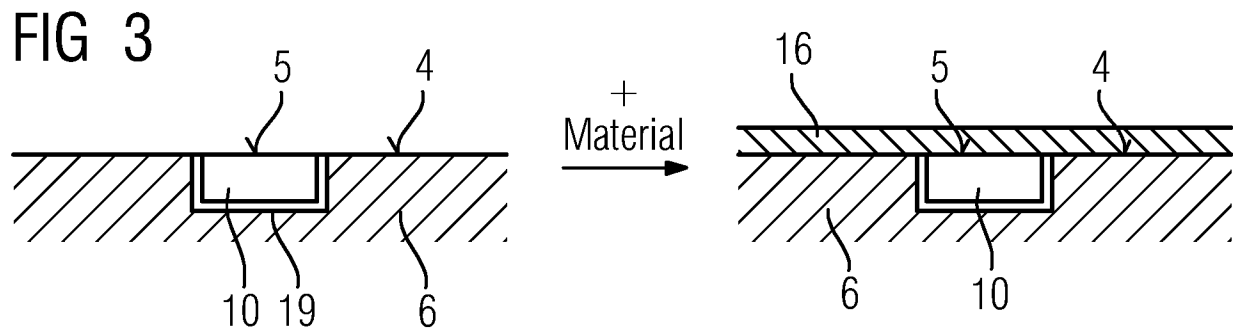
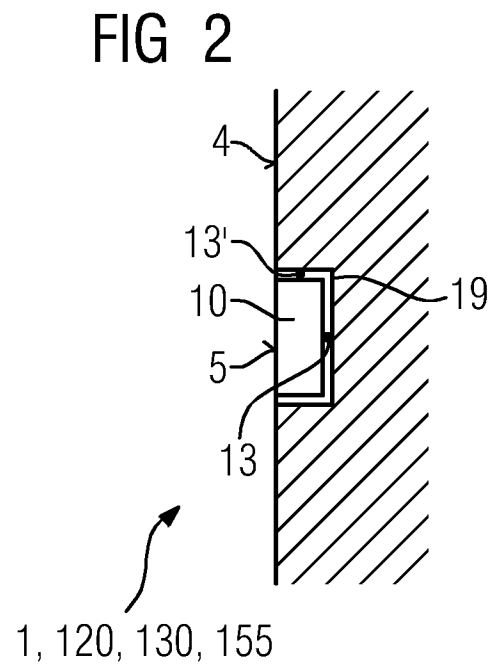
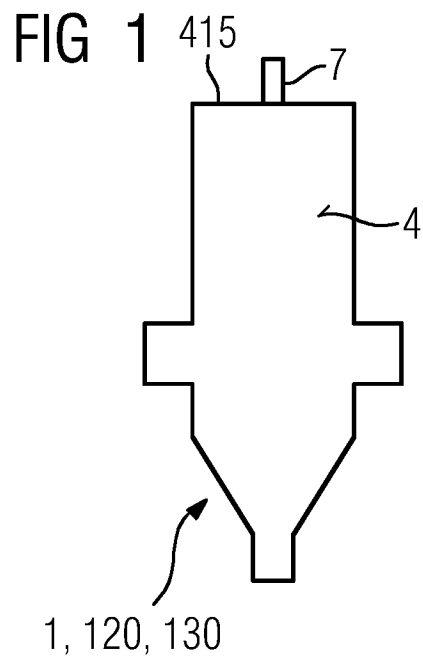


