



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 694 164 A5

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>: C 04 B 035/106  
F 02 C 007/00  
F 16 L 059/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑳① Gesuchsnummer: 00777/99

⑳② Anmeldungsdatum: 27.04.1999

⑳③ Priorität: 27.04.1998 JP 10-117616

⑳④ Patent erteilt: 13.08.2004

⑳⑤ Patentschrift veröffentlicht: 13.08.2004

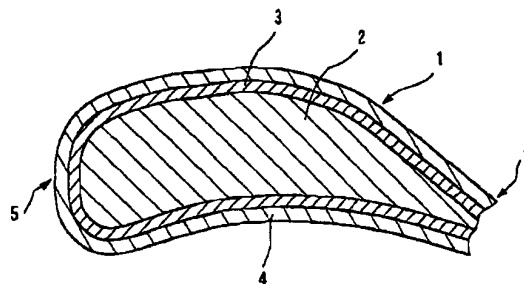
⑳⑦③ Inhaber:  
Kabushiki Kaisha Toshiba  
72 Horikawa-cho, Saiwai-ku  
Kawasaki-shi, Kanagawa-ken 210 (JP)

⑳⑦② Erfinder:  
Takahashi, Masashi  
1198-1-410, Tsurugamine-Hon-Cho, Asahi-Ku  
Yokohama-Shi, Kanagawa-Ken (JP)  
Kazuhide Matsumoto  
3-13-4, Kitanodai  
Hachioji-Shi, Tokyo (JP)  
Masayuki Itoh  
2-18-11, Kitakase, Saiwai-Ku  
Kawasaki-Shi, Kanagawa-Ken (JP)  
Masahiro Saitou  
22-7, Makigahara, Asahi-Ku  
Yokohama-Shi, Kanagawa-Ken (JP)  
Kunihiko Wada  
8-12-201, Sugeshiroshita, Tama-Ku  
Kawasaki-Shi, Kanagawa-Ken (JP)  
Koga, Akinori  
928-47, Kamisugeta-cho, Hodogaya-ku  
Yokohama-shi, Kanagawa-ken (JP)

⑳⑦④ Vertreter:  
E. Blum & Co. Patentanwälte  
Vorderberg 11  
8044 Zürich (CH)

⑵④ Hochtemperatur-Komponente, insbesondere für eine Gasturbine, und Verfahren zu deren Herstellung.

⑵⑦ Die Erfindung betrifft eine Hochtemperatur-Komponente wie beispielsweise eine Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine, die beispielsweise in Form einer beweglichen oder stationären Gasturbinenschaufel (1) vorliegen kann. Diese umfasst ein Basismaterial und einen Wärmesperre-Überzug (4-6), der beschichtungsmässig auf eine Oberfläche des Basismaterials aufgetragen ist. Der Wärmesperre-Überzug weist charakteristische Wärmesperre-Eigenschaften auf, die in Abstimmung mit der Umgebung gesteuert werden, denen die Hochtemperatur-Komponente ausgesetzt ist, sodass die Oberflächentemperatur des Basismaterials (2) im Wesentlichen einheitlich gemacht wird. Der Wärmesperre-Überzug umfasst eine Wärmesperre-Keramikschicht, die charakteristische Wärmesperre-Eigenschaften aufweist, die dadurch gesteuert werden können, dass man wenigstens einen der Parameter Dicke und Porosität der Keramikschicht in unterschiedlichen Abschnitten der Wärmesperre-Keramikschicht variiert.



## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine technische Verfahrensweise, die gerichtet ist auf eine Hochtemperatur-Komponente, die unter einer bei hoher Temperatur befindlichen korrosiven oder oxidativen Atmosphäre in einer Gasturbine, einem Triebwerk oder dergleichen verwendet wird. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung eine Hochtemperatur-Komponente wie beispielsweise eine Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine, mit der die Wärmesperre-Eigenschaften dadurch verbessert werden können, dass man eine Oberfläche eines Metall-Basismaterials mit einer Wärmesperre-Beschichtung (thermal barrier coating; TBC) versieht. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zu deren Herstellung.

