



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**11.07.2007 Patentblatt 2007/28**

(51) Int Cl.:  
**C23C 24/04 (2006.01) B05B 7/22 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **06000403.3**

(22) Anmeldetag: **10.01.2006**

(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 NL PL PT RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA HR MK YU**

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**  
**80333 München (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Jabado, Rene**  
**14199 Berlin (DE)**

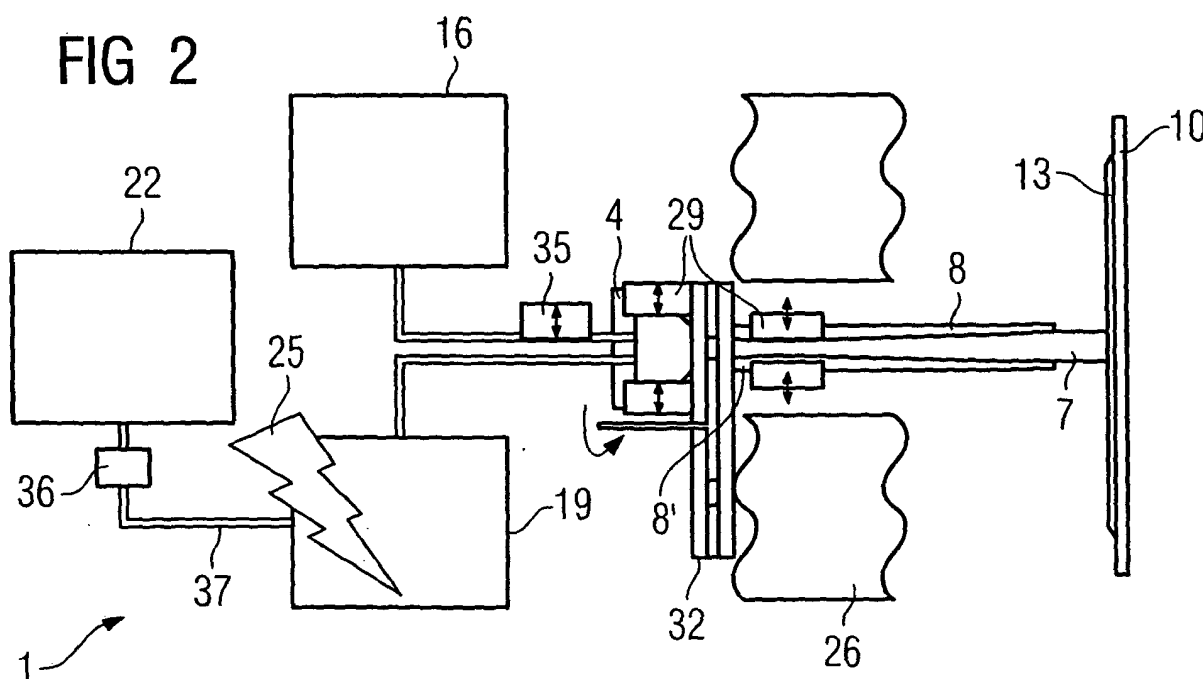
- **Jensen, Jens Dahl, Dr.**  
**14050 Berlin (DE)**
- **Krüger, Ursus, Dr.**  
**14089 Berlin (DE)**
- **Körtvelyessy, Daniel**  
**13469 Berlin (DE)**
- **Lüthen, Volkmar, Dr.**  
**12157 Berlin (DE)**
- **Reiche, Ralph**  
**13465 Berlin (DE)**
- **Rindler, Michael**  
**15566 Schöneiche (DE)**
- **Ullrich, Raymond**  
**14621 Schönwalde (DE)**

(54) **Kaltspritzanlage und Kaltspritzverfahren mit moduliertem Gasstrom**

(57) Das Kaltgasspritzverfahren liefert unter Umständen nicht optimale Beschichtungsergebnisse.

Das erfindungsgemäße Kaltgasspritzverfahren verwendet Kaltgasströme, die in ihren Eigenschaften (Tem-

peratur (T), Partikeldichte (p), Druck (p), Partikelgeschwindigkeit (v)) wechselhaft verändert werden und so den gewünschten Eigenschaften der Beschichtungen angepasst werden können.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Kaltgasspritzanlage und ein Kaltgasspritzverfahren.

**[0002]** Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren zur Herstellung von Schichten bekannt, die auf Bauteile aufgebracht und bei hohen Temperaturen eingesetzt werden. Dies sind Verdampfungsverfahren, wie z. B. PVD oder CVD oder thermische Spritzverfahren (Plasmaspritzen, HVOF: EP 0 924 315 B1).

Ein anderes Beschichtungsverfahren stellt das Kaltgasspritzverfahren dar, das aus den Patenten US 5,302,414, US 2004/0037954 A1, EP 1 132 497 A1 sowie US 6,502,767 bekannt ist.

Beim Kaltgasspritzen kommen pulverförmige Werkstoffe zum Einsatz, die Korngrößen von größer  $5\mu\text{m}$ , idealerweise zwischen 20 und  $40\mu\text{m}$  aufweisen. Aus kinetisch energetischen Gründen ist das Verspritzen von nanopartikulären Werkstoffen um nanostrukturierte Beschichtungen zu erzielen bisher nicht möglich.

**[0003]** Die US 6,124,563 und die US 6, 630,207 beschreiben gepulste thermische Sprühverfahren.

Die DE 103 19 481 A1 und die WO 2003/041868 A2 beschreiben spezielle Sprühdüsenkonstruktionen für das Kaltgasspritzverfahren.

**[0004]** Es ist daher Aufgabe der Erfindung, das Kaltgasspritzverfahren zu verbessern, insbesondere so, dass auch nanokristalline Pulver verspritzt werden können.

**[0005]** Die Aufgabe wird gelöst durch eine Kaltgasspritzanlage gemäß Anspruch 1 und ein Kaltgasspritzverfahren gemäß Anspruch 29.

**[0006]** Die in den Unteransprüchen aufgelisteten Maßnahmen können beliebig in vorteilhafter Art und Weise beliebig miteinander kombiniert werden.

**[0007]** Die Erfindung wird anhand der Figuren näher und beispielhaft erläutert.

Es zeigen

### [0008]

- Figur 1 eine Kaltgasspritzanlage nach dem Stand der Technik,
- Figur 2 - 8 eine erfindungsgemäß ausgestaltete Kaltgasspritzanlage,
- Figur 9 eine Gasturbine,
- Figur 10 eine perspektivische Ansicht einer Turbinenschaufel und
- Figur 11 eine Brennkammer.

**[0009]** Figur 1 zeigt eine Kaltgasspritzanlage 1' nach dem Stand der Technik.

Das Pulver für eine Beschichtung 13 wird durch eine Düse 8 auf ein Substrat 10, beispielsweise ein Bauteil (Turbinenschaufel 120, 130, (Fig. 9, 10), Brennkammerwand 155 (Fig. 11) oder ein Gehäuseteil (Fig. 9) einer Turbine 100 (Fig. 9) zugeführt, sodass sich dort eine Beschich-

tung 13 bildet. Das Pulver kommt aus einem Pulverbehälter 16, wobei der für das Kaltgasspritzen notwendige Druck durch einen Hochdruckgaserzeuger 22 erzeugt wird, so dass ein Kaltgaspartikelstrom 7 erzeugt wird, indem das Pulver dem Hochdruckgas als Trägergas in der Düse 8 zugeführt wird. Das Hochdruckgas kann ggf. mittels eines Heizers 19 erhitzt werden. Der Heizer 19 kann im Hochdruckgaserzeuger integriert sein.