FIG 5

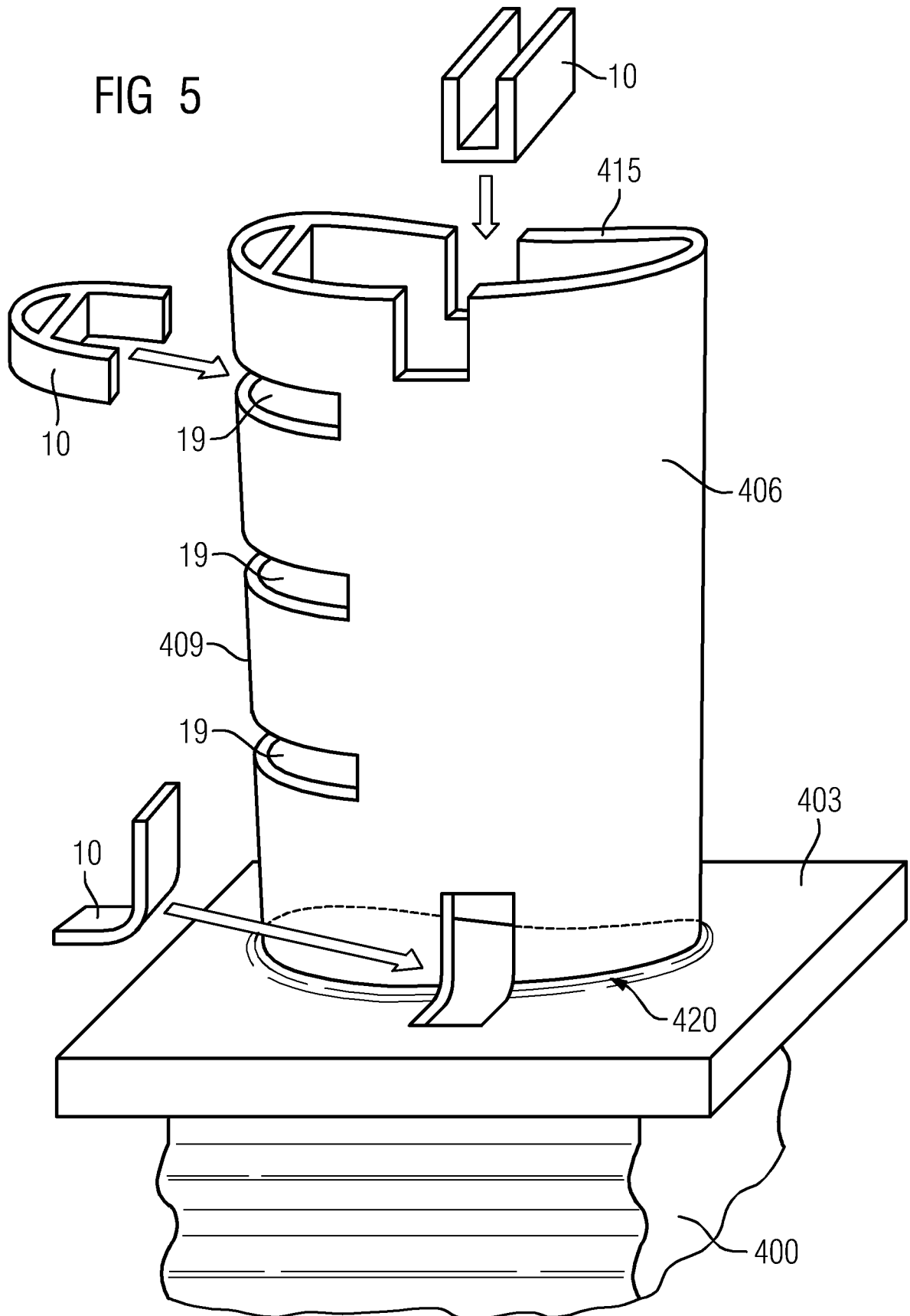


FIG 6

