

(19)



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 2 599 890 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
05.06.2013 Patentblatt 2013/23

(51) Int Cl.:
C23C 4/00 (2006.01)
C04B 41/00 (2006.01)

C23C 28/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 11191553.4

(22) Anmeldetag: 01.12.2011

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR

Benannte Erstreckungsstaaten:

BA ME

(71) Anmelder: Siemens Aktiengesellschaft
80333 München (DE)

(72) Erfinder:

- Amann, Christian
46238 Bottrop (DE)
- Anton, Reiner
14193 Berlin (DE)

- Beckmann, Björn
47057 Duisburg (DE)
- Eßer, Winfried
44805 Bochum (DE)
- Hille, Thomas
35684 Dillenburg (DE)
- Küperkoch, Rudolf
45219 Essen (DE)
- Paul, Uwe
40882 Ratingen (DE)
- Schumann, Eckart
45468 Mülheim an der Ruhr (DE)

Bemerkungen:

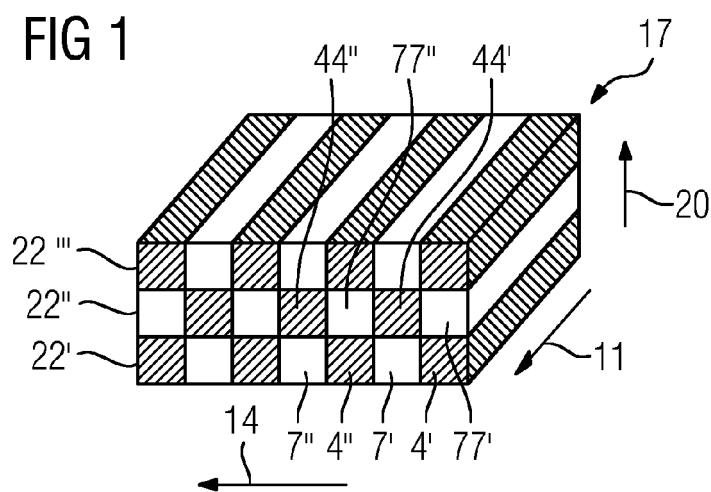
Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2)
EPÜ.

(54) Abplatzungssichere keramische Schicht und Schichtsystem

(57) Durch die Verwendung von Beschichtungsspu-
ren, die verschiedene Phasen mit zumindest einer Be-

schichtungslage aufweisen, wird das Spallationsverhal-
ten deutlich verbessert.

FIG 1



EP 2 599 890 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine keramische Schicht und Schichtsystem, die aufgrund ihrer Struktur widerstandsfähig ist gegen Abplatzungen.

[0002] Hochtemperaturbauteile wie Turbinenschaufeln weisen oft keramische Schutzschichten zur Wärmedämmung auf, wobei die keramische Beschichtung direkt auf dem Substrat oder einer metallischen Haftvermittlungsschicht aufgebracht ist. Während des Betriebes dieser Turbinenschaufeln mit keramischer Schutzschicht kann es z.B. durch Einschlag, lokale Überhitzung oder sonstige Situationen zum Abplatzen von Bereichen der keramischen Schicht führen, so dass die Wärmedämmung in diesem Bereich entfällt und das Substrat geschädigt werden kann und für einen weiteren Einsatz ggf. nicht mehr zur Verfügung stände.

[0003] Es ist daher Aufgabe der Erfindung eine keramische Schicht aufzuzeigen, die einen höheren Widerstand gegen Abplatzungen aufweist.

[0004] Die Aufgabe wird gelöst durch eine keramische Schicht gemäß Anspruch 1 und durch ein Schichtsystem nach Anspruch 17.

[0005] In den Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte Maßnahmen aufgelistet, die beliebig miteinander kombiniert werden können, um weitere Vorteile zu erzielen.

[0006] Es zeigen:

- Figur 1 bis 5 Ausführungsbeispiele der Erfindung,
- Figur 6 eine Turbinenschaufel,
- Figur 7 eine Brennkammer,
- Figur 8 eine Gasturbine,
- Figur 9 eine Liste von Superlegierungen.

[0007] Die Figuren und die Beschreibung stellen nur Ausführungsbeispiele der Erfindung dar.

[0008] Figur 1 zeigt ein erstes Beispiel für eine keramische Schicht 17.

[0009] Erfindungsgemäß weist die keramische Schicht 17 verschiedene Phasen und/oder verschiedene Materialien auf. Das kann nichtstabilisiertes, teilstabilisiertes, vollstabilisiertes Zirkonoxid, insbesondere mit Yttriumoxid und/oder ein Pyrochlor, wie Gadoliniumzirkonat, Gadoliniumhafnat sein (Fig. 1 - 5). Vorzugsweise wird eine Kombination von Zirkonoxid mit Pyrochlor, insbesondere Gadoliniumzirkonat verwendet (Fig. 1 - 5).

[0010] Die dunklen Bereiche 4', 44', ... stellen eine erste Phase und die hellen Bereiche 7', 77', ... eine zweite, verschiedene Phase oder eine deutlich verschiedene Zusammensetzung auf.

[0011] Ebenso erkennbar sind die balkenförmigen Darstellungen, die die Beschichtungsspuren 7', 4', ... darstellen. Der Querschnitt der Beschichtungsspuren ist nur beispielhaft. Die Beschichtungsspuren 4', 7', ... können auch andere Querschnitte aufweisen.

[0012] Jede Beschichtungsspur 4', 7', 44', 77', ... weist vorzugsweise eine andere Phase auf.

[0013] Somit sind solche Strukturen (Fig. 1 - 5) in der

Regel am besten durch Sprühverfahren, wie Plasmaspritzen, HVOF oder sonstige Verfahren bei denen Düsen verwendet werden, herzustellen.

[0014] Aber auch andere Auftragsverfahren können angewendet werden.