Kaltspritzen bedeutet, dass Temperaturen bis maximal  $80^\circ\text{C}$  -  $550^\circ\text{C}$ , insbesondere  $400^\circ\text{C}$  bis  $550^\circ\text{C}$  verwendet werden. Die Substrattemperatur liegt bei  $80^\circ\text{C}$  bis  $100^\circ\text{C}$ . Die Geschwindigkeiten liegen bei 300m/s bis 2000m/s.

**[0010]** Figur 2 zeigt eine erfindungsgemäße Kaltgasspritzanlage 1. Die erfindungsgemäße Kaltgasspritzanlage 1 weist gegenüber dem Stand der Technik (Fig. 1) ein oder mehrere Beeinflussungsmittel 25, 26, 29, 32, 35, 36 auf, die zumindest eine Eigenschaft des Kaltgaspartikelstroms 7 (z. B. Temperatur T, Druck p, Partikeldichte p, Partikelmateriale M, Geschwindigkeit v, ...) wechselhaft verändern (moduliert).

Diese Beeinflussung der Eigenschaften des Kaltgaspartikelstroms 7 kann periodisch oder aperiodisch während eines Beschichtungsvorgangs erfolgen. Ebenso kann während eines Beschichtungsvorgangs auf Beschichtungszeiten mit periodischen Änderungen aperiodische Änderungen folgen oder umgekehrt. Vorzugsweise erfolgt nur eine periodische Änderung des oder der Eigenschaften.

**[0011]** Das Beeinflussungsmittel kann zum Beispiel ein Pulsheizmittel 25 sein, das das Hochdruckgas des Hochdruckgaserzeugers wechselhaft, vorzugsweise pulsierend erhitzt und so zu einer Modulation des Kaltgaspartikelstroms 7 führt. Das Pulsheizmittel 25 kann auch Teil des Heizers 19 sein.

**[0012]** Ebenso kann ein Ventil 32 als Beeinflussungsmittel, insbesondere eine gelochte Scheibe (Chopper) 32 vor der Düseeintrittsöffnung 8' angebracht sein. Da diese den Kaltgaspartikelstrom 7 periodisch oder aperiodisch unterbricht, wird ein pulsierender Kaltgaspartikelstrom 7 in Richtung des Substrats 10 erzeugt, der lokal unterschiedliche Partikeldichten p in Strahlrichtung bewirkt. Wenn das Ventil 32 verschlossen ist, staut sich das Material vor der Düse 8 und es baut sich ein höherer Druck auf, der sich nach dem Öffnen des Ventils wieder entspannt.

**[0013]** Ein modulierter Kaltgaspartikelstrom 7 kann auch dadurch erzeugt werden, dass aus dem Pulverbehälter 16 das Pulver in wechselhaft veränderten Mengen pro Zeiteinheit, vorzugsweise pulsierend dem Hochdruckgas hinzugefügt wird. Dies kann beispielsweise durch insbesondere piezoelektrische Injektoren 35 als Beeinflussungsmittel erfolgen.

**[0014]** Ebenso kann der Kaltgaspartikelstrom 7 durch Druckerzeuger 29 als Beeinflussungsmittel, vorzugsweise durch piezoelektrische Druckerzeuger 29 moduliert werden, die am Anfang der Lavalldüse 8 oder auf der Düse 8 angeordnet sind und die den Querschnitt der Lavalldüse wechselhaft verändern.

So kann die Düse 8 ein piezoelektrisches Material oder eine innere piezoelektrische Beschichtung aufweisen, das oder durch die durch Anlegen einer Spannung sich ausdehnen oder sich zusammenziehen und so den Querschnitt des Kaltgaspartikelstroms 7 verändern und damit die Partikeldichte  $p$ , den Druck  $p$  und die Geschwindigkeit des Kaltgaspartikelstroms 7 verändern.

**[0015]** Ebenso kann der Kaltgaspartikelstrom 7 im Bereich der Düse 8 durch eine akustische Welleneinkopplung mittels eines Welleneinkopplers 26, insbesondere durch einen Ultraschallgeber beeinflusst werden, der auf der Düse 8 aufliegt. Diese verhindern von allem ein Anhaften von Partikeln in der Düse 8.

**[0016]** Auch kann das Hochdruckgas durch ein Hochdruckventil 36 als Beeinflussungsmittel gesteuert werden. Das Hochdruckventil 36 ist bspw. im Hochdruckgaserzeuger integriert oder entlang einer Leitung 37 vorhanden, die das Gas aus dem Hochdruckgaserzeuger 22 zu dem Pulver führt.

**[0017]** Die Beeinflussungsmittel 25, 26, 29, 32, 35, 36 können einzeln, gepaart oder mehrfach vorhanden sein und zum Einsatz kommen.

**[0018]** Vorzugsweise wird das Material M durch den oder die Pulverinjektoren 35 pulsartig dem Kaltgaspartikelstrom 7 zugeführt und die Geschwindigkeit  $v$  des Kaltgaspartikelstroms 7 wird moduliert.

**[0019]** Das Mischen des Hochdruckgases, das aus dem Hochdruckgaserzeuger 22 stammt und des Pulvers, das aus dem Pulverbehälter 16 gelangt, kann vor der Düseneintrittsöffnung 8' in einer Kammer 4 erfolgen (Fig. 1, Fig. 2). Ebenso ist es möglich, den Hochdruckgasstrom und die Partikel erst in der Düse 8 miteinander zu vermischen (nicht dargestellt).

**[0020]** Die Beeinflussungsmittel 25, 32, 35, 36 können entweder nur vor der Düseneintrittsöffnung 8' angeordnet sein (Fig. 7) oder nur nach der Düseneintrittsöffnung 8' angeordnet sein (Fig. 8).

**[0021]** Insbesondere kann bei der Düse 8 der Durchmesser  $\Phi$ , die Temperatur  $T$  und/oder der Druck  $p$  wechselhaft verändert werden, um den Kaltgaspartikelstrom 7 zu beeinflussen.

**[0022]** Ebenso kann die Düse 8 beheizt werden, um eine konstante Temperatur  $T$  des Kaltgaspartikelstroms 7 zu erzeugen oder die Temperatur  $T$  des Kaltgaspartikelstroms 7 wechselhaft zu verändern.

**[0023]** Die gesamte Kaltgasspritzanlage 1 kann in einer Vakuumkammer (nicht dargestellt) angeordnet sein.

**[0024]** Kaltspritzen bedeutet, dass Temperaturen bis maximal 80°C - 550°C, insbesondere 400°C bis 550°C verwendet werden. Die Substrattemperatur liegt bei 80°C bis 100°C.

Die Geschwindigkeiten liegen bei 300m/s bis 2000m/s, insbesondere bis 900m/s.

**[0025]** In Figur 3 ist nur ein Pulverinjektor 35 vorhanden.

**[0026]** In Figur 4 sind die Pulverinjektoren 35 und die Pulsheizmittel 25 vorhanden, die zusammen oder getrennt voneinander verwendet werden.

