

(19)



(11)

EP 2 761 057 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
25.03.2020 Patentblatt 2020/13

(51) Int Cl.:
C23C 28/00 (2006.01) C23C 4/00 (2016.01)

(21) Anmeldenummer: **12761600.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2012/068055

(22) Anmeldetag: **14.09.2012**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2013/072092 (23.05.2013 Gazette 2013/21)

(54) **SCHICHTSYSTEM MIT STRUKTURIERTER SUBSTRATOBERFLÄCHE UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG**

COATING SYSTEM WITH STRUCTURED SUBSTRATE SURFACE AND METHOD FOR MANUFACTURE

SYSTÈME DE COUCHE DOTÉ D'UNE SURFACE DE SUBSTRAT STRUCTURÉE ET SON PROCÉDÉ DE FABRICATION

(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

(30) Priorität: **14.11.2011 EP 11188983**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
06.08.2014 Patentblatt 2014/32

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft 80333 München (DE)**

(72) Erfinder:
• **CASU, Alessandro 47057 Duisburg (DE)**
• **LÜSEBRINK, Oliver 58456 Witten (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 1 048 751 EP-A1- 2 128 300
EP-A2- 1 939 317 WO-A1-2008/049460
DE-A1-102008 009 504

EP 2 761 057 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Schichtsystem, bei dem die Substratoberfläche eine größere Rauheit als eine Grenzfläche zwischen den Schichten aufweist.

[0002] Bauteile für Hochtemperatureinsätze müssen vor zu hohem Wärmeeintrag geschützt werden. Dies geschieht vorzugsweise durch Schichten, bei dem eine äußere keramische Schicht auf einer metallischen Haftvermittlerschicht aufgebracht ist, die auf einem metallischen Substrat aufgebracht wurde.

[0003] Für die Lebensdauer der keramischen Wärmedämmschicht spielt je nach Auftragsart der keramischen Schicht die Rauheit der metallischen Haftvermittlerschicht eine entscheidende Rolle.

[0004] Die Wo 2008/049460 A1 offenbart ein Verfahren zur Einstellung der Oberflächenrauigkeit einer Schicht durch ein Beschichtungsverfahren.

[0005] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, o. g. Aufgabe weiter zu verbessern.

[0006] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Schichtsystem gemäß Anspruch 1.

[0007] In den Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte Maßnahmen aufgelistet.

[0008] Es zeigen:

- Figur 1 ein Schichtsystem nach dem Stand der Technik,
 Figuren 2, 7, 8 ein erfindungsgemäßes Schichtsystem,
 Figur 3 eine Gasturbine,
 Figur 4 eine Turbinenschaufel,
 Figur 5 eine Brennkammer,
 Figur 6 eine Liste von Superlegierungen.

[0009] Die Beschreibung und die Figuren stellen nur Ausführungsbeispiele der Erfindung dar.

[0010] Die Figur 1 zeigt ein Schichtsystem 1' nach dem Stand der Technik.

[0011] Auf einem Substrat 4' ist eine metallische Haftvermittlerschicht 7' (MCrAlX) aufgebracht, die an ihrer Oberfläche 10' zu der äußeren Schicht, einer keramischen Wärmedämmschicht 13' eine gewisse Rauheit aufweist. Dies ergibt sich aufgrund der bekannten Beschichtungsverfahren, insbesondere durch thermische Beschichtungsverfahren, ganz insbesondere durch Plasmaspritzen (APS, VPS, LPPS) oder durch HVOF.

[0012] Die Figur 1 ist eine vereinfachte Darstellung, weil die Anwendung wie bei einem Schaufelblatt 406 (Fig. 4) einer Turbinenschaufel 120, 130 (Fig. 4) das Substrat 4 gekrümmt ist.

[0013] Der maximale Unterschied zwischen höchster Erhöhung 24' und tiefster Vertiefung 21' der rauen Oberfläche 10' der Schicht 7' nach dem Stand der Technik beträgt r_s . Höchste Erhöhung 24' und tiefste Vertiefung 21' dieser Max/Min-Werte für r_s müssen nicht benachbart sein.

[0014] Der maximale Abstand gemessen von der Spitze

zu Spitze zwischen zwei direkt benachbarten Erhöhungen 24' der rauen Oberfläche 10' der Schicht 7' beträgt d_s .

[0015] Die Werte r_s , d_s ergeben sich durch die Beschichtung, also durch das Beschichtungsverfahren, -parameter, Pulver,

[0016] Die Struktur (Rauheit) der Oberfläche 10' ist unregelmäßig und weist daher keine Periodizität auf.

[0017] Gleiche Definition gilt für die raue Oberfläche 16' des Substrats 4' mit r'_s (maximaler Unterschied zwischen höchster Erhöhung 24 und tiefster Vertiefung 21 der rauen Oberfläche 16' des Substrats 4'; analog zu r_s) und d'_s (maximaler Abstand zweier Spitzen von zwei direkt benachbarten Erhöhungen 24 des Substrats 4'; analog zu d_s). Die Werte r'_s und d'_s ergeben sich durch das Gießen bzw. Bearbeiten, Glätten des Substrats 4'.

[0018] Eine Mittelwertlinie von Erhöhungen 24' und Vertiefungen 21' der rauen Oberfläche 10' würde zwischen höchster Erhöhung 24' und tiefster Vertiefung 21' der rauen Oberfläche 10' verlaufen. Gleiches gilt für die Oberfläche 16' des Substrats 4'. Die Werte r_s und r'_s bzw. d_s und d'_s sind nicht zwangsläufig gleich.

[0019] Eine Substrat-Mittellinie 30' der Oberfläche 16' des Substrats 4', d.h. eine Linie, die den Mittelwert der Erhöhungen 24' und Vertiefungen 21' der rauen Oberfläche 16' darstellt, eine Schichtdicken-Mittellinie 33' der Schicht 7', d.h. eine Linie, die in der Mitte der Schicht 7' verläuft und eine Schichtoberfläche-Mittellinie 36', d.h. eine Linie, die den Mittelwert der Erhöhungen 24 und der Vertiefungen 21 der rauen Oberfläche 10' des Substrats darstellt, verlaufen gerade.

[0020] Beim realen Bauteil 120, 130 auf dem Schaufelblatt sind sie 30', 33', 36' einfach gebogen (Fig. 7) oder verlaufen wie eine Oberfläche eines Bauteils 120, 130 nach dem Stand der Technik.

[0021] Hingegen weist das erfindungsgemäße Schichtsystem 1 gemäß Figur 2 ein Substrat 4 auf, bei dem die Struktur der Grenzoberfläche 16 des Substrats 4 gezielt und kontrolliert verändert wurde und damit auch die Grenzoberfläche 10 der Schicht 7, auf die eine keramische Beschichtung 13 erfolgt.