Um die Effizienz der Ausnutzung von Hitze zu verbessern, wurden ernsthaft Untersuchungen und Entwicklungen für die Anwendung einer hohen Temperatur (eine Erhöhung der Arbeitstemperatur des Gases) bei einer Kraftmaschine wie beispielsweise einer Gasturbine, einem Triebwerk oder dergleichen durchgeführt. Im Hinblick auf zur Verwendung bei hoher Temperatur geeignete Materialien besteht eine Tendenz dahingehend, dass die Materialien der Komponenten harten Bedingungen ihrer Arbeitsumgebung wie beispielsweise hoher Temperatur ausgesetzt sind. Daher wurden bei Gasturbinen-Komponenten, insbesondere bei beweglichen Turbinenschaufeln, stationären Turbinenschaufeln und Komponenten, die unmittelbar einem Verbrennungsgas eines Brenners ausgesetzt sind, die beiden folgenden Faktoren untersucht, sodass diese Komponenten eine gute Haltbarkeit bei hoher Temperatur auf Grund einer Verbesserung der charakteristischen Kühl-Eigenschaften zeigen können und dass die Wärmebeständigkeits-Temperatur der Materialien verbessert wird.

Zuerst folgt nun eine Beschreibung einer Untersuchung zur Verbesserung der charakteristischen Kühl-Eigenschaften, um die Temperatur der Materialien der Komponenten zu verringern.

Um die charakteristischen Kühl-Eigenschaften zu verbessern, ist es prinzipiell wirksam, ein Gas zu verwenden, das eine hohe Wärmekapazität aufweist, oder die Kühlgas-Strömungsgeschwindigkeit zu erhöhen. Jedoch wird bei dem Verfahren der Verwendung eines Gases mit einer hohen Wärmekapazität oder bei dem Verfahren der Erhöhung der Kühlgas-Strömungsgeschwindigkeit die Temperatur des Verbrennungsgases verringert, und es gibt viele Fälle, bei denen sich dann die Effizienz der Wärmeausbeutung verringert. Im Hinblick auf diese Umstände wurden die folgenden Verfahrensweisen als Verfahrensweisen zur Verbesserung der Kühlleistung ohne Verringerung der Temperatur des Verbrennungsgases angewendet: Es wurde nämlich – genauer gesagt – ein Verfahren zur Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit zwischen einem Material und einem Kühlgas und ein Verfahren zur Erhöhung der Kontaktfläche des Materials mit dem Kühlgas vorgesehen.

Ein Abkühlen eines Films oder ein Abkühlen durch Auftreffen auf eine kühle Fläche werden als typische Beispiele der Verfahrensweise zur Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit zwischen einem Material und ei-

nem Kühlgas angeführt. Ausserdem wird eine Umkehrstrom-Struktur eines Turbinenschaufel-Kühldurchgangs als typisches Beispiel eines Verfahrens zur Erhöhung der Kontaktfläche des Materials und des Kühlgases genannt. Wie oben angegeben, wird Wärme wirksam beseitigt, wie es die Gegebenheiten erfordern. Jedoch wird in jedem Fall einer Anwendung dieser Verfahrensweisen die Struktur der Anlagen sehr gross, und die Struktur der einzelnen Komponenten wird kompliziert. Aus diesem Grund erhöhen sich die Herstellungskosten der Anlagen, und das System wird kompliziert.

Es folgt nun eine Beschreibung einer Untersuchung zur Verbesserung der Wärmebeständigkeits-Temperatur des Materials.