[0015] Ebenso können zwei Beschichtungsbahnen für die Phasen/Materialien nebeneinander beschichtet werden, um eine Beschichtungsspur zu bilden, wodurch die Breite der Beschichtungsspuren verbreitert wird (gilt für Figuren 1 bis 5).

[0016] Auf ein Substrat oder auf eine Oberfläche (nicht dargestellt) wird in einer Verlaufrichtung der Längsrichtung 11 eine erste Beschichtungsspur 4' mit der ersten Phase gelegt. Danach wird die nächste direkt benachbarte Spur 7' einer zweiten Phase aufgebracht. Dies wiederholt sich quer zur Längsrichtung 11 in Querrichtung 14.

[0017] Eine solche keramische Schicht 17 wird lagenweise aufgetragen, d.h., sie weist in der Hochrichtung 20 mehrere Beschichtungsschichten 22', 22" auf.

[0018] Auf die erste Beschichtungsspur 4' mit der ersten Phase in der Beschichtungslage 22' wird eine weitere Beschichtungsspur 77' in der folgenden Beschichtungslage 22" mit der zweiten Phase belegt und benachbart davon wieder eine Beschichtungsspur mit einer anderen Phase. Quasi wird die Struktur der ersten Beschichtungslage 22' für die zweite Beschichtungslage 22" in Querrichtung 14 um eine Beschichtungsspurbreite verschoben.

[0019] Ebenso kann ein die nächste Beschichtungslage 22" nur um ein Bruchteil einer Beschichtungsspurbreite verschoben werden.

[0020] Für die dritte Beschichtungslage 22''' und die ggf. folgenden wiederholt sich die Struktur der vorherigen Beschichtungslage, so dass in der Draufsicht sich ein Schachbrett muster ergibt.

[0021] Figur 2 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung. Die erste Beschichtungslage 22' wird hier wie Figur 1 hergestellt.

[0022] Jedoch wird für die zweite Beschichtungslage 22" die Verlaufrichtung der Beschichtungsspuren 44', 77', ... geändert, vorzugsweise senkrecht zur Längsrichtung 11 in Querrichtung 14. Dort werden wiederum abwechselnd nebeneinander Beschichtungsspuren mit verschiedenen Phasen oder Materialien nebeneinander gelegt. Die zweite Beschichtungslage 22" ist quasi eine um 90° verdrehte erste Beschichtungslage 22'.

[0023] In der dritten Beschichtungslage 22''' wird quasi die Folge der ersten Lage wiederholt, d.h. die Verlaufrichtung der Beschichtungsspuren 444', 777', ... Beschichtungslage 22''' verläuft wieder in Längsrichtung 11, wobei die Beschichtungsspuren der dritten Beschichtungslage 22''' auch um eine Beschichtungsspurbreite nach links oder rechts d.h. in Querrichtung 14 verschoben sein könnten, d.h., die Phase 444' der Beschichtungsspur 22''' ist über eine Beschichtungsspur 4' der Beschichtungsspur 22' angeordnet.

[0024] Ein weiteres Ausführungsbeispiel ist in Figur 3

gezeigt.

[0025] Die erste Beschichtungslage 22' ist wie in Figur 1 ausgebildet, wobei dann für die zweite Beschichtungslage 22" nur eine einzige, andere Phase/Material verwendet wird.

[0026] Für die dritte Beschichtungslage 22'" werden wiederum abwechselnd nebeneinander in Querrichtung 14 verschiedene Materialien für die Beschichtungsspuren verwendet, wobei entlang der Höhe 20 eine Beschichtungsspur 77' der Beschichtungslage 22" in der ersten Beschichtungslage 22' eine andere Phase 4' gegenüber liegen hat.

[0027] Für die vierte Beschichtungslage mit nur einer Phase kann die der erste Phase 4 wiederverwendet werden oder die zweite Phase 7, so dass jede zweite Beschichtungslage nur eine einzige Phase aufweist.

[0028] Figur 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung. Ähnlich wie in Figur 1 werden für die erste Beschichtungslage nebeneinander in einer Querrichtung 14 verschiedene Phasen verwendet. Jedoch ist der Querschnitt der Beschichtungsspuren schräg angestellt (Parallelogramm). Die Längsrichtung 25 der Beschichtungsspur 4', 7', ... verläuft schräg zur Oberfläche 30.

[0029] Für die zweite Beschichtungslage 22" wird auf eine Beschichtungsspur 4' der ersten Beschichtungslage 22' mit der ersten Phase eine Beschichtungsspur 77' mit der zweiten Phase aufgebracht, wobei die Beschichtungsspuren 44', 77' zur anderen Seite verkippt sind, d.h. die Längsrichtung 27 der Beschichtungsspuren 44', 77' der nachfolgenden Beschichtungslage 22" verläuft ebenfalls schräg zur Oberfläche 30.

[0030] Im Gegensatz zu Figur 4 sind in Figur 5 die Beschichtungsspuren in der zweiten Beschichtungslage 22" bis zu einer Hälfte der Dicke einer Beschichtungsspur nach links oder nach rechts verschoben, d. h. eine Beschichtungsspur 44' überholt zwei Beschichtungsspuren 4', 7' der vorhergehenden Beschichtungslage 22'. Ebenso können diese um eine ganze Beschichtungsspurbreite verschoben sein.

[0031] Ebenso können in den Beschichtungslagen abwechselnd schräg und nicht schräge angestellte Beschichtungsspuren verwendet werden.

[0032] In den Figuren 1 bis 5 wird durch diese Vielzahl von Korngrenzen mit erhöhter Phasenenergie, die durch das Nebeneinander von verschiedenen Phasen gegeben ist, das Risswachstum deutlich verringert und dadurch verbessert, dass der Risswiderstand deutlich steigt.