[0022] Die Grenzoberfläche 16 des Substrats 4 weist eine andere Struktur, also eine höhere Rauheit als die Oberfläche 16' (zwischen Substrat 4' und Schicht 7') nach dem Stand der Technik (Fig. 1) auf.

[0023] Ein Tal 23 und ein Berg 20 bzw. Täler und Berge gestalten die Grenzoberfläche 16 des Substrats 4 rauer, die quasi durch Wellung eines Substrats 4' entstanden ist und vergrößern die Grenzoberfläche 16 gegenüber der Oberfläche 16' des Substrats 4' (Fig. 1).

[0024] Eine Substratoberflächenmittellinie 30 der Grenzoberfläche 16, d.h. eine Linie, die den Mittelwert von Erhöhungen 224 und Vertiefungen 221 darstellt oder eine Schichtdickenmittellinie 33 der Schicht 7 oder eine Oberflächenmittellinie 36 der Schicht 7 (Definition von 30, 33, 36 wie bei 30', 33', 36') verlaufen nicht gerade, sondern gewellt, wobei sie mindestens 5mal gewellt (Fig. 8), insbesondere periodisch gewellt, sind. Eine Mittel-

wertlinie durch Berge 20 und Täler 23 würde ebenso verlaufen wie im Stand der Technik.

[0025] Dem Berg 20 und dem Tal 23 ist noch eine kleinere Rauheit (R_s = minimaler Unterschied von höchstens Erhöhung 224' der Schicht 7 und tiefste Vertiefung 221' der Schicht 7), wie aus dem Stand der Technik bekannt, überlagert.

[0026] Der Unterschied zwischen einem höchsten Berg 20 und einem tiefsten Tal 23 (in Fig. 2 zufällig direkt aufeinanderfolgend) des Substrats 4, die durch die Wellung eines Substrats 4' nach dem Stand der Technik entstanden sind, beträgt R_i^4 .

[0027] Die wellenförmige Grenzoberfläche 16 weist auch die überlagerte Rauheit R_s auf, die jedoch kleiner ist als die gezielt eingestellte Rauheit R_i^4 des Substrats 4.

[0028] Der maximale Abstand von benachbarten Berg 20 und Tal 23 des Substrats 4 beträgt D_i' . Analog gilt dies für die Oberfläche 10 der Schicht 7 mit D_i .

[0029] D_i' (maximaler Abstand Berg 20' und Tal 23' der Schicht 7) ist vergleichbar mit D_i .

[0030] Der Wert d_i' , d.h. der maximale Abstand zwischen zwei Spitzen benachbarter Erhöhungen 224 der gewellten rauen Oberfläche 16', hier dann Grenzoberfläche 16, ist vergleichbar mit d_s' .

[0031] Entsprechend definiert ist R_i^7 . Der Wert R_i^7 ist vergleichbar mit dem Wert R_i^4 , da die metallische Schicht 7 die Berge 20 und Täler 23 der Oberfläche 16 des Substrats 4 nicht ausgleicht

[0032] Ebenso ist der Wert R_s' , d.h. der maximale Unterschied zwischen höchster Erhöhung 224 und tiefster Vertiefung 221 der gewellten rauen Oberfläche 16', hier also der Grenzoberfläche 16, vergleichbar mit r_s' .

[0033] Die raue Oberfläche 10' einer Schicht 7' (Fig. 1) wird daher quasi zusätzlich nur gewellt zu der Haftvermittlerschicht 7 und weist daher vergleichbare Werte d_s (Fig. 1) für d_i (= maximaler Abstand zweier benachbarter Erhöhungen 224') auf.

[0034] Der Wert R_s , d.h. der maximale Unterschied zwischen höchster Erhöhung 224' und tiefster Vertiefung 221' der Schicht 7, für die Grenzfläche 10 ist bei gleicher Beschichtungstechnik und gleichem Pulver vergleichbar mit dem Wert r_s aus dem Stand der Technik (Fig. 1).

[0035] Zur Ermittlung der Rauheit kann auch die quadratische oder mittlere Rauheit (R_q bzw. R_a) herangezogen werden.

[0036] Vorzugsweise ist die Rauheit der Oberfläche 16 des Substrats 4 mindestens 30% rauer als die Grenzfläche 10' zwischen den Schichten 7', 13' nach dem Stand der Technik (Fig. 1), d.h. der Wert R_i^7 bzw. R_i^4 ist mindestens 30% größer als Wert r_s bzw. r_s' .

[0037] Die Rauheit mit Tal 23 und Berg 20 des Substrats 4 ist vorzugsweise zumindest stellenweise gleichmäßig ausgebildet, also beispielsweise sinusförmig oder weist zumindest eine konstante Wellenlänge auf (Welligkeit) oder konstante Abstände zwischen direkt benachbarten Bergen. Die unbearbeitete Oberfläche 16' weist insbesondere keine Gleichmäßigkeit oder Periodizität auf.

[0038] Die Welligkeit der Grenzoberfläche 16 des Substrats 4 ist größer als die der Oberfläche 10' nach dem Stand der Technik, also mindestens 30%, d.h., die Abstände zwischen zwei "Bergen" 20 sind größer. Der kleinste Abstand D_i (Fig. 2) benachbarter Berge 20 ist mindestens 30% größer als der größte Abstand d_i (bzw. d_s) von benachbarten Erhöhungen für die Grenzoberfläche 10.

[0039] Die Welligkeit der Grenzoberfläche 16 des Substrats 4 setzt sich auch durch die Beschichtung 7 an der Grenzoberfläche 10 mit dem Berg 20' der Schicht 7 und Tal 23 der Schicht 7 fort.

[0040] Durch die Überlagerung der höheren Rauheit bzw. Welligkeit der Grenzoberfläche 16 des Substrats 4 und der Rauheit der innenliegenden, insbesondere metallischen Haftvermittlerschicht 7, wird die Haftung, der darüberliegenden Schicht 13 weiterhin verbessert.

[0041] Das Substrat 4 kann über die gesamte Grenzoberfläche 16 strukturiert sein oder auch nur lokal.

[0042] Bei einer Turbinenschaufel 120, 130 wäre dies das Schaufelblatt 406.

[0043] Das Substrat 4 weist vorzugsweise eine kobalt- oder nickelbasierte Legierung auf, insbesondere aus Figur 6.

[0044] Das Substrat 4 wird durch eine entsprechend geformte Gussform schon die gewünschte Struktur auf der Grenzoberfläche 16 nach dem Gießen aufweisen.