Es wurde herkömmlich als hitzebeständiges Strukturmaterial eine unidirektional verfestigte oder monokristallisierte Superlegierung entwickelt. Die Superlegierung verwendet ein Material auf der Basis von Ni, auf der Basis von Co oder auf der Basis von Fe als Hauptkomponente. Andererseits wurde eine intermetallische Verbindung entwickelt, die eine ausgezeichnete Oxidationsbeständigkeit aufweist, indem man ein Element auf Nb-Basis oder Mo-Basis oder dergleichen zusetzte. Dadurch wurde versucht, die Hochtemperatur-Festigkeit des Materials weiter zu verbessern. Jedoch liegt bei der unidirektional verfestigten oder monokristallisierten Superlegierung die verwendbare kritische Temperatur bei höchstens 1000°C, und zwar im Hinblick auf den Schmelzpunkt der Superlegierung. Darüber hinaus tritt im Fall der Superlegierung, der ein Element auf Nb-Basis und Mo-Basis zugesetzt wurde, um die Oxidationsbeständigkeit zu verbessern, das Problem auf, dass die Verarbeitbarkeit verschlechtert wird und damit die Herstellungskosten dieser Legierung hoch werden.

Weiter wurde ein Verfahren zur Verbesserung der Wärmebeständigkeit einer Hochtemperatur-Komponente durch Aufbringen eines Keramikmaterials auf die Hochtemperatur-Komponente entwickelt, das einen hohen Schmelzpunkt aufweist und eine ausgezeichnete Oxidationsbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit hat. Tatsächlich wurde ein Keramikmaterial auf SiC-Basis und Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Basis als Hochtemperatur-Komponente aufgebracht. Jedoch hat das Keramikmaterial eine geringe Zähigkeit im Vergleich zu einem Material aus Metall, und es tritt daher das Problem auf, dass die Verarbeitbarkeit verschlechtert wird und die damit verbundenen Kosten hoch werden. Aus diesem Grund traten viele Probleme bei der Realisierung der Hochtemperatur-Beständigkeit des Materials und der Kostensenkung bei seiner Herstellung auf und verhinderten damit die breite Anwendung des Keramikmaterials als Strukturmaterial der Hochtemperatur-Komponente.

Andererseits besteht ein Verfahren, bei dem ein Metallmaterial mit ausgezeichneter Zähigkeit als Basismaterial der Hochtemperatur-Komponente verwendet wird und die Oberfläche des Basismaterials aus Metall mit einer Beschichtung mit einem Wärmesperre-Überzug (thermal barrier coating; TBC) versehen wird. Dadurch wird die Wärmebeständigkeit der Hochtemperatur-Komponente verbessert. Der Wärmesperre-Überzug ist eine Keramikschicht auf Oxid-Basis, die eine niedrige Wärmeleitfähigkeit auf-

weist, und der Hitzeeinfluss wird abgeschirmt durch Ausbildung eines Wärmesperre-Überzugs auf der Oberfläche des Metall-Basismaterials, wodurch ein Anstieg der Temperatur des Metall-Basismaterials verhindert wird.

Beispielsweise wurde – wie in der japanischen offengelegten Patentveröffentlichung Nr. Sho 62-211 387 offenbart – ein Verfahren zur Bildung einer Wärmesperre-Keramikschicht mit einer Dicke von wenigen hundert Mikrometern ( $\mu\text{m}$ ) auf der Oberfläche eines Metall-Basismaterials vorgeschlagen, sodass ein Anstieg der Temperatur auf der Oberfläche des Metall-Basismaterials um einige zehn Grad ( $^{\circ}\text{C}$ ) verringert werden kann. Gemäss diesem Verfahren ist es möglich, den Anstieg der Temperatur auf der Oberfläche des Metall-Basismaterials zu beschränken. Damit kann eine Gasturbine hochtemperaturfest gemacht werden. Dies bedeutet, dass bei der Aufbringung eines Wärmesperre-Überzugs gilt, dass die Wärmesperre-Eigenschaften um so ausgezeichnete sind, je dicker die Dicke der Wärmesperre-Keramikschicht ist. Damit ist es möglich, den Einfluss der Temperatur auf das Metall-Basismaterial zu verringern. Weiter wird dadurch, dass man die Oberfläche des Metall-Basismaterials mit einem Wärmesperre-Überzug versieht, der Wärmefluss von der Seite des Verbrennungsgases auf die Seite der Kühlluft gering. Damit kann die Kühlgas-Strömungsgeschwindigkeit verringert werden.