[0033] Die Figur 6 zeigt in perspektivischer Ansicht eine Laufschaufel 120 oder Leitschaufel 130 einer Strömungsmaschine, die sich entlang einer Längsachse 121 erstreckt.

[0034] Die Strömungsmaschine kann eine Gasturbine eines Flugzeugs oder eines Kraftwerks zur Elektrizitätszeugung, eine Dampfturbine oder ein Kompressor sein.

[0035] Die Schaufel 120, 130 weist entlang der Längsachse 121 aufeinander folgend einen Befestigungsbe-

reich 400, eine daran angrenzende Schaufelplattform 403 sowie ein Schaufelblatt 406 und eine Schaufelspitze 415 auf.

[0036] Als Leitschaufel 130 kann die Schaufel 130 an ihrer Schaufelspitze 415 eine weitere Plattform aufweisen (nicht dargestellt).

[0037] Im Befestigungsbereich 400 ist ein Schaufelfuß 183 gebildet, der zur Befestigung der Laufschaufeln 120, 130 an einer Welle oder einer Scheibe dient (nicht dargestellt).

[0038] Der Schaufelfuß 183 ist beispielsweise als Hammerkopf ausgestaltet. Andere Ausgestaltungen als Tannenbaum- oder Schwabenschwanzfuß sind möglich.

[0039] Die Schaufel 120, 130 weist für ein Medium, das an dem Schaufelblatt 406 vorbeiströmt, eine Anströmkante 409 und eine Abströmkante 412 auf.

[0040] Bei herkömmlichen Schaufeln 120, 130 werden in allen Bereichen 400, 403, 406 der Schaufel 120, 130 beispielsweise massive metallische Werkstoffe, insbesondere Superlegierungen verwendet.

[0041] 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.

[0042] Die Schaufel 120, 130 kann hierbei durch ein Gussverfahren, auch mittels gerichteter Erstarrung, durch ein Schmiedeverfahren, durch ein Fräsenverfahren oder Kombinationen daraus gefertigt sein.

[0043] Werkstücke mit einkristalliner Struktur oder Strukturen werden als Bauteile für Maschinen eingesetzt, die im Betrieb hohen mechanischen, thermischen und/oder chemischen Belastungen ausgesetzt sind.

[0044] 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.

[0045] 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.

[0046] Ist allgemein von gerichtet erstarrten Gefügen die Rede, so sind damit sowohl Einkristalle gemeint, die keine Korngrenzen oder höchstens Kleinwinkelkongrenzen aufweisen, als auch Stängelkristallstrukturen, die wohl in longitudinaler Richtung verlaufende Korngrenzen, aber keine transversalen Korngrenzen aufwei-

sen. Bei diesen zweitgenannten kristallinen Strukturen spricht man auch von gerichtet erstarrten Gefügen (directionally solidified structures).

[0047] Solche Verfahren sind aus der US-PS 6,024,792 und der EP 0 892 090 A1 bekannt.

[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 Seltener 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.

[0049] Die Dichte liegt vorzugsweise bei 95% der theoretischen Dichte.

[0050] Auf der MCRAIX-Schicht (als Zwischenschicht oder als äußerste Schicht) bildet sich eine schützende Aluminiumoxidschicht (TGO = thermal grown oxide layer).

[0051] Vorzugsweise weist die Schichtzusammensetzung Co-30Ni-28Cr-8Al1-0, 6Y-0, 7Si oder Co-28Ni-24Cr-10Al1-0, 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-10Al1-0, 4Y-1, 5Re.

[0052] Auf der MCRAIX kann noch eine Wärmedämmsschicht vorhanden sein, die vorzugsweise die äußerste Schicht ist, und besteht beispielsweise aus ZrO_2 , Y_2O_3 - $2rO_2$, d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollständig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Kalziumoxid und/oder Magnesiumoxid.

[0053] Die Wärmedämmsschicht bedeckt die gesamte MCRAIX-Schicht. Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmsschicht erzeugt.

[0054] Andere Beschichtungsverfahren sind denkbar, z.B. atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), LPPS, VPS oder CVD. Die Wärmedämmsschicht kann poröse, mikro- oder makrorissbehaftete Körner zur besseren Thermoschockbeständigkeit aufweisen. Die Wärmedämmsschicht ist also vorzugsweise poröser als die MCRAIX-Schicht.

[0055] 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.

[0056] 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.

[0057] Die Figur 7 zeigt eine Brennkammer 110 einer Gasturbine.

[0058] 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.

[0059] 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.

[0060] Jedes Hitzeschildelement 155 aus einer Legierung ist arbeitsmediumsseitig mit einer besonders hitzebeständigen Schutzschicht (MCRAIX-Schicht und/oder keramische Beschichtung) ausgestattet oder ist aus hochtemperaturbeständigem Material (massive keramische Steine) gefertigt.

[0061] Diese Schutzschichten können ähnlich der Turbinenschaufeln sein, also bedeutet beispielsweise MCRAIX: 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 Seltener 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.

[0062] Auf der MCRAIX kann noch eine beispielsweise keramische Wärmedämmsschicht 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.

[0063] Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmsschicht erzeugt.

[0064] Andere Beschichtungsverfahren sind denkbar, z.B. atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), LPPS, VPS oder CVD. Die Wärmedämmsschicht kann poröse, mikro- oder makrorissbehaftete Körner zur besseren Thermoschockbeständigkeit aufweisen.

[0065] Wiederaufarbeitung (Refurbishment) bedeutet, dass 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 dem Hitzeschildelement 155 repariert. Danach erfolgt eine Wiederbeschichtung der Hitzeschildelemente 155 und ein erneuter Einsatz der Hitzeschildelemente 155.

[0066] 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 Kühllöcher (nicht dargestellt) auf.

[0067] Die Figur 8 zeigt beispielhaft eine Gasturbine 100 in einem Längsteilschnitt.

[0068] 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.

[0069] 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.