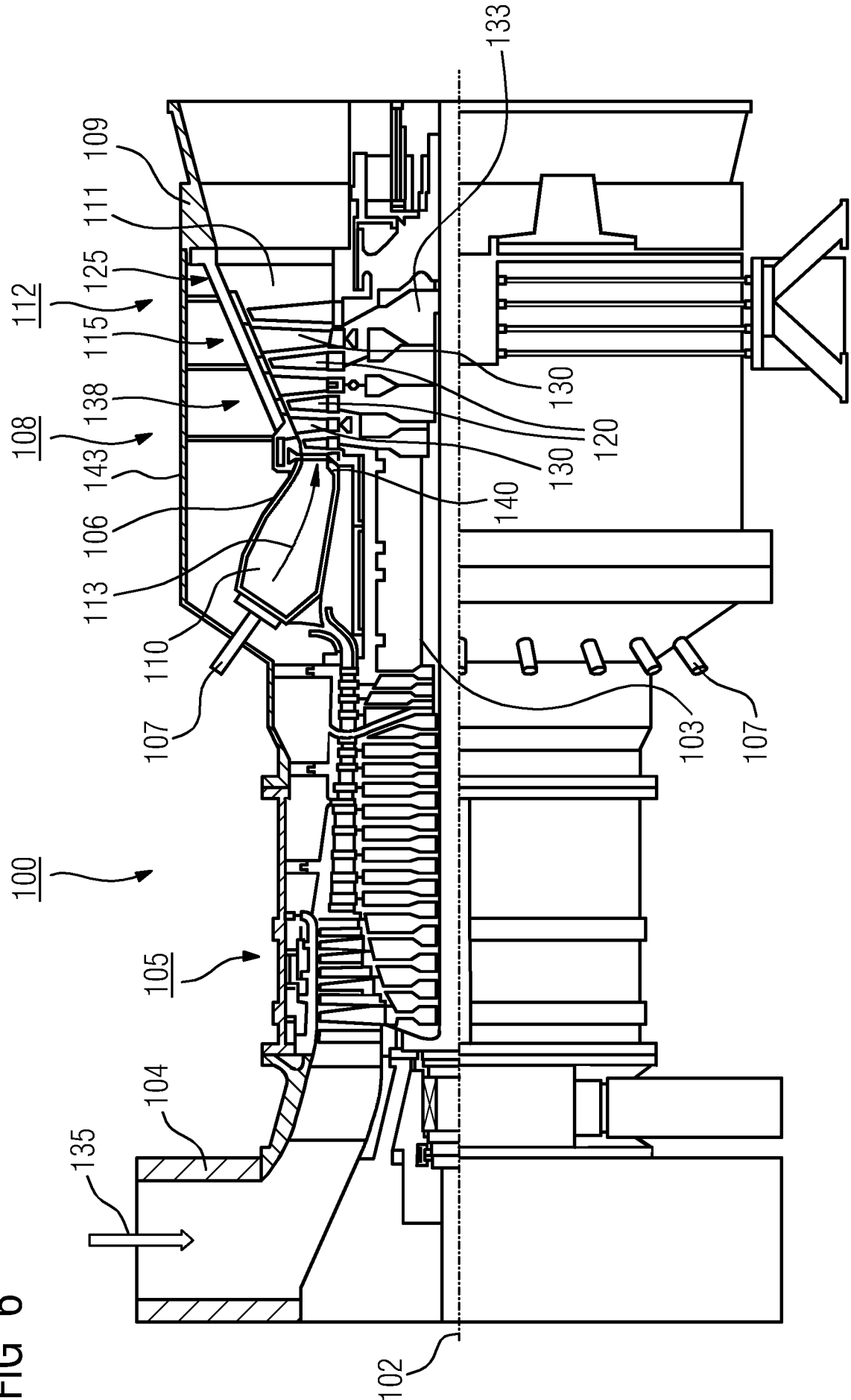


FIG 7