[0045] Die Figur 3 zeigt beispielhaft eine Gasturbine 100 in einem Längsteilschnitt.

[0046] 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.

[0047] Entlang des Rotors 103 folgen aufeinander ein Ansauggehäuse 104, ein Verdichter 105, eine beispielsweise torusartige Brennkammer 110, insbesondere Ringbrennkammer, mit mehreren coaxial angeordneten Brennern 107, eine Turbine 108 und das Abgasgehäuse 109.

[0048] Die Ringbrennkammer 110 kommuniziert mit einem beispielsweise ringförmigen Heißgaskanal 111. Dort bilden beispielsweise vier hintereinander geschaltete Turbinenstufen 112 die Turbine 108.

[0049] 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.

[0050] 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.

[0051] An dem Rotor 103 angekoppelt ist ein Generator oder eine Arbeitsmaschine (nicht dargestellt).

[0052] Während des Betriebes der Gasturbine 100 wird vom Verdichter 105 durch das Ansauggehäuse 104 Luft 135 angesaugt und verdichtet. Die am turbinensei-

tigen 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.

[0053] 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.

[0054] Um den dort herrschenden Temperaturen standzuhalten, können diese mittels eines Kühlmittels gekühlt werden.

[0055] Ebenso können Substrate der Bauteile eine gerichtete Struktur aufweisen, d.h. sie sind einkristallin (SX-Struktur) oder weisen nur längsgerichtete Körner auf (DS-Struktur).

[0056] Als Material für die Bauteile, insbesondere für die Turbinenschaufel 120, 130 und Bauteile der Brennkammer 110 werden beispielsweise eisen-, nickel- oder kobaltbasierte Superlegierungen verwendet.

[0057] 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.

[0058] Ebenso können die Schaufeln 120, 130 Beschichtungen 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 Seltenen 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.

[0059] 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.

[0060] Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmschicht erzeugt.

[0061] 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.

[0062] Die Figur 4 zeigt in perspektivischer Ansicht eine Laufschaufel 120 oder Leitschaufel 130 einer Strömungs-

maschine, die sich entlang einer Längsachse 121 erstreckt.

[0063] Die Strömungsmaschine kann eine Gasturbine eines Flugzeugs oder eines Kraftwerks zur Elektrizitätserzeugung, eine Dampfturbine oder ein Kompressor sein.

[0064] 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.

[0065] Als Leitschaufel 130 kann die Schaufel 130 an ihrer Schaufelspitze 415 eine weitere Plattform aufweisen (nicht dargestellt).

[0066] Im Befestigungsbereich 400 ist ein Schaufelfuß 183 gebildet, der zur Befestigung der Laufschaufeln 120, 130 an einer Welle oder einer Scheibe dient (nicht dargestellt).

[0067] Der Schaufelfuß 183 ist beispielsweise als Hammerkopf ausgestaltet. Andere Ausgestaltungen als Tannenbaum oder Schwalbenschwanzfuß sind möglich.

[0068] Die Schaufel 120, 130 weist für ein Medium, das an dem Schaufelblatt 406 vorbeiströmt, eine Anströmkante 409 und eine Abströmkante 412 auf.

[0069] Bei herkömmlichen Schaufeln 120, 130 werden in allen Bereichen 400, 403, 406 der Schaufel 120, 130 beispielsweise massive metallische Werkstoffe, insbesondere Superlegierungen verwendet.

[0070] 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.

[0071] Die Schaufel 120, 130 kann hierbei durch ein Gussverfahren, auch mittels gerichteter Erstarrung, durch ein Schmiedeverfahren, durch ein Fräsverfahren oder Kombinationen daraus gefertigt sein.

[0072] Werkstücke mit einkristalliner Struktur oder Strukturen werden als Bauteile für Maschinen eingesetzt, die im Betrieb hohen mechanischen, thermischen und/oder chemischen Belastungen ausgesetzt sind.

[0073] 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.

[0074] 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.

[0075] 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).

[0076] Solche Verfahren sind aus der US-PS 6,024,792 und der EP 0 892 090 A1 bekannt.

[0077] 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.

[0078] Die Dichte liegt vorzugsweise bei 95% der theoretischen Dichte.

[0079] Auf der MCrAlX-Schicht (als Zwischenschicht oder als äußerste Schicht) bildet sich eine schützende Aluminiumoxidschicht (TGO = thermal grown oxide layer).

[0080] Vorzugsweise weist die Schichtzusammensetzung Co-30Ni-28Cr-8Al-0,6Y-0,7Si oder Co-28Ni-24Cr-10Al-0,6Y auf. Neben diesen kobaltbasierten Schutzbeschichtungen werden auch vorzugsweise nickelbasierte Schutzschichten verwendet wie Ni-10Cr-12Al-0,6Y-3Re oder Ni-12Co-21Cr-11Al-0,4Y-2Re oder Ni-25Co-17Cr-10Al-0,4Y-1,5Re.

[0081] 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.

[0082] Die Wärmedämmschicht bedeckt die gesamte MCrAlX-Schicht. Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmschicht erzeugt.

[0083] Andere Beschichtungsverfahren sind denkbar, z.B. atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), LPPS, VPS oder CVD. Die Wärmedämmschicht kann poröse, mikro- oder makrorissbehaftete Körner zur besseren Thermoschockbeständigkeit aufweisen. Die Wärmedämmschicht ist also vorzugsweise poröser als die MCrAlX-Schicht.

[0084] 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.

[0085] 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 Filmkühlloch 418 (gestrichelt angedeutet) auf.

[0086] Die Figur 5 zeigt eine Brennkammer 110 einer Gasturbine.

[0087] 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.

[0088] 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.

[0089] 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.

[0090] 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.

[0091] 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.

[0092] Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmschicht erzeugt.

[0093] Andere Beschichtungsverfahren sind denkbar, z.B. atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), LPPS, VPS oder CVD. Die Wärmedämmschicht kann poröse, mikro- oder makrorissbehaftete Körner zur besseren Thermoschockbeständigkeit aufweisen.

[0094] Wiederaufarbeitung (Refurbishment) bedeutet, dass Hitzeschildelemente 155 nach ihrem Einsatz gege-

benenfalls 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.

[0095] 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.