Jedoch stellen bei einer Wärmesperre-Keramikschicht, die – wie vorstehend beschrieben – als Überzug aufgebracht wird, das Auftreten von Rissen und das Abschälen von dem Metall-Basismaterial ein grosses Problem dar. Aus diesem Grund wurden verschiedene Forschungen und Entwicklungen im Stand der Technik durchgeführt, um das Problem des Abschälens zu lösen.

Eine Zweischichten-Struktur ist ein typisches Beispiel des Wärmesperre-Überzugs zur Lösung des Problems des Abschälens. Die Zweischichten-Struktur wird gebildet durch beschichtungsmässiges Aufbringen der folgenden beiden Schichten: eine MCrAlY-Legierungsschicht (worin M für Fe, Co oder Ni steht), die auf die Oberfläche des Metall-Basismaterials aufgebracht wird, und eine Keramikschicht auf Oxid-Basis, die eine geringe Wärmeleitfähigkeit aufweist und auf die Oberfläche der MCrAlY-Legierungsschicht aufgebracht wird. In diesem Fall wird ein Keramikmaterial auf Zirkoniumoxid-Basis als Keramikschicht auf Oxid-Basis verwendet.

Der Wärmesperre-Überzug mit der vorstehend genannten Zweischichten-Struktur wird üblicherweise durch ein thermisches Sprühverfahren gebildet. In dem Fall jedoch, in dem das Beschichten an der Atmosphärenluft durchgeführt wird, wird die Wärmesperre-Überzugsschicht porös. Aus diesem Grund besteht ein Problem darin, dass sich die Haftfestigkeit an dem Metall-Basismaterial verringert und dass sich die Korrosionsbeständigkeit und Oxidationsbeständigkeit verschlechtern. Um diese Probleme zu lösen, wurde in den zurückliegenden Jahren ein Verfahren zur Durchführung eines Plasma-Sprühverfahrens in einer Niederdruck-Inertgasatmosphäre entwickelt, die Luft im Wesentlichen ausschliesst (dieses Verfahren wird allgemein als Niederdruck-Plasma-Sprühverfahren be-

zeichnet). Dadurch wurde die Haltbarkeit des Wärmesperre-Überzugs stark verbessert.

Es wurden verschiedene Untersuchungen über ein Material zur Bildung der Wärmesperre-Keramikschicht durchgeführt.

Genauer gesagt, findet bei Zirkoniumoxid ( $\text{ZrO}_2$ ) in der Nähe von  $1200^{\circ}\text{C}$  eine Phasenumwandlung statt. Aus diesem Grund wird eine Verbesserung der Phasenstabilisierung und der charakteristischen Hitzezyklus-Eigenschaften durch Zusatz eines Additivs zur Stabilisierung des Zirkoniumoxids erreicht.

Darüber hinaus wurde im Fall der Ausbildung der Wärmesperre-Keramikschicht eine Wärmesperre-Überzugsschicht mit Säulenstruktur gebildet, wenn ein physikalisches Elektronenstrahl-Abscheideverfahren aus der Dampfphase (electron beam physical vapor deposition; EB-PVD) angewendet wird. Dadurch wird die Struktur verbessert, sodass die Lebensdauer der Gasturbine verlängert wird.

Jedoch ist es beim beschichtungsmässigen Aufbringen der vorstehend beschriebenen Wärmesperre-Überzugsschicht eine allgemeine Vorgehensweise, dass ein Keramikmaterial auf Zirkoniumoxid-Basis verwendet wird, das eine niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweist, und die Wärmesperre-Eigenschaften dieses Materials wurden nicht gesteuert. Aus diesem Grund ist es unmöglich, einen Wärmesperre-Überzug zu erhalten, der ausgezeichnete Wärmesperre-Eigenschaften aufweist.