**[0027]** In Figur 5 sind im Vergleich zur Figur 4 noch die Druckerzeuger 29 vorhanden, die einzeln, zu zweit oder zusammen verwendet werden können.

**[0028]** Die Eigenschaften des Kaltgaspartikelstroms 7 können bei einem Beschichtungsvorgang einzeln oder zusammen verändert werden, insbesondere wenn die Veränderung in die gleiche Richtung wirkt, also Temperaturerhöhung und Druckerhöhung.

**[0029]** Durch Temperaturerhöhung, Druckmodulation oder Querschnittsverengung der Düse 8 des Kaltgaspartikelstroms 7 werden höhere Partikelgeschwindigkeiten erreicht und damit ein besseres Beschichtungsergebnis erzielt.

**[0030]** Zur Erzeugung eines gepulsten Kaltgaspartikelstromes 7 sind also verschiedene Verfahren denkbar:

- Ventil 32 vor der Düse 8 oder rotierende gelochte Scheibe im Gasstrom vor der Düse 8,
- periodische Verengung des Querschnitts der Düse 8, vorzugsweise durch piezoelektrische Keramiken bzw. Materialien,
- pulsierende Gaserhitzung,
- Beeinflussung der Trägergasgeschwindigkeit durch akustische Welleneinkopplung.

**[0031]** Die pulsierende Injektion von Pulverteilchen kann vorzugsweise durch einen piezoelektrischen Pulverinjektor 35 erfolgen.

Besonders Korngrößen kleiner 1  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise kleiner 500nm (Nanopartikel) können mit den modulierten Kaltgaspartikelströmen 7 verspritzt werden.

**[0032]** Ebenso können mehrere Pulverinjektoren 35 mit verschiedenen Pulvermaterialien M eingesetzt werden, um gradierte oder Vielfachbeschichtungen zu erzielen.

**[0033]** Bezüglich der Materialauswahl sind keine Einschränkungen gegeben, sodass also Metalle, Metalllegierungen, Halbmetalle sowie Verbindungen hiervon (Karbide, Nitride, Oxide, Sulfide, Phosphate etc.) sowie Halbleiter, Hochtemperatursupraleiter, Magnetwerkstoffe, Gläser und/oder Keramiken verspritzt werden können.

**[0034]** In Figur 6 sind zwei Pulverbehälter 16, 16' enthalten, die verschiedene Materialien für die Partikel enthalten.

Die Materialien der Pulverbehälter 16, 16' können gleichzeitig hinzugefügt werden oder nur ein Pulverbehälter 16, 16' ist aktiv.

Insbesondere wenn die Partikel verschiedene Partikelgrößen aufweisen ist es sinnvoll, die Geschwindigkeit  $v$  des Kaltgaspartikelstroms zu verändern, damit z. B. der gleiche Impuls bei kleineren, d. h. leichteren Partikeln erreicht wird.

Hier können auch zwei Gasheizer und oder zwei Hochdruckgaserzeuger verwendet werden.

**[0035]** Die Figur 9 zeigt beispielhaft eine Gasturbine 100 in einem Längsteilschnitt.

Die Gasturbine 100 weist im Inneren einen um eine Ro-

tationsachse 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.

**[0036]** 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).

**[0037]** 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 Brennkammer 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 die Laufschaufeln 120 den Rotor 103 antreiben und dieser die an ihn angekoppelte Arbeitsmaschine.

**[0038]** Die dem heißen Arbeitsmedium 113 ausgesetzten Bauteile unterliegen während des Betriebes der Gasturbine 100 thermischen 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.

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).

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 1 204 776 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.

**[0039]** 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.

**[0040]** Die Figur 10 zeigt in perspektivischer Ansicht eine Laufschaufel 120 oder Leitschaufel 130 einer Strömungsmaschine, die sich entlang einer Längsachse 121 erstreckt.

**[0041]** Die Strömungsmaschine kann eine Gasturbine eines Flugzeugs oder eines Kraftwerks zur Elektrizitätserzeugung, eine Dampfturbine oder ein Kompressor sein.

**[0042]** 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).

**[0043]** 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.

**[0044]** Die Schaufel 120, 130 weist für ein Medium, das an dem Schaufelblatt 406 vorbeiströmt, eine Anströmkante 409 und eine Abströmkante 412 auf.

**[0045]** 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; 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, durch ein Fräsverfahren oder Kombinationen daraus gefertigt sein.

**[0046]** Werkstücke mit einkristalliner Struktur oder Strukturen werden als Bauteile für Maschinen eingesetzt, die im Betrieb 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 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 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.

**[0047]** 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.

**[0048]** 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).

**[0049]** 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 Thermochockbeständigkeit aufweisen. Die Wärmedämmschicht ist also vorzugsweise poröser als die MCrAlX-Schicht.

**[0050]** 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 Filmkühlöcher 418 (gestrichelt angedeutet) auf.

**[0051]** Die Figur 11 zeigt eine Brennkammer 110 der Gasturbine 100. 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 Flammen 156 erzeugen. Dazu ist die Brennkammer 110 in ihrer Gesamtheit als ringförmige Struktur ausgestaltet, die um die Rotationsachse 102 herum positioniert ist.

**[0052]** 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, ist die Brennkammerwand 153 auf ihrer dem Arbeitsmedium M zugewandten Seite mit einer aus Hitzeschildelementen 155 gebildeten Innenauskleidung versehen.

**[0053]** 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 ggf. noch in den Brennkammerraum 154 mündende Kühlöcher (nicht dargestellt) auf.

**[0054]** Jedes Hitzeschildelement 155 aus einer Legierung ist arbeitsmediumsseitig mit einer besonders hitzebeständigen Schutzschicht (MCrAlX-Schicht und/oder keramische Beschichtung) ausgestattet oder ist aus hochtemperaturbeständigem Material (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 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.

**[0055]** Auf der MCrAlX kann noch eine beispielsweise keramische 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.

Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige

ge 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 Thermochockbeständigkeit aufweisen.

**[0056]** Wiederaufarbeitung (Refurbishment) bedeutet, dass Turbinenschaufeln 120, 130, Hitzeschildelemente 155 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 in der Turbinenschaufel 120, 130 oder dem Hitzeschildelement 155 repariert. Danach erfolgt eine Wiederbeschichtung der Turbinenschaufeln 120, 130, Hitzeschildelemente 155 und ein erneuter Einsatz der Turbinenschaufeln 120, 130 oder der Hitzeschildelemente 155.