Patentansprüche

1. Schichtsystem (1) für Turbinenanwendungen, das ein Substrat (4) mit einer Grenzoberfläche (16) und zumindest zwei Schichten (7, 13) aufweist, eine innenliegende Schicht (7) auf der Grenzoberfläche (16) des Substrats (4), insbesondere direkt auf der Grenzoberfläche (16), und eine äußere Schicht (13) auf der innenliegenden Schicht (7), wobei die innenliegende Schicht (7) eine gewisse Rauheit R_s im Bereich der Oberfläche (10) zu der äußeren Schicht (13), aufgrund der bekannten Beschichtungsverfahren, insbesondere durch thermische Beschichtungsverfahren, ganz insbesondere durch Plasmaspritzen und/oder durch HVOF aufweist, wobei die Rauheit R_s als Differenz zwischen der höchsten Erhöhung (224') und der tiefsten Vertiefung (221') der Oberfläche (10) definiert ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Grenzoberfläche (16) zwei sich überlagernde Rauheiten R'_s und R^4_i aufweist, wobei die Rauheit R'_s als Differenz zwischen der höchsten Erhöhung (224) und der tiefsten Vertiefung (221) der Grenzoberfläche (16) definiert ist und die Rauheit R^4_i als Differenz zwischen dem höchsten Berg (20) und dem tiefsten Tal (23) der Grenzoberfläche (16) definiert ist, wobei die Berge (20) und die Täler (23) durch eine Wellung einer Substratoberflächenmittellinie (30) festgelegt sind, wobei die Substratoberflächenmittellinie (30) als eine Linie definiert ist, die den Mittelwert der Erhöhungen (224) und Vertiefungen (221) darstellt, wobei die Rauheit R^4_i mindestens 20%, insbesondere mindestens 30% größer ist als die Rauheit R'_s , **dass** der maximale Abstand zwischen zwei benachbarten Erhöhungen (224) d'_i beträgt und der kleinste Abstand zwischen zwei Bergen (20) der Grenzoberfläche (16) des Substrats (4) D'_i beträgt, wobei D'_i mindestens 20%, insbesondere 30% größer ist als d'_i und dass die Rauheit R^4_i der Grenzoberfläche (16) des Substrats (4) gezielt eingestellt wird oder nach seiner Herstellung, insbesondere nach dem Gießen, bearbeitet wird, insbesondere vergrößert wird, bei dem die innenliegende Schicht (7) eine metallische Haftschrift ist, auf der eine äußere keramische Schicht (13) aufgebracht ist, bei dem das Substrat (4) auf seiner Grenzoberfläche (16) zumindest stellenweise eine Periodizität aufweist, bei dem die Periodizität der Welligkeit der Grenzoberfläche (16) mit Berg (20) und Tal (23) mindestens 30% größer ist als die Periodizität der Oberfläche (10) der Schicht (7), wenn Berge (20) und Täler (23) nicht vorhanden wären, wobei das Substrat (4) schon durch das Gießen eine strukturierte Grenzoberfläche (16) aufweist, die die Welligkeit in der Grenzoberfläche (10) der Schicht (7) ergibt.
2. Schichtsystem nach Anspruch 1, bei dem eine Schichtdicken-Mittellinie (33) der Schicht (7) mehrfach gebogen, insbesondere mindestens 5mal, ganz insbesondere zumindest stellenweise periodisch gebogen ist.
3. Schichtsystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche 1 oder 2, bei dem die Grenzoberfläche (16) des Substrats (4) mit Bergen (20) und Täler (23) eine Welligkeit mit einer Periodizität aufweist und die Oberfläche (10) keine Periodizität aufweist, wenn Berge (20) und Täler (23) nicht vorhanden wären.
4. Schichtsystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Rauheit die mittlere Rauheit (R_a) ist.
5. Schichtsystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Rauheit die quadratische Rauheit (R_q) ist.
6. Schichtsystem nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei dem der Unterschied (R^7_i) zwischen höchstem Berg (20') und tiefstem Tal (23') der Schicht (7) im Vergleich zum maximalen Unterschied (R_s) zwischen höchster Erhöhung (224') einer innenliegenden Schicht (7) und tiefstem Tal (221') der innenliegenden Schicht (7) mindestens 20%, insbesondere 30%, beträgt, wenn Berge (20) und Täler (23) nicht vorhanden wären.

7. Schichtsystem nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche,
bei dem der maximale Abstand zwischen zwei benachbarten Erhöhungen (224') der Grenzoberfläche (10) zur äußeren Schicht (13) d_i beträgt,
bei dem der kleinste Abstand zwischen zwei Bergen (20') einer Grenzoberfläche (10) der Schicht (7) D_i beträgt und
bei dem D_i mindestens 20%, insbesondere 30% größer ist als d_i .
8. Schichtsystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem das Substrat (4) nur lokal eine größere Rauheit oder eine Periodizität aufweist,
insbesondere bei einer Turbinenschaufel (120, 130) das Schaufelblatt (406) zumindest teilweise, ganz insbesondere vollständig.
9. Schichtsystem nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei dem das Substrat (4) metallisch ist.

Claims

1. Layer system (1) for turbine applications, comprising a substrate (4) having a boundary surface (16) and at least two layers (7, 13), an inner layer (7) on the boundary surface (16) of the substrate (4),
in particular directly on the boundary surface (16), and an outer layer (13) on the inner layer (7), wherein the inner layer (7) has a certain roughness R_s in the region of the surface (10) to the outer layer (13) on account of the known coating processes, in particular as a result of thermal coating processes, very particularly as a result of plasma spraying and/or as a result of HVOF,
wherein the roughness R_s is defined as the difference between the highest elevation (224') and the deepest depression (221') of the surface (10),
characterized
in that the boundary surface (16) has two superposed roughnesses R_s and R^4_i ,
wherein the roughness R_s is defined as the difference between the highest elevation (224) and the deepest depression (221) of the boundary surface (16) and the roughness R^4_i is defined as the difference between the highest peak (20) and the deepest trough (23) of the boundary surface (16),
wherein the peaks (20) and the troughs (23) are defined by a wavy nature of a substrate surface centerline (30),
wherein the substrate surface centerline (30) is defined as a line which represents the mean value of the elevations (224) and depressions (221),
wherein the roughness R^4_i is at least 20%, in partic-

ular at least 30%, greater than the roughness R'_s ,
in that the maximum distance between two adjacent elevations (224) is d'_i and the smallest distance between two peaks (20) of the boundary surface (16) of the substrate (4) is D'_i , wherein D'_i is at least 20%, in particular 30%, greater than d'_i , and in that the roughness R^4_i of the boundary surface (16) of the substrate (4) is set in a targeted manner, or is machined, in particular is enlarged, after it has been produced, in particular after the casting,
in which the inner layer (7) is a metallic bonding layer, to which an outer ceramic layer (13) is applied,
in which the substrate (4) has a periodicity at least in places on its boundary surface (16),
in which the periodicity of the waviness of the boundary surface (16) with peak (20) and trough (23) is at least 30% greater than the periodicity of the surface (10) of the layer (7) if peaks (20) and troughs (23) were not to be present,
wherein the substrate (4) already has a structured boundary surface (16) as a result of the casting, this giving rise to the waviness in the boundary surface (10) of the layer (7).