[0070] Die Ringbrennkammer 110 kommuniziert mit einem beispielsweise ringförmigen Heißgaskanal 111. Dort bilden beispielsweise vier hintereinander geschaltete Turbinenstufen 112 die Turbine 108.

[0071] 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.

[0072] 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.

[0073] An dem Rotor 103 angekoppelt ist ein Generator oder eine Arbeitsmaschine (nicht dargestellt).

[0074] 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.

[0075] 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.

[0076] Um den dort herrschenden Temperaturen

standzuhalten, können diese mittels eines Kühlmittels gekühlt werden.

[0077] Ebenso können Substrate der Bauteile eine gerichtete Struktur aufweisen, d.h. sie sind einkristallin (SX-Struktur) oder weisen nur längsgerichtete Körner auf (DS-Struktur).

[0078] Als Material für die Bauteile, insbesondere für die Turbinenschaufel 120, 130 und Bauteile der Brennkammer 110 werden beispielsweise eisen-, nickel- oder kobaltbasierte Superlegierungen verwendet.

[0079] 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.

[0080] Ebenso können die Schaufeln 120, 130 Be- schichtungen gegen 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 Seltener Erden bzw. Hafnium). 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.

[0081] Auf der MCrAlX kann noch eine Wärmedämm- schicht 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 Kalzium- oxid und/oder Magnesiumoxid.

[0082] Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmsschicht erzeugt.

[0083] Die Leitschaufel 130 weist einen dem Innen- gehäuse 138 der Turbine 108 zugewandten Leitschaufel- fuß (hier nicht dargestellt) und einen dem Leitschaufel- fuß gegenüberliegenden Leitschaufelkopf auf. Der Leitschaufelkopf ist dem Rotor 103 zugewandt und an einem Befestigungsring 140 des Stators 143 festgelegt.

Patentansprüche

1. Keramische Schicht (17), die längsgerichtete Beschichtungsspuren (4', 7', 4", 7", ..., 44', 77', 44", 77", ...) aufweist, die jeweils eine Beschichtungslage (22', 22", ...) bilden, wobei mehrere Beschichtungslagen (22', 22", ...) vorhanden sind, wobei in zumindest einer Beschichtungslage (22', 22", ...) verschiedene Phasen verwendet werden, wobei zumindest zwei verschiedene, insbesondere nur zwei, verschiedene Phasen, ganz insbesondere verschiedene Materialien, vorhanden sind.

2. Keramische Schicht nach Anspruch 1, bei der jede Beschichtungslage (22', 22", ...) verschiedene Phasen aufweist.

3. Keramische Schicht nach Anspruch 1, bei der jede zweite Beschichtungslage (22'') nur eine Phase oder ein Material aufweist. vorvorhergehenden Beschichtungslage (22') entspricht.

4. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei der die Phasen verschiedene Materialien darstellen. 5

5. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei der alle Beschichtungsspuren (4', 7', 4'', 7'', ..., 44', 77', ...) in eine Längsrichtung (11) verlaufen. 10

6. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei der die Beschichtungsspuren (4', 7', 4'', 7'', ..., 44', 77', 44'', 77'', ...) einer Beschichtungslage (22', 22'', ...) alle in eine Richtung (11, 14) verlaufen. 15

7. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei der benachbarte Beschichtungsspuren (4', 7', ..., 44', 77', ...) einer Beschichtungslage (22', 22'') immer eine andere Phase aufweisen 20

8. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei der die Beschichtungsspuren (44', 77') einer Beschichtungslage (22'') eine andere Phase aufweisen als die direkt unterliegenden und kontaktierten Beschichtungsspuren (7', 4', ...) der unterliegenden Beschichtungslage (22') auf der (7', 4', ...) die jeweiligen Beschichtungsspuren (44', 77', ...) aufliegen. 25

9. Keramische Schicht nach Anspruch 8, bei der eine nachfolgende Beschichtungslage (22'') mit ihren Beschichtungsspuren (444', 777', ...) der vorvorhergehenden Beschichtungslage (22') mit dem Beschichtungsspuren (4', 7', ...) entspricht. 30

10. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, 6 oder 7, bei der die Beschichtungsspuren (44', 77', ...) einer nachfolgenden Beschichtungslage (22'') quer (14) zur Längsrichtung (11) der Beschichtungsspuren (4', 7', ...) der unterliegenden Beschichtungslage (22') verlaufen, ganz insbesondere um 90°, insbesondere dass die Verlaufrichtung in den Beschichtungsspuren sich von Beschichtungslage (22', ...) zu Beschichtungslage (22'', ...) immer wieder ändert, ganz insbesondere um 90°. 35

11. Keramische Schicht nach Anspruch 10, bei der eine nachfolgende Beschichtungslage (22'') mit ihren Beschichtungsspuren (444', 777', ...) der 40

12. Keramische Schicht nach Anspruch 10 oder 11, bei der eine nachfolgende Beschichtungslage (22'') mit ihren Beschichtungsspuren (444', 777', ...) nicht der vorvorhergehenden Beschichtungslage (22') in Richtung (20) entspricht. 45

13. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10 oder 11, bei der in zumindest einer Beschichtungslage (22'') nur eine Phase vorhanden ist. 50

14. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei der die Beschichtungsspuren (4', 7', 44', 77', ...) mit ihrer Längsrichtung (25, 27) schräg zur Oberfläche (30) verlaufen, insbesondere um 10° Verkippt sind. 55

15. Keramische Schicht nach Anspruch 14, bei der die Längsrichtung (27) der Beschichtungsspuren (4', 7', ...) einer nachfolgenden Beschichtungslage (22'') im Vergleich zu der Längsrichtung (25) der Beschichtungsspuren (44', 77', ...) der vorhergehenden Beschichtungslage (22') in die andere Richtung verkippt ist. 60

16. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei der die verschiedenen Beschichtungsspuren (44', 77', ...) nachfolgenden Beschichtungslage (22'') zwei Beschichtungsspuren (4', 7') der vorhergehenden Beschichtungslage (22') überdecken. 65

17. Schichtsystem, das eine keramische Schicht (17) nach einer oder mehreren der vorherigen Ansprüche aufweist. 70

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

1. Keramische Schicht (17), die längsgerichtete Beschichtungsspuren (4', 7', 4'', 7'', ..., 44', 77', 44'', 77'', ...) aufweist, die jeweils eine Beschichtungslage (22', 22'', ...) bilden, wobei mehrere Beschichtungslagen (22', 22'', ...) vorhanden sind, wobei in zumindest einer Beschichtungslage (22', 22'', ...) verschiedene Phasen verwendet werden, wobei zumindest zwei verschiedene, insbesondere nur zwei, verschiedene Phasen, ganz insbesondere verschiedene Materialien, vorhanden sind, bei der benachbarte Beschichtungsspuren (4', 7', ...)

44', 77', ...) einer Beschichtungslage (22', 22'') immer eine andere Phase aufweisen.

2. Keramische Schicht nach Anspruch 1, bei der jede Beschichtungslage (22', 22'', ...) verschiedene Phasen aufweist. 5

3. Keramische Schicht nach Anspruch 1, bei der jede zweite Beschichtungslage (22'') nur eine Phase oder ein Material aufweist. 10

4. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei der die Phasen verschiedene Materialien darstellen. 15

5. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei der alle Beschichtungsspuren (4', 7', 4'', 7'', ..., 44', 77', ...) in eine Längsrichtung (11) verlaufen. 20

6. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei der die Beschichtungsspuren (4', 7', 4'', 7'', ..., 44', 77', 44'', 77'', ...) einer Beschichtungslage (22', 22'', ...) alle in eine Richtung (11, 14) verlaufen. 25

7. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei der die Beschichtungsspuren (44', 77') einer Beschichtungslage (22'') eine andere Phase aufweisen als die direkt unterliegenden und kontaktierten Beschichtungsspuren (7', 4', ...) der unterliegenden Beschichtungslage (22') auf der (7', 4', ...) die jeweiligen Beschichtungsspuren (44', 77', ...) aufliegen. 30 35

8. Keramische Schicht nach Anspruch 7, bei der eine nachfolgende Beschichtungslage (22'') mit ihren Beschichtungsspuren (444', 777', ...) der vorvorhergehenden Beschichtungslage (22') mit dem Beschichtungsspuren (4', 7', ...) entspricht. 40

9. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4 oder 6, bei der die Beschichtungsspuren (44', 77', ...) einer nachfolgenden Beschichtungslage (22') quer (14) zur Längsrichtung (11) der Beschichtungsspuren (4', 7', ...) der unterliegenden Beschichtungslage (22') verlaufen, ganz insbesondere um 90°, 45 50 insbesondere dass die Verlaufrichtung in den Beschichtungsspuren sich von Beschichtungslage (22', ...) zu Beschichtungslage (22'', ...) immer wieder ändert, ganz insbesondere um 90°. 55

10. Keramische Schicht nach Anspruch 9, bei der eine nachfolgende Beschichtungslage (22'') 55

mit ihren Beschichtungsspuren (444', 777', ...) der vorvorhergehenden Beschichtungslage (22') entspricht.

11. Keramische Schicht nach Anspruch 9 oder 10, bei der eine nachfolgende Beschichtungslage (22'') mit ihren Beschichtungsspuren (444', 777', ...) nicht der vorvorhergehenden Beschichtungslage (22') in Richtung (20) entspricht.

12. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 oder 10, bei der in zumindest einer Beschichtungslage (22'') nur eine Phase vorhanden ist.

13. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei der die Beschichtungsspuren (4', 7', 44', 77', ...) mit ihrer Längsrichtung (25, 27) schräg zur Oberfläche (30) verlaufen, insbesondere um 10° verkippt sind.

14. Keramische Schicht nach Anspruch 13, bei der die Längsrichtung (27) der Beschichtungsspuren (4', 7', ...) einer nachfolgenden Beschichtungslage (22'') im Vergleich zu der Längsrichtung (25) der Beschichtungsspuren (44', 77', ...) der vorhergehenden Beschichtungslage (22') in die andere Richtung verkippt ist.

15. Keramische Schicht nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei der die verschiedenen Beschichtungsspuren (44', 77', ...) nachfolgenden Beschichtungslage (22'') zwei Beschichtungsspuren (4', 7') der vorhergehenden Beschichtungslage (22') überdecken.