### Patentansprüche

1. Kaltgasspritzanlage, die aufweist  
zumindest einen Pulverbehälter (16, 16'),  
einen Hochdruckgaserzeuger (22) zur Erzeugung eines Hochdruckgases,  
einen Gasheizer (19) und  
eine Düse (8),  
aus der ein Kaltgaspartikelstrom (7) austritt,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Kaltgasspritzanlage (1) Beeinflussungsmittel (25, 26, 29, 32, 35, 35', 36) aufweist,  
die zur wechselhaften Veränderung zumindest einer der Eigenschaften Temperatur (T), Druck (p), Partikeldichte (p), Partikelmaterial (M), Geschwindigkeit (v) des Kaltgaspartikelstroms (7) führen.
2. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
durch die Beeinflussungsmittel (25, 26, 29, 32, 35, 35', 36) die zumindest eine Eigenschaft des Kaltgaspartikelstroms (7) periodisch veränderbar ist.
3. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
durch die Beeinflussungsmittel (25, 26, 29, 32, 35, 35', 36) die zumindest eine Eigenschaft des Kaltgaspartikelstroms (7) aperiodisch veränderbar ist.
4. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1, 2 oder 3,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
zumindest ein Pulverinjektor (35, 35') als Beeinflussungsmittel vorhanden ist,  
durch den das Pulver aus dem Pulverbehälter (16, 16') pulsartig dem Hochdruckgas zuführbar ist,  
wodurch die Partikeldichte (p) des Kaltgaspartikelstroms (7) veränderbar ist.
5. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
ein Pulsheizmittel (25) als Beeinflussungsmittel vorhanden ist,  
insbesondere als Teil des Gasheizers (19),  
durch das (25) das Hochdruckgas wechselhaft erhitzen ist, wodurch auch die Temperatur des Kaltgaspartikelstroms (7) veränderbar ist.
6. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Kaltgasspritzanlage (1) vor der Düseneintrittsöffnung (8') der Düse (8) ein Ventil (32),  
insbesondere eine rotierende gelochte Scheibe (32), als Beeinflussungsmittel aufweist,  
durch die die Düse (8) zeitweise verschlossen werden kann, so dass die Partikeldichte (p) im Kaltgaspartikelstrom (7) wechselhaft veränderbar ist.
7. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5 oder 6,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Kaltgasspritzanlage (1) im Bereich der Düse (8) oder als Teil der Düse (8) mechanisch wirkende Druckerzeuger (29),  
insbesondere aufweisend Piezoelektrika, als Beeinflussungsmittel aufweist  
durch die die Düse (8) im Querschnitt ( $\Phi$ ) wechselhaft veränderbar ist.
8. Kaltgasspritzanlage nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
akustische Welleneinkoppler (26),  
insbesondere Ultraschallgeber im Bereich oder auf der Düse (8)  
als Beeinflussungsmittel vorhanden sind,  
durch die der Kaltgaspartikelstrom (7) komprimierbar oder expandierbar ist.
9. Kaltgasspritzanlage nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
ein Hochdruckventil (36) im Hochdruckgaserzeuger (22) oder an einer Leitung (37) des Hochdruckgaserzeugers (22) als Beeinflussungsmittel vorhanden ist,  
das (36) das Ausströmen des Hochdruckgases aus dem Hochdruckgaserzeuger (22) wechselhaft unterbrechen kann,  
so dass der Druck (p) im Kaltgaspartikelstrom (7) wechselhaft veränderbar ist.
10. Kaltgasspritzanlage nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
Beeinflussungsmittel (26, 29, 32, 36) zur Veränderung des Durchmessers ( $\Phi$ ) der Düse (8), der Tem-

peratur (T) und/oder des Drucks (p) in der Düse (8) vorhanden sind.

11. Kaltgasspritzanlage nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Beeinflussungsmittel (25, 29, 32, 35, 35', 36) nur vor der Düseneintrittsöffnung (8') angeordnet sind.
12. Kaltgasspritzanlage nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche 1 bis 10,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Beeinflussungsmittel (26, 29) nur nach der Düseneintrittsöffnung (8') angeordnet sind.
13. Kaltgasspritzanlage nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sie (1) innerhalb einer Vakuumkammer angeordnet ist.
14. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1 oder 4,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Hochdruckgas und Pulver vor der Düse (8) vermischbar sind.
15. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1 oder 4,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
dass das Hochdruckgas und Pulver in der Düse (8) vermischbar sind.
16. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1, 4, 14 oder 15,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
zwei Pulverbehälter (16, 16') und zwei Pulverinjektoren (35, 35') vorhanden sind.
17. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1 oder 5,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
als Beeinflussungsmittel nur ein Pulsheizmittel (25) vorhanden ist.
18. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1 oder 4,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
als Beeinflussungsmittel nur ein Pulverinjektor (35) vorhanden ist.
19. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1 oder 7,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
als Beeinflussungsmittel nur mechanisch wirkende Druckerzeuger (29) vorhanden sind.
20. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1 oder 6,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
als Beeinflussungsmittel nur ein Ventil (32) vorhanden ist.
21. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1 oder 9,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**

als Beeinflussungsmittel nur ein Hochdruckventil (36) vorhanden ist.

22. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 4, 5 oder 16,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
als Beeinflussungsmittel nur Pulverinjektoren (35) und Pulsheizmittel (25) vorhanden sind.
23. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 4 oder 9,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
als Beeinflussungsmittel nur ein Hochdruckventil (36) und Pulsheizmittel (25) vorhanden sind.
24. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1, 5 oder 7,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
als Beeinflussungsmittel nur Pulsheizmittel (25) und mechanisch wirkende Druckerzeuger (29) vorhanden sind.
25. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1, 4, 7 oder 16,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
als Beeinflussungsmittel nur Pulverinjektoren (35) und mechanisch wirkende Druckerzeuger (29) vorhanden sind.
26. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1, 4 oder 5,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
als Beeinflussungsmittel nur Pulsheizmittel (25), mechanisch wirkende Druckerzeuger (29) und Pulverinjektoren (35) vorhanden sind.
27. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1, 4, 9 oder 19,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
als Beeinflussungsmittel nur Pulsheizmittel (25), ein Hochdruckventil (36) und Pulverinjektor (35) vorhanden sind.
28. Kaltgasspritzanlage nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
nur die Eigenschaften Temperatur (T), Druck (p), Partikeldichte (p), Partikelmaterial (M), Geschwindigkeit (v) des Kaltgaspartikelstroms veränderbar sind.
29. Kaltgassspritzverfahren,  
insbesondere mit einer Kaltgasspritzanlage gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 28,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
ein Kaltgaspartikelstrom (7) in zumindest einem seiner Parameter Temperatur (T), Druck (p), Partikeldichte (p), Partikelmaterial (M), Geschwindigkeit (v) wechselhaft verändert wird.
30. Kaltgassspritzverfahren nach Anspruch 29,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
nur die Partikeldichte (p) des Kaltgaspartikelstroms (7) verändert wird.