2. Layer system according to Claim 1, in which a layer thickness centerline (33) of the layer (7) is bent repeatedly,
in particular at least 5 times, very particularly is bent periodically at least in places.
3. Layer system according to one or more of the preceding Claims 1 or 2,
in which the boundary surface (16) of the substrate (4) has with peaks (20) and troughs (23) a waviness with a periodicity, and the surface (10) does not have a periodicity
if peaks (20) and troughs (23) were not to be present.
4. Layer system according to one or more of the preceding claims,
in which the roughness is the mean roughness (R_a).
5. Layer system according to one or more of the preceding claims,
in which the roughness is the root-mean-squared roughness (R_q).
6. Layer system according to one or more of the preceding claims,
in which the difference (R^7_i) between the highest peak (20') and the deepest trough (23') of the layer (7) compared to the maximum difference (R_s) between the highest elevation (224') of an inner layer (7) and the deepest trough (221') of the inner layer (7) is at least 20%, in particular 30%,
if peaks (20) and troughs (23) were not to be present.
7. Layer system according to one or more of the pre-

ceding claims,
 in which the maximum distance between two adjacent elevations (224') of the boundary surface (10) to the outer layer (13) is d_i ,
 in which the smallest distance between two peaks (20') of a boundary surface (10) of the layer (7) is D_i ,
 and
 in which D_i is at least 20%, in particular 30%, greater than d_i .

8. Layer system according to one or more of the preceding claims,
 in which the substrate (4) has a greater roughness or a periodicity only locally,
 in particular in the case of a turbine blade or vane (120, 130) the main blade or vane part (406) has a greater roughness or a periodicity at least in parts, very particularly fully.
9. Layer system according to one or more of the preceding claims, in which the substrate (4) is metallic.

Revendications

1. Système (1) stratifié pour des applications de turbine, qui a un substrat (4) ayant une surface (16) limite et au moins deux couches (4, 13),
 une couche (7) intérieure sur la surface (16) limite du substrat (4),
 notamment directement sur la surface (16) limite, et une couche (13) extérieure sur la couche (7) intérieure, la couche (7) intérieure ayant une certaine rugosité R_s dans la partie de la surface (10) par rapport à la couche (13) extérieure, en raison des procédés de revêtement connus, notamment par des procédés de revêtement thermiques,
 d'une façon tout à fait particulière par projection au plasma et/ou par HVOF,
 la rugosité R_s étant définie comme une différence entre la surélévation (224') la plus haute et la cavité (221') la plus basse de la surface (10),
caractérisé
en ce que la surface (16) limite a deux rugosités R'_s et R^4_i ,
 la rugosité R'_s étant définie comme la différence entre la surélévation (224) la plus haute et la cavité (221) la plus basse de la surface (16) limite et la rugosité R^4_i étant définie comme la différence entre le sommet (20) le plus haut et le creux (23) le plus bas de la surface (16) limite,
 les sommets (20) et les creux (23) étant fixés par une ondulation d'une ligne (30) médiane de surface du substrat, la ligne (30) médiane de surface du substrat étant définie comme une ligne, qui représente la valeur moyenne des surélévations (224) et des cavités (221),
 la rugosité R^4_i étant plus grande d'au moins 20%,

notamment d'au moins 30%, que la rugosité R'_s ,
en ce que la distance maximum entre deux surélévations (224) voisines est égale à d'_i et la distance la plus petite entre deux sommets (20) de la surface (16) limite du substrat (4) est égale à D'_i , D'_i étant plus grande d'au moins 20%, notamment de 30% que d'_i et en ce que la rugosité R^4_i de la surface (16) limite du substrat (4) est réglée de manière ciblée ou après sa production, notamment par coulée, est traitée, en étant notamment agrandie,
 dans lequel la couche (7) intérieure est une couche d'adhérence métallique, sur laquelle est déposée une couche (13) céramique extérieure,
 dans lequel le substrat (4) a, sur sa surface (16) limite, au moins par endroit, une périodicité,
 dans lequel la périodicité de l'ondulation de la surface (16) limite à sommet (20) et creux (23) est plus grande d'au moins 30% que la périodicité de la surface (10) de la couche (7), s'il n'y avait pas des sommets (20) et des creux, le substrat (4) ayant déjà par la coulée une surface (16) limite structurée, qui donne l'ondulation dans la surface (10) limite de la couche (7).

2. Système stratifié suivant la revendication 1, dans lequel une ligne (33) médiane d'épaisseur de couche de la couche (7) est courbée plusieurs fois, notamment au moins 5 fois, en étant, d'une manière tout à fait particulière, courbée, au moins par endroit, périodiquement.
3. Système stratifié suivant l'une ou plusieurs des revendications 1 ou 2 précédentes,
 dans lequel la surface (16) limite du substrat (4) a des sommets (10) et creux (23)], a une ondulation ayant une périodicité et
 la surface (10) n'aurait pas de périodicité s'il n'y avait pas de sommet (20) et de creux (23).
4. Système stratifié suivant l'une ou plusieurs des revendications précédentes,
 dans lequel la rugosité est la rugosité (R_a) moyenne.
5. Système stratifié suivant l'une ou plusieurs des revendications précédentes,
 dans lequel la rugosité est la rugosité (R_q) quadratique.
6. Système stratifié suivant l'une ou plusieurs des revendications précédentes,
 dans lequel la différence (R^7_i) entre le sommet (20') le plus haut et le creux (23') le plus bas de la couche (7), par rapport à la différence (R_s) maximum entre la surélévation (224') la plus haute d'une couche (7) intérieure et le creux (221') le plus bas de la couche (7) intérieure est d'au moins 20%, notamment de 30%, s'il n'y avait pas de sommet (20) et de creux (23).