16. Schichtsystem, das eine keramische Schicht (17) nach einer oder mehreren der vorherigen Ansprüche aufweist.

FIG 1

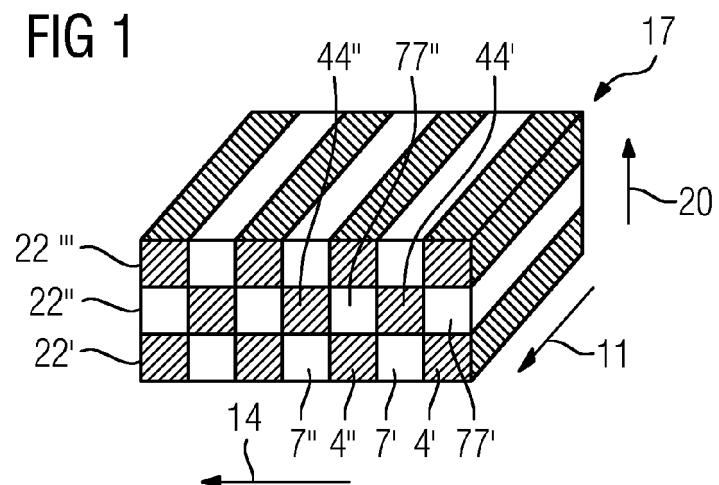


FIG 2

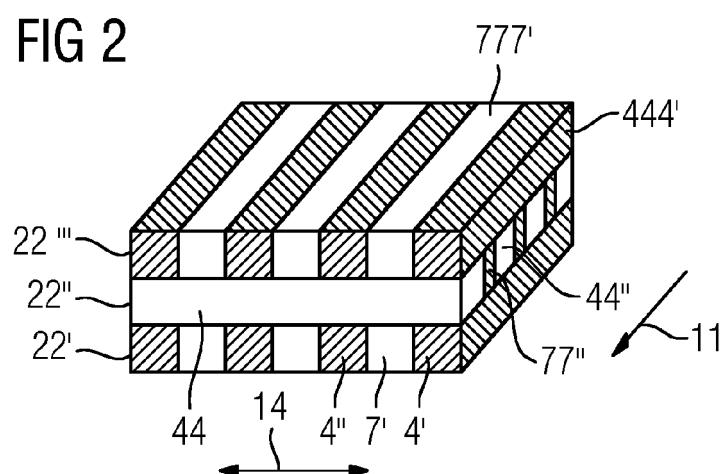


FIG 3