31. Kaltgasspritzverfahren nach Anspruch 29,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
nur die Temperatur (T) des Kaltgaspartikelstroms (7) verändert wird.
32. Kaltgasspritzverfahren nach Anspruch 29,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
nur die Geschwindigkeit (v) des Kaltgaspartikelstroms (7) verändert wird.
33. Kaltgasspritzverfahren nach Anspruch 29,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
nur das Partikelmateriale (M) des Kaltgaspartikelstroms (7) verändert wird.
34. Kaltgasspritzverfahren nach Anspruch 29,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
nur der Druck (p) des Kaltgaspartikelstroms (7) verändert wird.
35. Kaltgasspritzverfahren nach Anspruch 29, 30, 31, 32, 33 oder 34,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der zumindest eine Parameter des Kaltgaspartikelstroms (7) periodisch verändert wird.
36. Kaltgasspritzverfahren nach Anspruch 29, 30, 31, 32, 33 oder 34,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der zumindest eine Parameter des Kaltgaspartikelstroms (7) aperiodisch verändert wird.
37. Kaltgasspritzverfahren nach Anspruch 29,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
zwei Eigenschaften des Kaltgaspartikelstroms (7) gleichzeitig verändert werden.
38. Kaltgasspritzverfahren nach Anspruch 29 oder 37,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
bei einem Beschichtungsvorgang nur die Temperatur (T) und die Partikeldichte (p) des Kaltgaspartikelstroms (7) verändert wird.
39. Kaltgasspritzverfahren nach Anspruch 29 oder 37,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
bei einem Beschichtungsvorgang nur die Temperatur (T) und die Geschwindigkeit (v) des Kaltgaspartikelstroms (7) verändert wird.
40. Kaltgasspritzverfahren nach Anspruch 29 oder 37,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
bei einem Beschichtungsvorgang nur die Temperatur (T) und der Druck (p) des Kaltgaspartikelstroms (7) verändert wird.
41. Kaltgasspritzverfahren nach Anspruch 29 oder 37,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
bei einem Beschichtungsvorgang nur der Druck (p) und die Partikeldichte (p) des Kaltgaspartikelstroms (7) verändert wird.
42. Kaltgasspritzverfahren nach Anspruch 29 oder 37,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
bei einem Beschichtungsvorgang nur der Druck (p) und das Material (M) des Kaltgaspartikelstroms (7) verändert wird.
43. Kaltgasspritzverfahren nach Anspruch 29,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
bei einem Beschichtungsvorgang nur die Partikeldichte (p) und die Geschwindigkeit (v) des Kaltgaspartikelstroms (7) verändert wird.
44. Kaltgasspritzverfahren nach Anspruch 29,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
bei einem Beschichtungsvorgang nur das Material (M) und die Geschwindigkeit (v) des Kaltgaspartikelstroms (7) verändert wird.
45. Kaltgasspritzverfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Hochdruckgas und Pulver vor der Düse (8) vermischt werden.
46. Kaltgasspritzanlage nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Hochdruckgas und Pulver in der Düse (8) vermischt werden.

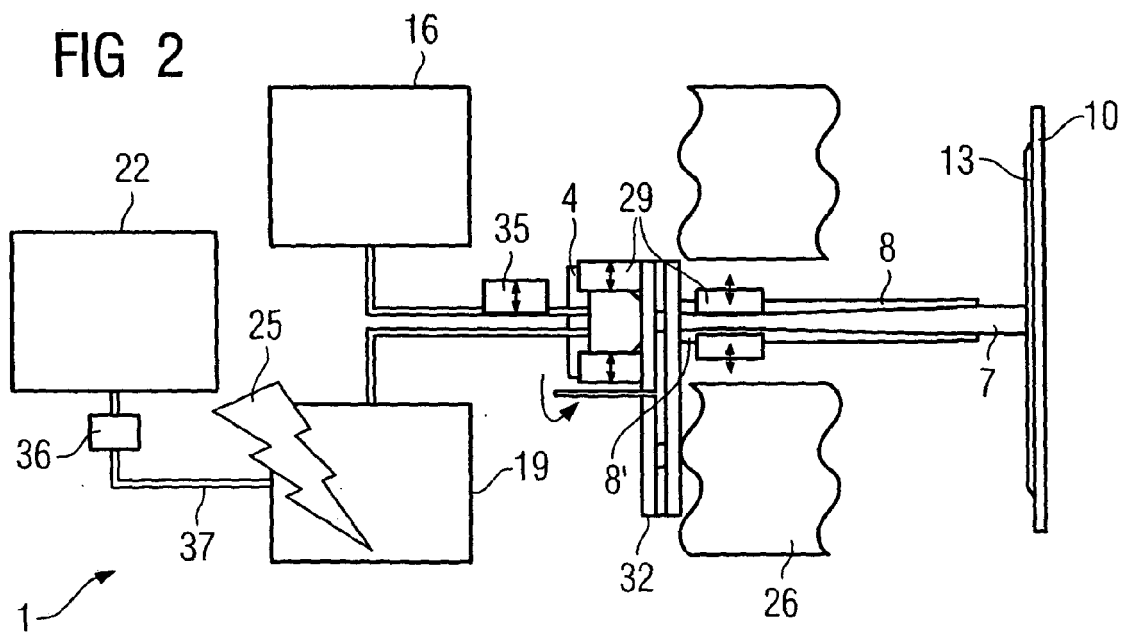
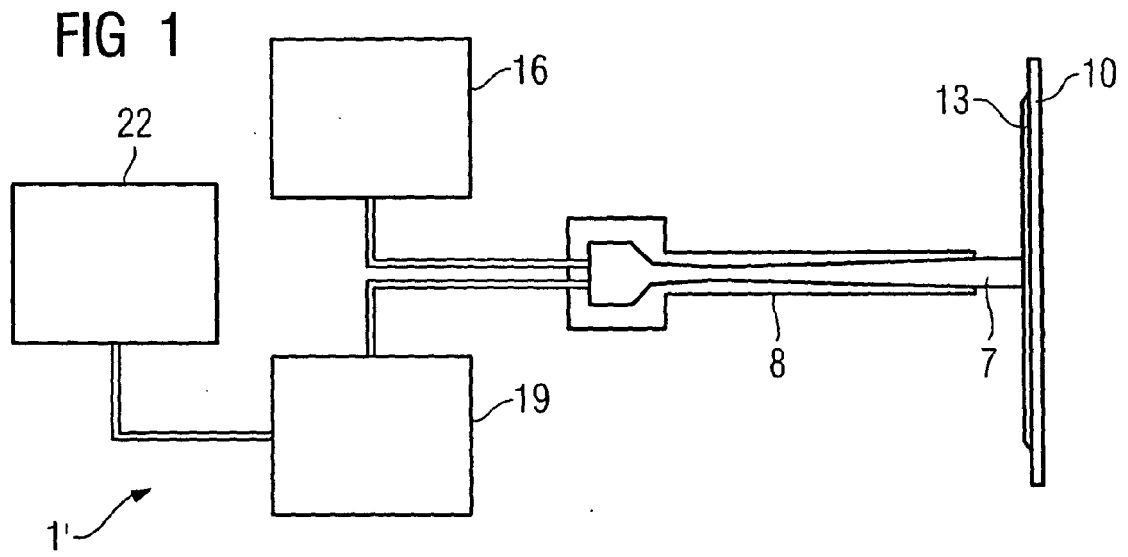