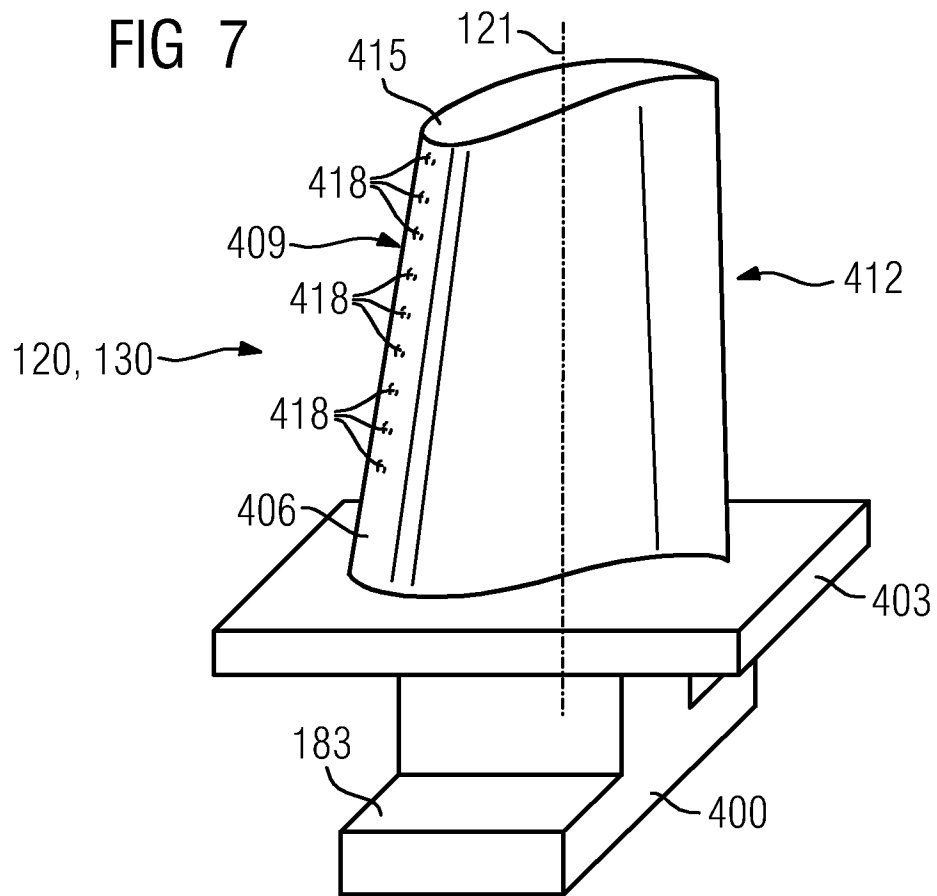
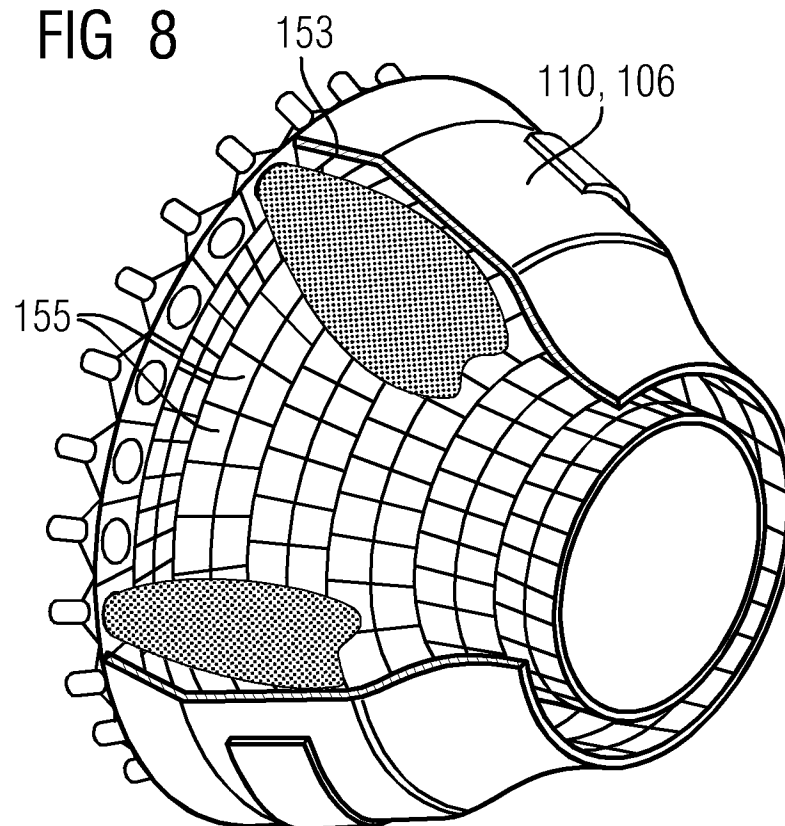