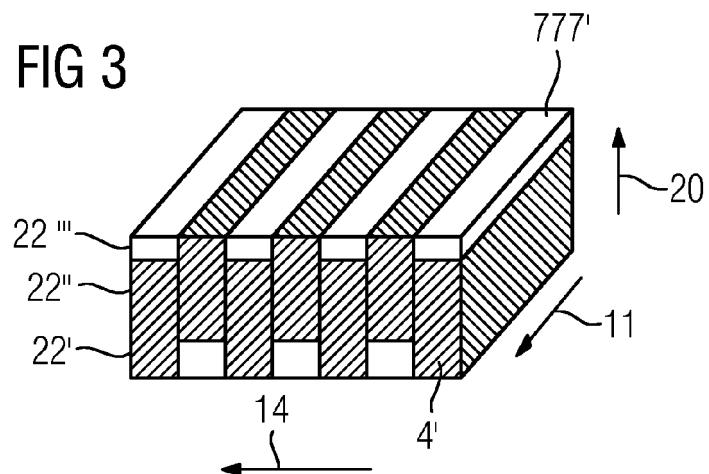


FIG 4

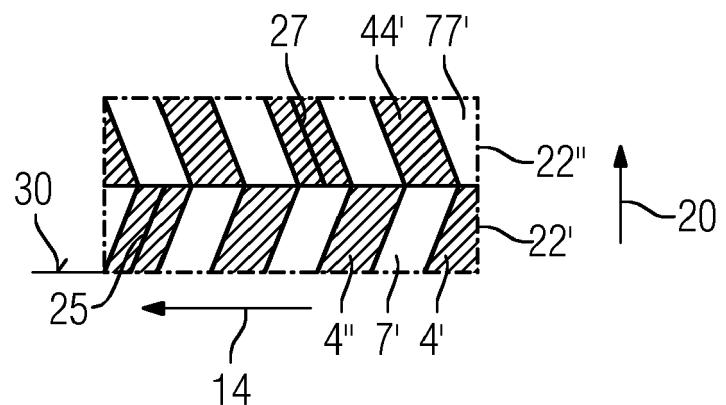


FIG 5

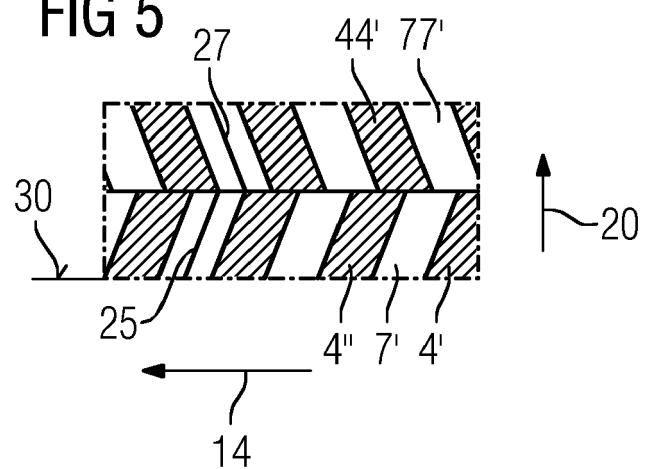


FIG 6

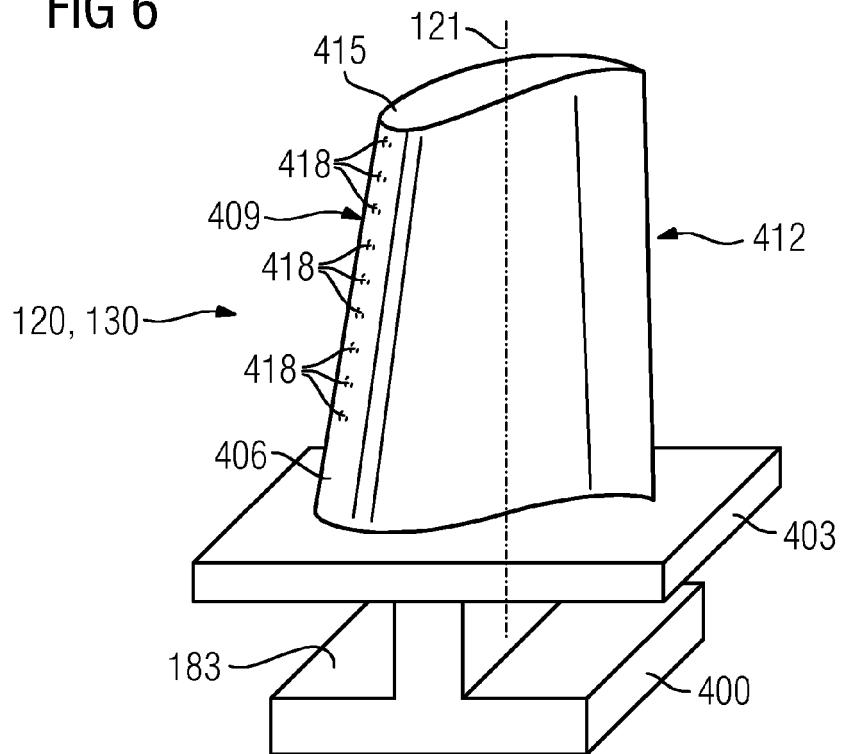
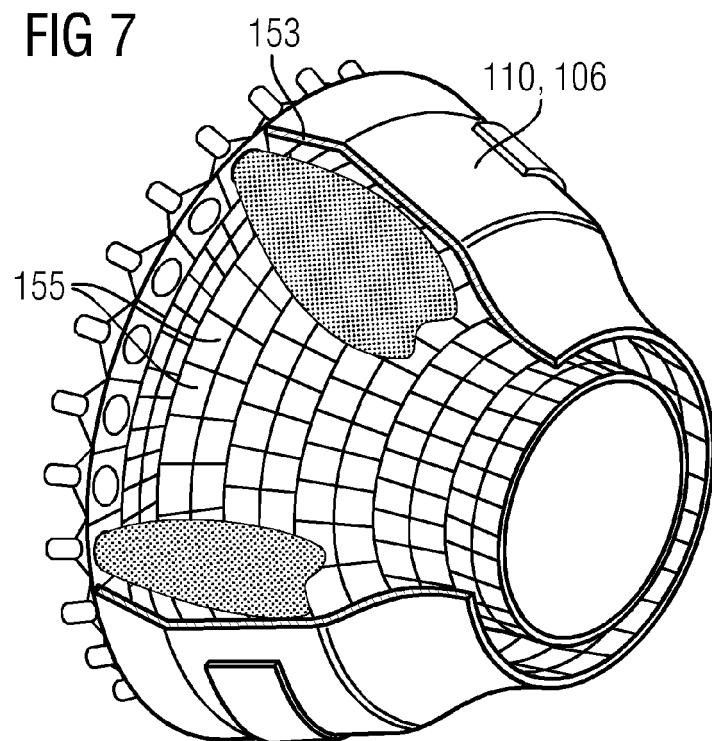