FIG 3

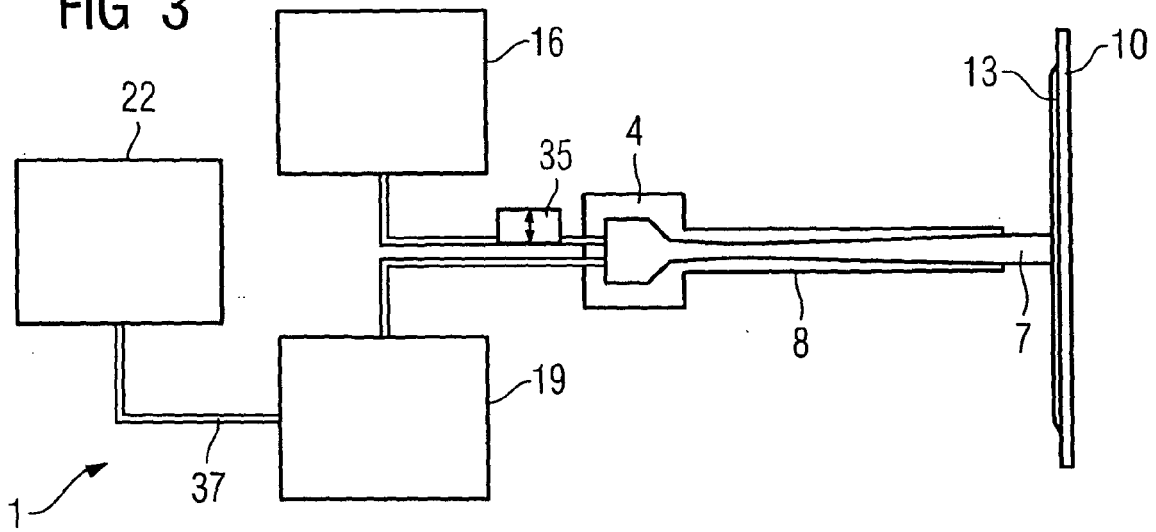


FIG 4

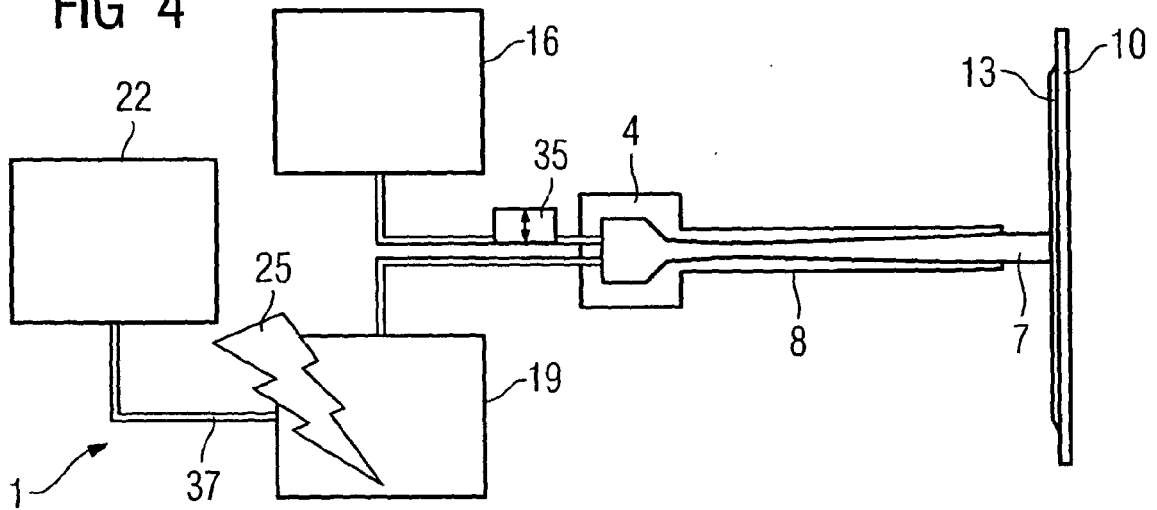


FIG 5

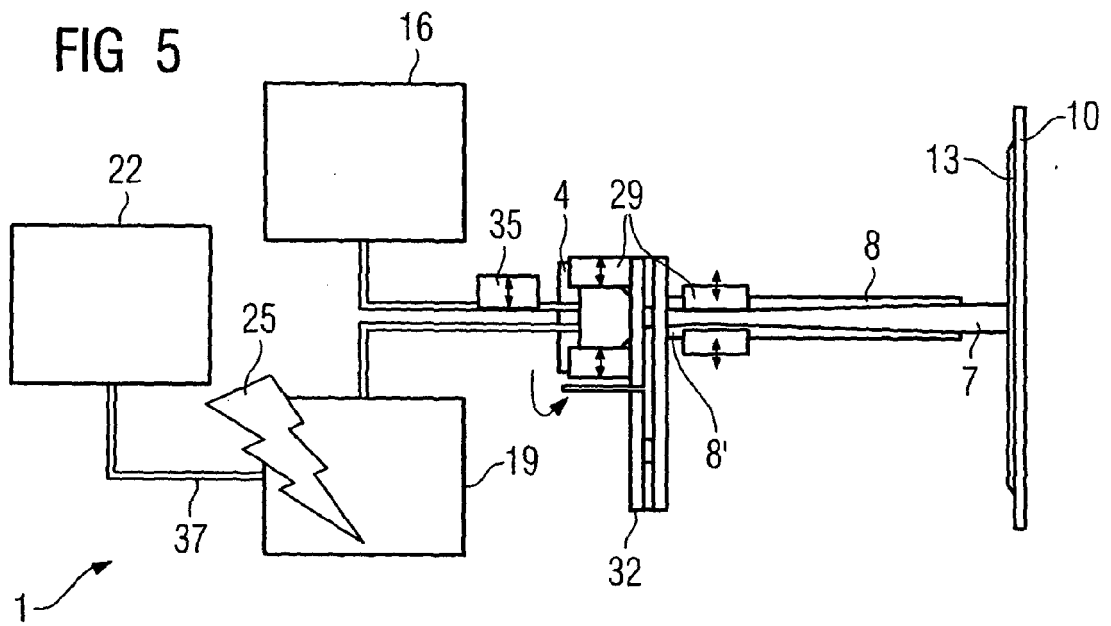


FIG 6

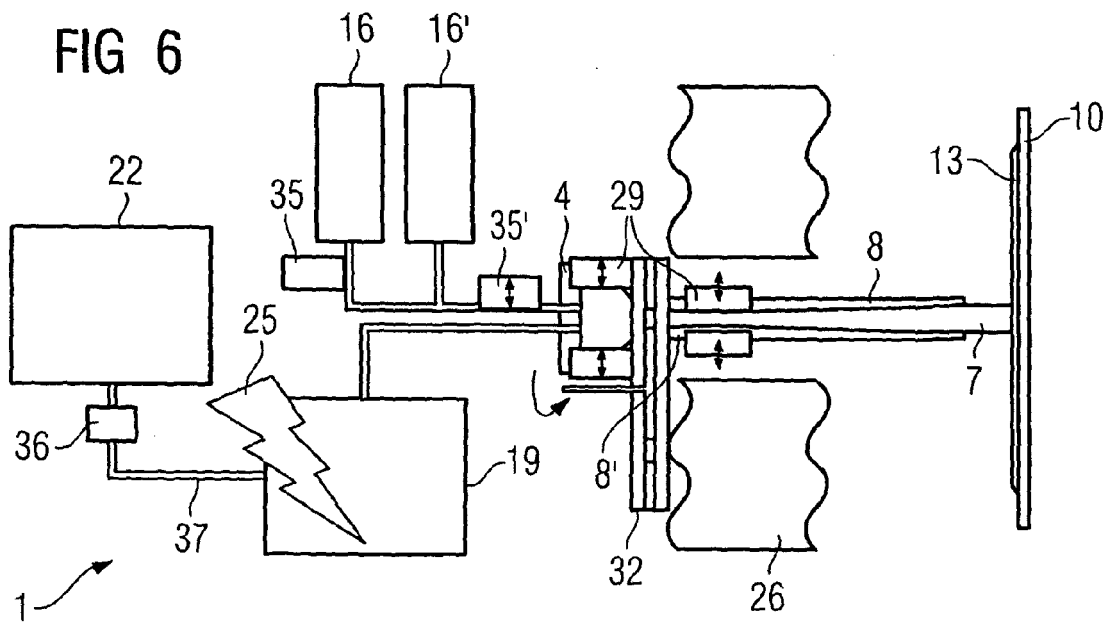


FIG 7

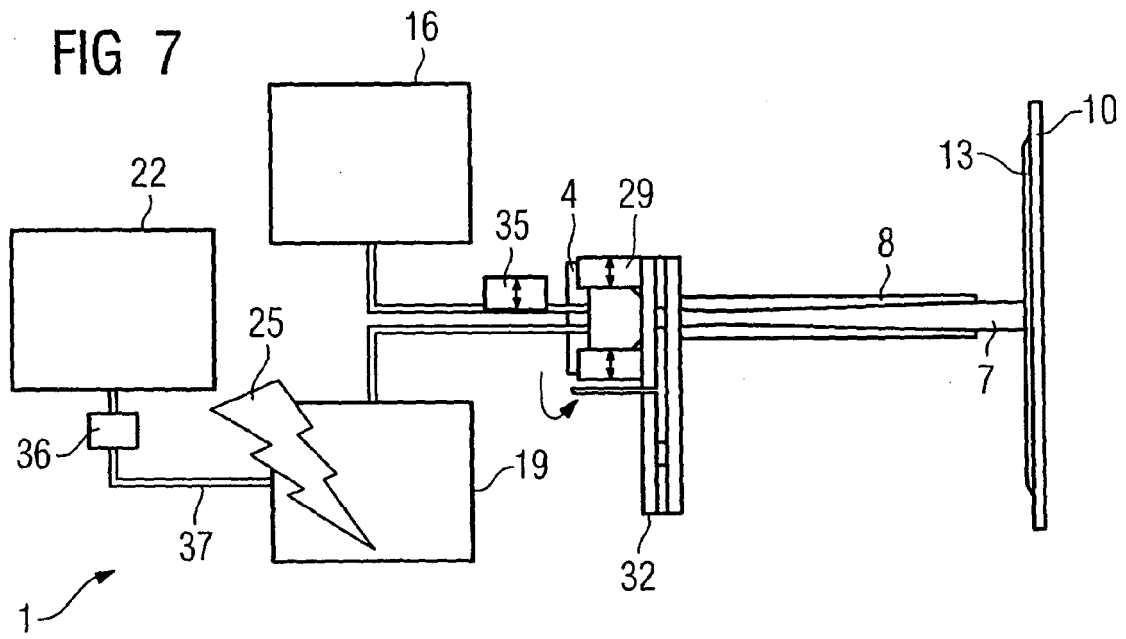


FIG 8

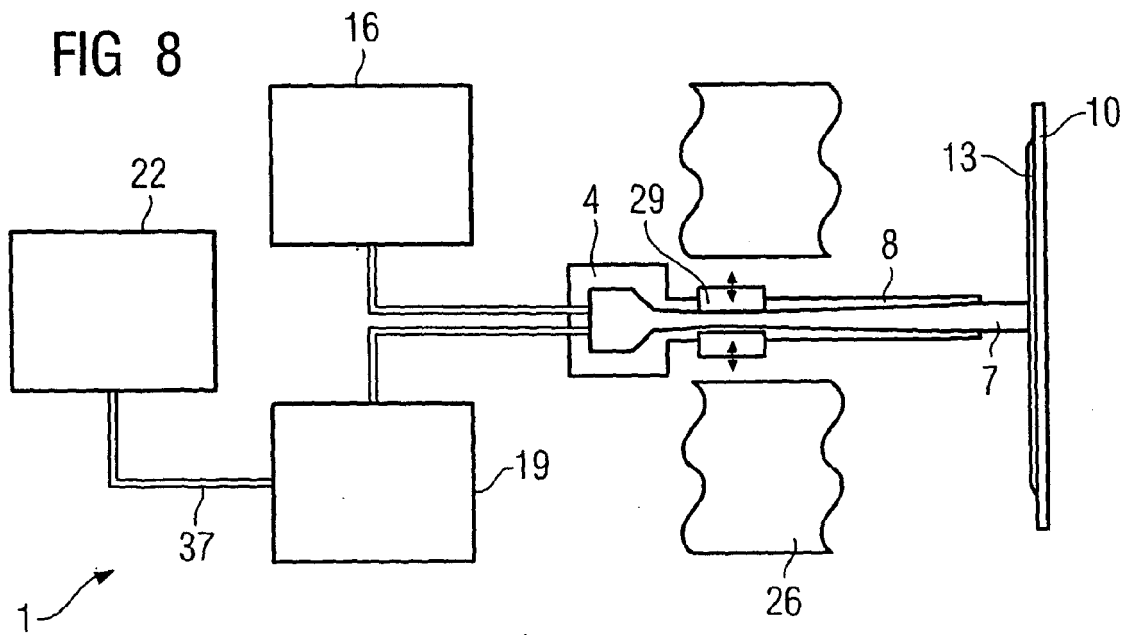
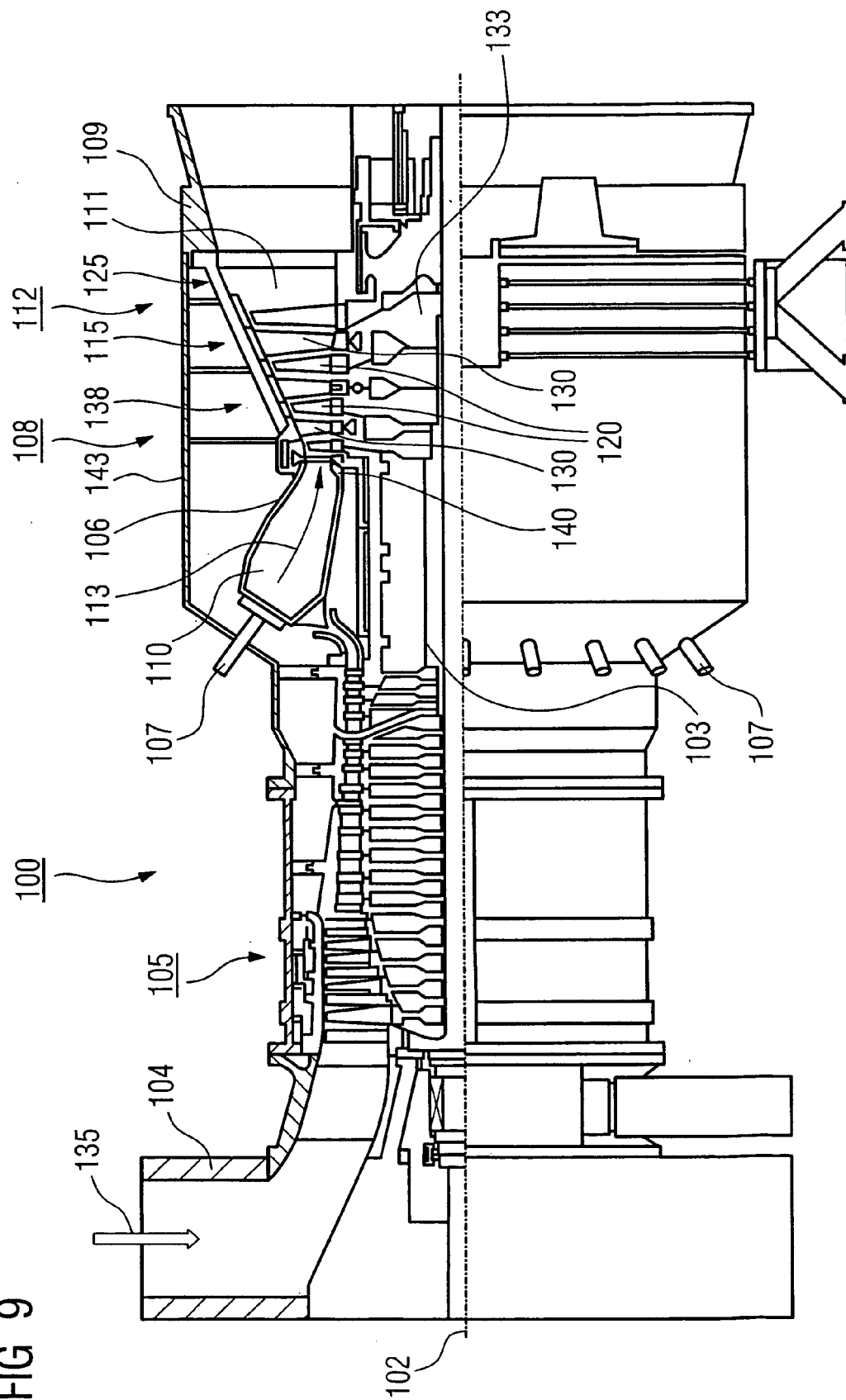
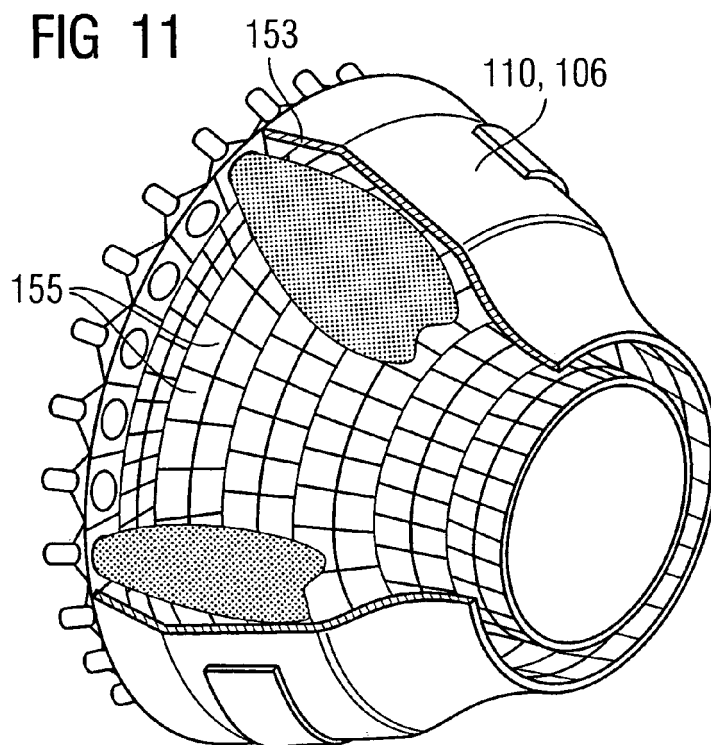
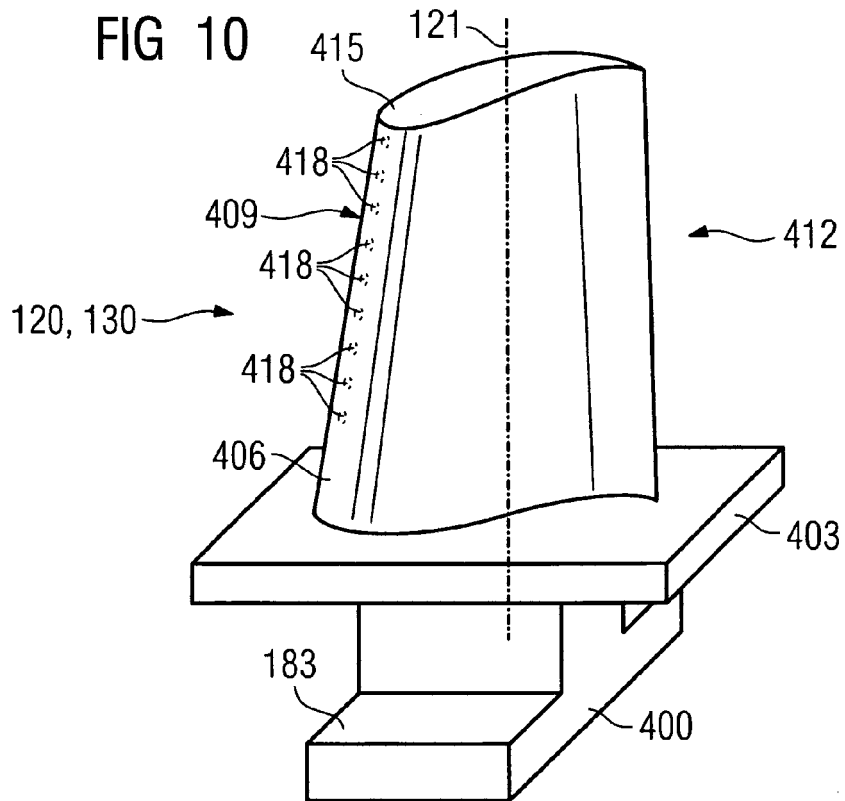


FIG 9







Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 06 00 0403

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                                                           | Betrifft Anspruch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC) |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                         | WO 2005/061116 A (RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SCIENCE & TECHNOLOGY; KIM, HYUNG-JUN;) 7. Juli 2005 (2005-07-07)<br>* das ganze Dokument * | 1,29                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | INV.