FIG 8



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2006/067659

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
INV. C23C14/54 F01D5/28

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 F01D

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 practical, search terms used)

EP0-Internal, 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         | JP 59 000502 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO) 5 January 1984 (1984-01-05)<br>abstract | 15-17,<br>20,21       |
| X         | EP 1 074 331 A (GEN ELECTRIC [US])<br>7 February 2001 (2001-02-07)<br>example       | 15,20,21              |
| A         | EP 1 072 692 A2 (GEN ELECTRIC [US])<br>31 January 2001 (2001-01-31)<br>claims 1-10  | 1-14                  |

☐ 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 document 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.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

4 July 2007

Date of mailing of the international search report

16/07/2007

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Patterson, Anthony



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2006/067659

| Patent document<br>cited in search report |    | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date |
|-------------------------------------------|----|---------------------|----------------------------|---------------------|
| JP 59000502                               | A  | 05-01-1984          | NONE                       |                     |
| EP 1074331                                | A  | 07-02-2001          | CZ 20002804 A3             | 12-12-2001          |
|                                           |    |                     | JP 2001113358 A            | 24-04-2001          |
|                                           |    |                     | KR 20010021162 A           | 15-03-2001          |
|                                           |    |                     | US 6199746 B1              | 13-03-2001          |
|                                           |    |                     | US 6413650 B1              | 02-07-2002          |
| EP 1072692                                | A2 | 31-01-2001          | DE 60019207 D1             | 12-05-2005          |
|                                           |    |                     | DE 60019207 T2             | 26-01-2006          |
|                                           |    |                     | JP 2001116746 A            | 27-04-2001          |
|                                           |    |                     | KR 20010021126 A           | 15-03-2001          |
|                                           |    |                     | TW 459127 B                | 11-10-2001          |
|                                           |    |                     | US 6352406 B1              | 05-03-2002          |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/067659

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
INV. C23C14/54 F01D5/28

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

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
C23C F01D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

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

EPO-Internal, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Beitr. Anspruch Nr. |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| X          | JP 59 000502 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO) 5. Januar 1984 (1984-01-05)<br>Zusammenfassung         | 15-17,<br>20,21     |
| X          | EP 1 074 331 A (GEN ELECTRIC [US])<br>7. Februar 2001 (2001-02-07)<br>Beispiel                     | 15,20,21            |
| A          | EP 1 072 692 A2 (GEN ELECTRIC [US])<br>31. Januar 2001 (2001-01-31)<br>Ansprüche 1-10              | 1-14                |

☐ 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\* älteres Dokument, 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 anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

4. Juli 2007

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

16/07/2007

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Patterson, Anthony

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

**PCT/EP2006/067659**

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| JP 59000502                                        | A                             | 05-01-1984                        | KEINE                                                                                                                                                                     |
| EP 1074331                                         | A                             | 07-02-2001                        | CZ 20002804 A3 12-12-2001<br>JP 2001113358 A 24-04-2001<br>KR 20010021162 A 15-03-2001<br>US 6199746 B1 13-03-2001<br>US 6413650 B1 02-07-2002                            |
| EP 1072692                                         | A2                            | 31-01-2001                        | DE 60019207 D1 12-05-2005<br>DE 60019207 T2 26-01-2006<br>JP 2001116746 A 27-04-2001<br>KR 20010021126 A 15-03-2001<br>TW 459127 B 11-10-2001<br>US 6352406 B1 05-03-2002 |