FIG 7



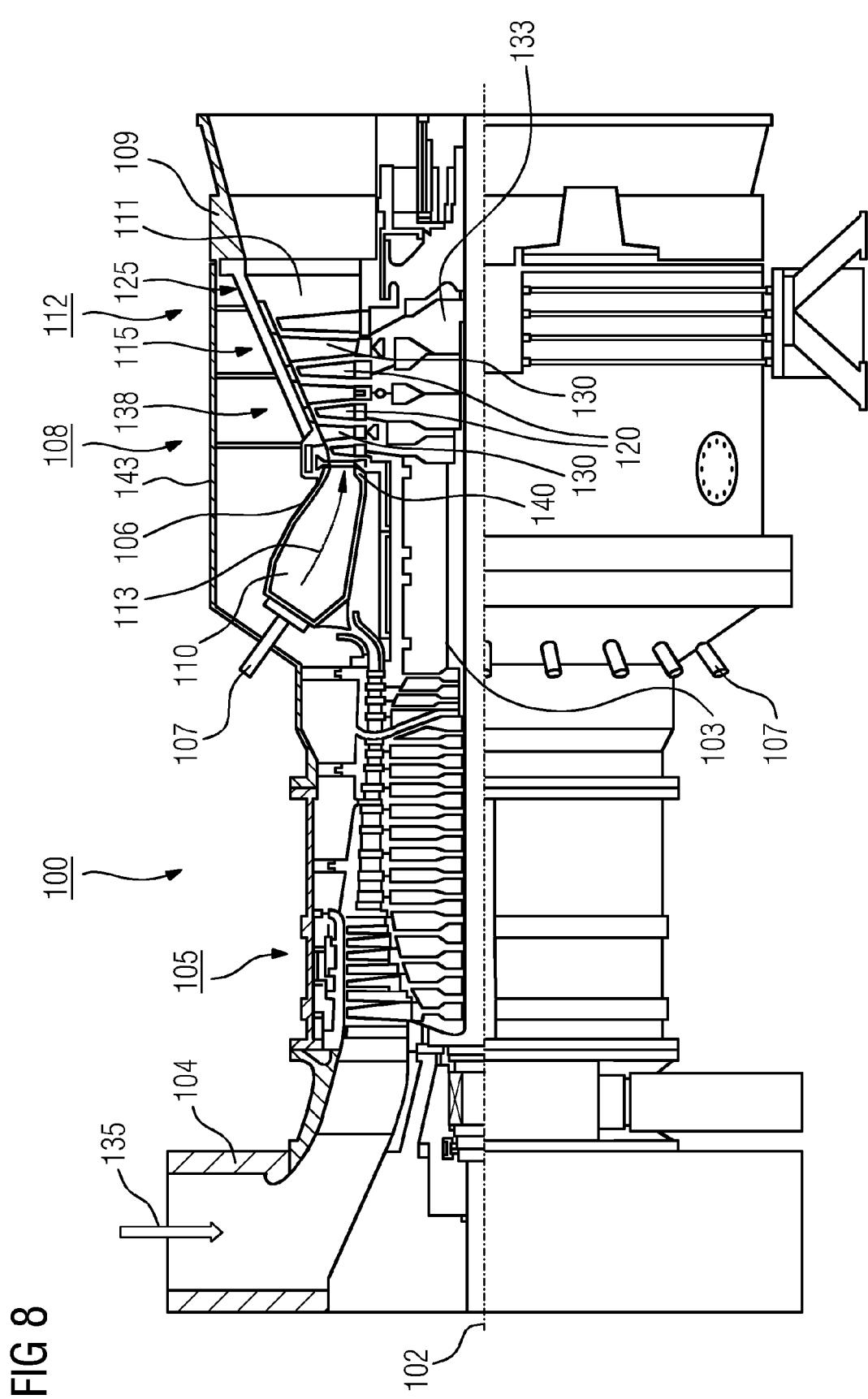


FIG 9

Werkstoff	chemische Zusammensetzung in %												
	C	Cr	Ni	Co	Mo	W	Ta	Nb	Al	Ti	B	Zr	Hf
Ni-Basis-Feingußlegierungen													
GTD 222	0.10	22.5	Rest	19.0	2.0	1.0		1.2	2.3	0.008			
IN 939	0.15	22.4	Rest	19.0	2.0	1.4	1.0	1.9	3.7	0.009	0.10		
IN 6203 DS	0.15	22.0	Rest	19.0	2.0	1.1	0.8	2.3	3.5	0.010	0.10	0.75	
Udimet 500	0.10	18.0	Rest	18.5	4.0			2.9	2.9	0.006	0.05		
IN 738 LC	0.10	16.0	Rest	8.5	1.7	2.6	1.7	0.9	3.4	0.010	0.10		
SC 16	<0.01	16.0	Rest		3.0		3.5		3.5	<0.005	<0.008		
Rene 80	0.17	14.0	Rest	9.5	4.0	4.0			3.0	5.0	0.015	0.03	
GTD 111	0.10	14.0	Rest	9.5	1.5	3.8	2.8		3.0	4.9	0.012	0.03	
GTD 111 DS													
IN 792 CC	0.08	12.5	Rest	9.0	1.9	4.1	4.1		3.4	3.8	0.015	0.02	
IN 792 DS	0.08	12.5	Rest	9.0	1.9	4.1	4.1		3.4	3.8	0.015	0.02	1.00
MAR M 002	0.15	9.0	Rest	10.0			10.0	2.5		5.5	1.5	0.015	0.05
MAR M 247 LC DS	0.07	8.1	Rest	9.2	0.5	9.5	3.2		5.6	0.7	0.015	0.02	1.40
CMSX-2	<.006	8.0	Rest	4.6	0.6	8.0	6.0		5.6	1.0	<.003	<.0075	
CMSX-3	<.006	8.0	Rest	4.6	0.6	8.0	6.0		5.6	1.0	<.003	<.0075	0.10
CMSX-4	6.0	Rest	10.0	0.6	6.0	6.0			5.6	1.0		Re=3.0	0.10
CMSX-6	<.015	10.0	Rest	5.0	3.0	<.10	2.0	<.10	4.9	4.8	<.003	<.0075	0.10
PWA 1480 SX	<.006	10.0	Rest	5.0		4.0	12.0		5.0	1.5	<.0075	<.0075	
PWA 1483 SX	0.07	12.2	Rest	9.0	1.9	3.8	5.0		3.6	4.2	0.0001	0.002	
Co-Basis-Feingußlegierungen													
FSX 414	0.25	29.0	10	Rest			7.5				0.010		
X 45	0.25	25.0	10	Rest			8.0				0.010		
ECY 768	0.65	24.0	10	51.7			7.5	4.0		0.25	0.3	0.010	0.05
MAR M 509	0.65	24.5	11	Rest			7.5	4			0.3	0.010	0.60
CM 247	0.07	8.3	Rest	10.0	0.5	9.5	3.2		5.5	0.7			1.5



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 11 19 1553

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betritt Anspruch	
X	WO 2009/144109 A1 (SIEMENS AG [DE]; BERNDT THOMAS [DE]; LADRU FRANCIS-JURJEN [DE]) 3. Dezember 2009 (2009-12-03) * Seite 3, Zeile 30 - Seite 10, Zeile 14; Abbildung 3 *	1-6,14, 17	INV. C23C4/00 C23C28/00 C04B41/00
A	EP 1 669 545 A1 (SIEMENS AG [DE]) 14. Juni 2006 (2006-06-14) * Abbildungen 1-10 *	1,17	
A	EP 0 719 594 A1 (HORT STEFAN [CH]) 3. Juli 1996 (1996-07-03) * Ansprüche 1,3,5,7,10 *	1,17	
A	DE 10 2006 061652 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 3. Juli 2008 (2008-07-03) * Ansprüche 1-3; Abbildungen 2,3 *	1,17	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C23C C04B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
1	Recherchenort Den Haag	Abschlußdatum der Recherche 1. Februar 2012	Prüfer Chalafris, Georgios
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

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

EP 11 19 1553

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.

01-02-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 2009144109	A1	03-12-2009	KEINE		
EP 1669545	A1	14-06-2006	EP 1669545 A1 EP 1819905 A1 US 2008226871 A1 WO 2006061267 A1	14-06-2006 22-08-2007 18-09-2008 15-06-2006	
EP 0719594	A1	03-07-1996	KEINE		
DE 102006061652	A1	03-07-2008	CN 101553592 A DE 102006061652 A1 EP 2106456 A2 JP 2010514922 A WO 2008080449 A2	07-10-2009 03-07-2008 07-10-2009 06-05-2010 10-07-2008	

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 1204776 B1 [0041] [0079]
- EP 1306454 A [0041] [0079]
- EP 1319729 A1 [0041] [0079]
- WO 9967435 A [0041] [0079]
- WO 0044949 A [0041] [0079]
- US PS6024792 A [0047]
- EP 0892090 A1 [0047]
- EP 0486489 B1 [0048] [0061] [0080]
- EP 0786017 B1 [0048] [0061] [0080]
- EP 0412397 B1 [0048] [0061] [0080]
- EP 1306454 A1 [0048] [0061] [0080]