Darüber hinaus ist es beispielsweise bei einer beweglichen Gasturbinenschaufel, einer stationären Gasturbinenschaufel und einem Brenner, die einem bei hoher Temperatur befindlichen Verbrennungsgas ausgesetzt sind, eine Tatsache, dass die Bedingungen der Temperaturbelastung in Abhängigkeit von den Abschnitten der dem Gas ausgesetzten Schaufeln unterschiedlich sind. Jedoch gab es bisher keine Steuerung dahingehend, passende Wärmesperre-Eigenschaften in Abstimmung mit den Temperaturbelastungs-Bedingungen zu erhalten; vielmehr wurde die Dicke der Wärmesperre-Keramikschicht nicht variiert. So war die Wärmesperre-Keramikschicht an allen Stellen der Teile gleich dick. Aus diesen Gründen waren die Wärmesperre-Eigenschaften in diesen Teilen immer dieselben. Damit war die Oberflächentemperatur des Metall-Basismaterials, das das verstärkende Teil ist, an dessen verschiedenen Stellen erheblich verschieden voneinander.

Wie oben beschrieben, werden die charakteristischen Wärmesperre-Eigenschaften nicht berücksichtigt, und es ergeben sich daraus die folgenden Probleme: Es wird eine grosse Menge an Kühlmedium benötigt, ausserdem ist der Temperaturgradient in Dickenrichtung relativ gross. Aus diesem Grund gibt es heisse Stellen (hot Spots) mit örtlich hoher Temperatur auf Grund eines punktgerichteten Gases wie beispielsweise eines Verbrennungsgases und eines Kühlgases. Daher ist es erforderlich, die Lebensdauer des Metall-Basismaterials und damit die Wärmeeffizienz einer Gasturbine und deren Zuverlässigkeit zu verbessern.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, die oben beschriebenen Probleme oder Nachteile zu beseitigen und eine Hochtemperatur-Komponente und ein Herstellungsverfahren einer solchen Komponente

bereitzustellen, mit denen es möglich ist, die Wärmesperre-Eigenschaften eines Wärmesperre-Überzugs in Übereinstimmung mit der Umgebung zu steuern, der die Komponente ausgesetzt ist, und darüber hinaus dafür zu sorgen, dass die Oberflächentemperatur eines Basismaterials einheitlich ist, um damit die charakteristischen Wärmesperre-Eigenschaften zu verbessern.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, eine Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine und ein Verfahren zu deren Herstellung zu schaffen, mit denen es möglich ist, die Oberflächentemperatur eines Metall-Basismaterials beim beschichtungsmässigen Aufbringen einer Wärmesperre-Schicht bei einer Gasturbine einheitlich zu machen, die in einer Verbrennungsgas-Atmosphäre verwendet wird, um die Effizienz der Wärmenutzung, die Lebensdauer und die Zuverlässigkeit der Gasturbine zu verbessern.

Diese und andere Aufgaben können gemäss Patentanspruch 1 dadurch gelöst werden, dass man in einem Aspekt eine Hochtemperatur-Komponente bereitstellt, die umfasst:

- ein Basismaterial; und
- eine Wärmesperre-Keramikschiicht, die beschichtungsmässig auf eine Oberfläche des Basismaterials aufgebracht wird;

worin die Wärmesperre-Keramikschiicht charakteristische Wärmesperre-Eigenschaften aufweist, die in Abstimmung mit der Umgebung gesteuert werden, der die Hochtemperatur-Komponente ausgesetzt ist, wodurch die Oberflächentemperatur des Basismaterials im Wesentlichen einheitlich gemacht wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform dieses Aspekts weist die Oberflächentemperatur des Basismaterials eine Temperaturdifferenz an dessen unterschiedlichen Stellen innerhalb des Bereichs von 100°C auf.