7. Système stratifié suivant l'une ou plusieurs des revendications précédentes, dans lequel la distance maximum entre deux surélévations (224') voisines de la surface (10) limite, par rapport à la couche (13) extérieure, est égale à d_i , dans lequel la distance la plus petite entre deux sommets (20') d'une surface (10) limite de la couche (7) est égale à D_i et dans lequel D_i est plus grand d'au moins 20%, notamment de 30% que d_i . 5 10
8. Système stratifié suivant l'une ou plusieurs des revendications précédentes, dans lequel le substrat (4) n'a que localement une rugosité assez grande ou une périodicité, notamment dans une aube (120, 130) de turbine, le corps (406) de l'aube, au moins en partie, d'une manière tout à fait particulière complètement. 15 20
9. Système stratifié suivant l'une ou plusieurs des revendications précédentes, dans lequel le substrat (4) est métallique. 20 25 30 35 40 45 50 55

FIG 1

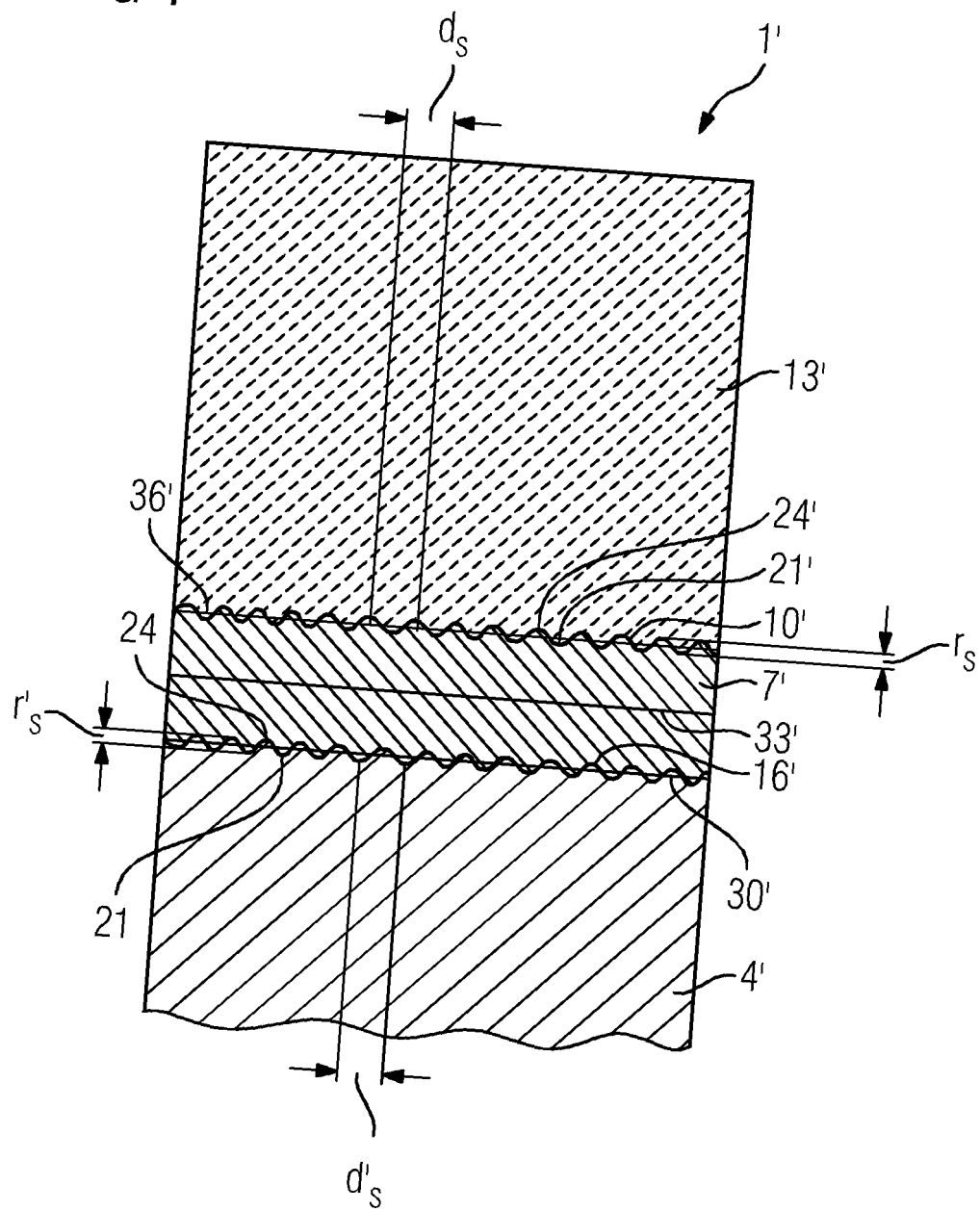


FIG 2

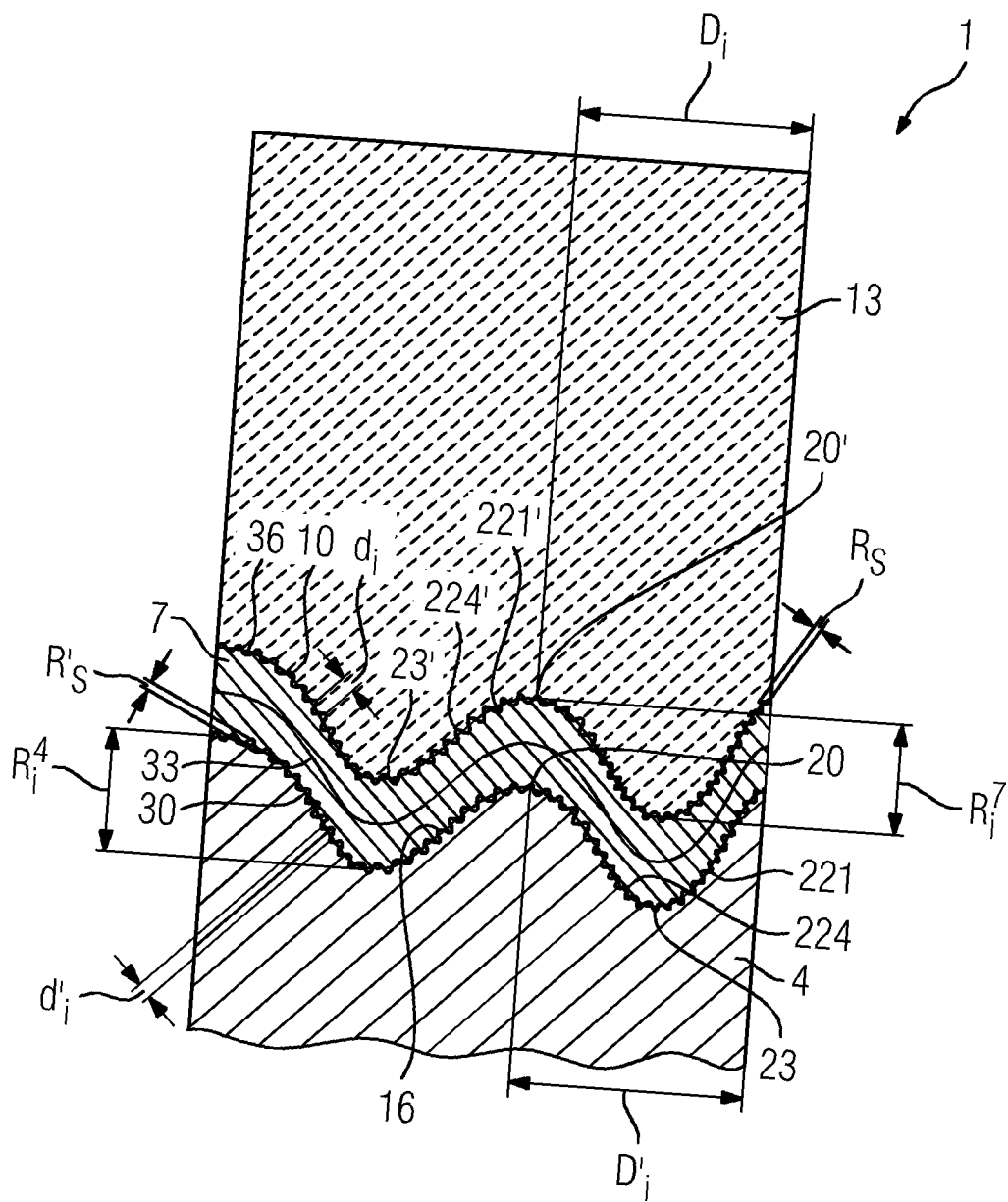


FIG 3

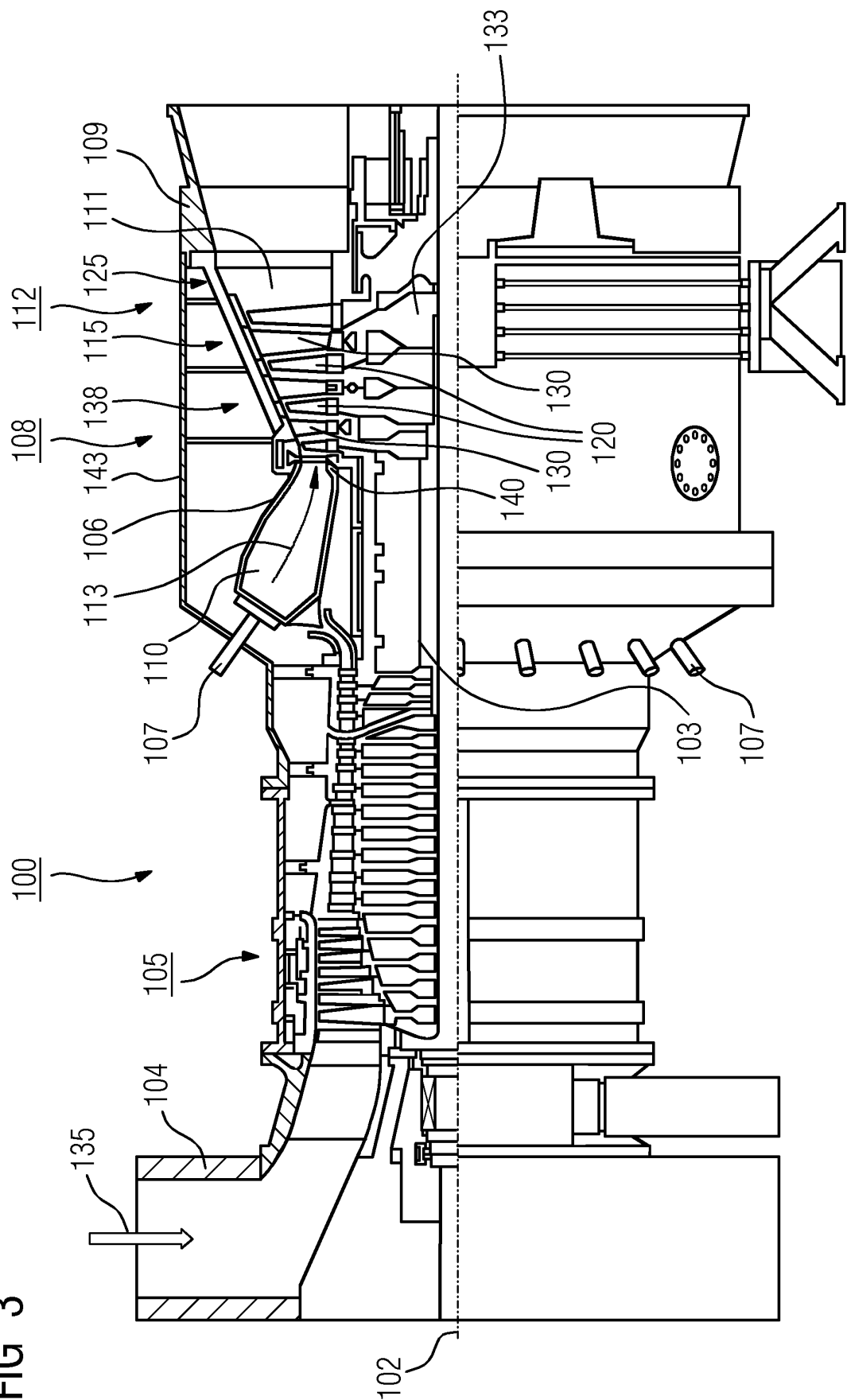


FIG 4

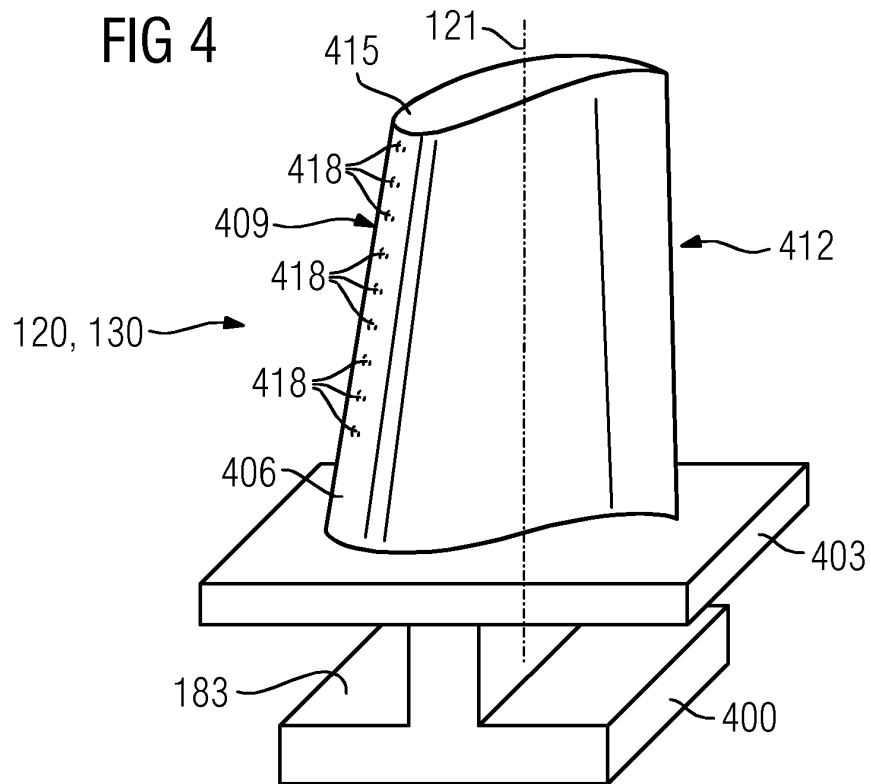


FIG 5

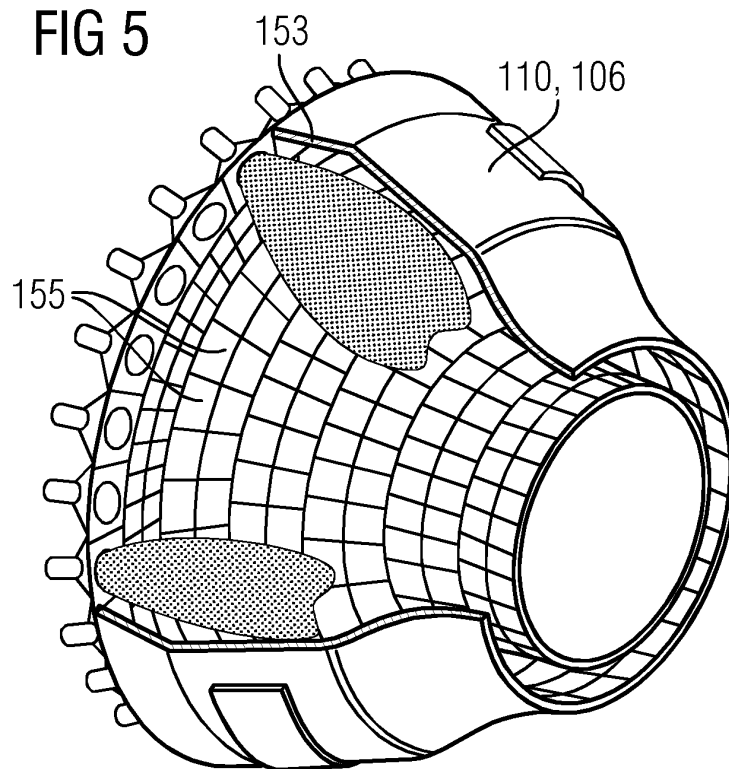


FIG 6

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	3.4	0.010	0.10	
SC 16	<0.01	16.0	Rest		3.0		3.5		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	1.50