<br>C23C24/04<br>B05B7/22      |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                         | US 4 142 089 A (LAU ET AL)<br>27. Februar 1979 (1979-02-27)<br>* das ganze Dokument *                                                         | 1,29                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | C23C<br>B05B                       |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                    |
| Recherchenort<br>München                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                               | Abschlußdatum der Recherche<br>23. März 2006                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Prüfer<br>Eberwein, M              |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : nichtschriftliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                               | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                    |

1  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 06 00 0403

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.

23-03-2006

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| WO 2005061116 A                                    | 07-07-2005                    | KEINE                             |                               |
| US 4142089 A                                       | 27-02-1979                    | CA 1070393 A1                     | 22-01-1980                    |

EPO FORM P0461

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

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

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

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 0924315 B1 [0002]
- US 5302414 A [0002]
- US 20040037954 A1 [0002]
- EP 1132497 A1 [0002]
- US 6502767 B [0002]
- US 6124563 A [0003]
- US 6630207 B [0003]
- DE 10319481 A1 [0003]
- WO 2003041868 A2 [0003]
- EP 1204776 B1 [0038] [0045]
- EP 1306454 A [0038] [0045]
- EP 1319729 A1 [0038] [0045]
- WO 9967435 A [0038] [0045]
- WO 0044949 A [0038] [0045]
- US 6024792 A [0047]
- EP 0892090 A1 [0047]
- EP 0486489 B1 [0048] [0054]
- EP 0786017 B1 [0048] [0054]
- EP 0412397 B1 [0048] [0054]
- EP 1306454 A1 [0048] [0054]