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

FIG 7

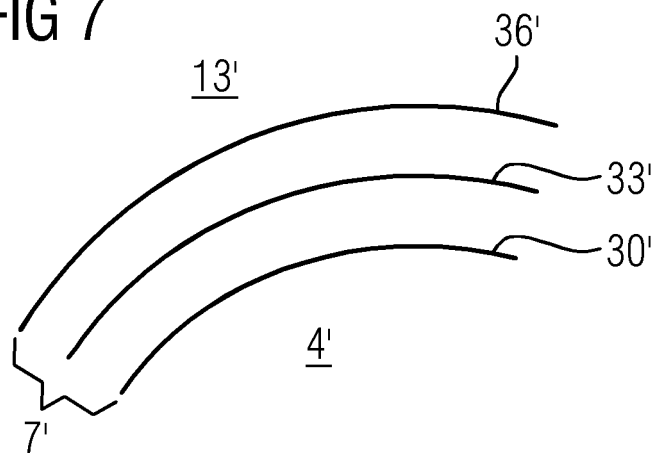
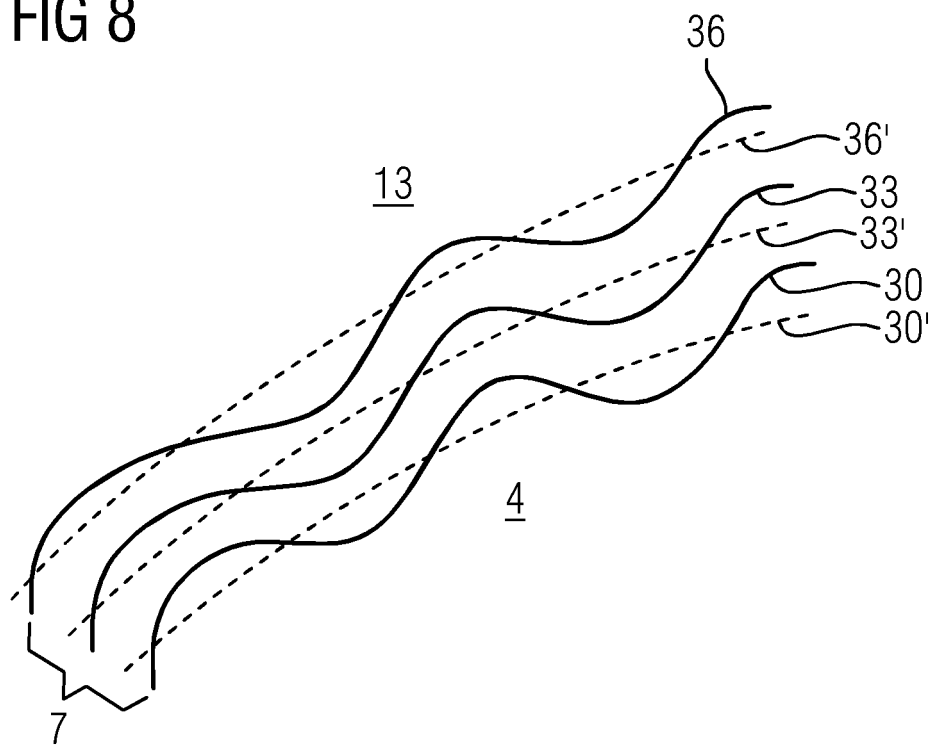


FIG 8



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

- WO 2008049460 A1 **[0004]**
- EP 1204776 B1 **[0057] [0070]**
- EP 1306454 A **[0057] [0070]**
- EP 1319729 A1 **[0057] [0070]**
- WO 9967435 A **[0057] [0070]**
- WO 0044949 A **[0057] [0070]**
- EP 0486489 B1 **[0058] [0077] [0090]**
- EP 0786017 B1 **[0058] [0077] [0090]**
- EP 0412397 B1 **[0058] [0077] [0090]**
- EP 1306454 A1 **[0058] [0077] [0090]**
- US 6024792 A **[0076]**
- EP 0892090 A1 **[0076]**