Der Wärmesperre-Überzug umfasst eine Wärmesperre-Keramikschiicht, und die charakteristischen Eigenschaften der Wärmesperre-Keramikschiicht werden gesteuert durch Variieren der Dicke oder der Porosität der Schicht an verschiedenen Stellen der Wärmesperre-Keramikschiicht.

In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine geschaffen, die umfasst:

- ein Metall-Basismaterial aus einer hitzebeständigen Legierung, die im Wesentlichen aus wenigstens einem Material auf Ni-Basis, einem Material auf Co-Basis und einem Material auf Fe-Basis besteht; und

- einen Wärmesperre-Überzug, der beschichtungsmässig auf eine Oberfläche des Metall-Basismaterials aufgebracht wird;

worin der Wärmesperre-Überzug charakteristische Wärmesperre-Eigenschaften aufweist, die in Abstimmung mit der Umgebung gesteuert werden, der die Hochtemperatur-Komponente ausgesetzt ist, wodurch die Oberflächentemperatur des Basismaterials im Wesentlichen einheitlich gemacht wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform dieses Aspekts ist die Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine wenigstens eines der Teile bewegbare Schaufel und stationäre Schaufel einer Gasturbine.

Der Wärmesperre-Überzug umfasst eine Wärmesperre-Keramikschiicht. Wenigstens eine Wärmesperre-Keramikschiicht, die auf dem die Vorderkante umgebenden Bereich oder auf dem die rückwärtige Kante umgebenden Bereich der beweglichen Turbinenschaufel oder der stationären Turbinenschaufel, die einer relativ hohen Temperatur ausgesetzt sind, ausgebildet ist, weist eine Dicke auf, die grösser ist als diejenige eines anderen Abschnitts der jeweiligen Turbinenschaufel. Die Wärmesperre-Keramikschiicht weist eine Dicke auf, die im Bereich von 0,1 mm oder mehr bis zu 1,0 mm oder weniger im Bereich der dickeren Seite liegt, und weist eine Dicke auf, die im Bereich von 0 mm oder mehr bis 0,5 mm oder weniger im Bereich der dünneren Seite liegt. Die Dicke der dünneren Seite der Wärmesperre-Keramikschiicht ist dünner als die Dicke der dickeren Seite der Wärmesperre-Keramikschiicht.

Der Wärmesperre-Überzug umfasst eine Wärmesperre-Keramikschiicht, und die Wärmesperre-Keramikschiicht, die auf der Rückseite der beweglichen Turbinenschaufel oder der stationären Turbinenschaufel ausgebildet ist, die eine relativ hohe Temperatur aufweist, hat eine Dicke, die grösser ist als diejenige der Wärmesperre-Keramikschiicht, die auf der Vorderseite (Bauchseite) der jeweiligen Turbinenschaufel ausgebildet ist, die eine relativ niedrige Temperatur aufweist. Die Wärmesperre-Keramikschiicht weist im Bereich der dickeren Seite eine Dicke auf, die im Bereich von 0,1 mm oder mehr bis 1,0 mm oder weniger liegt, und weist im Bereich der dünneren Seite eine Dicke auf, die im Bereich von 0 mm oder mehr bis zu 0,5 mm oder weniger liegt. Die Dicke der dünneren Seite der Wärmesperre-Keramikschiicht ist geringer als die Dicke auf der dickeren Seite der Wärmesperre-Keramikschiicht.

Der Wärmesperre-Überzug umfasst eine Wärmesperre-Keramikschiicht, und wenigstens eine Wärmesperre-Keramikschiicht, die auf dem die Vorderkante umgebenden Bereich oder auf dem die rückwärtige Kante umgebenden Bereich der beweglichen Turbinenschaufel oder der stationären Turbinenschaufel ausgebildet ist, die eine relativ hohe Temperatur aufweisen, weist eine Porosität auf, die grösser ist als diejenige eines anderen Bereichs der Schaufel.

Die Oberflächentemperatur des Metall-Basismaterials wird dadurch einheitlich gemacht, dass man die Porosität des Keramik-Materials auf der Rückseite der beweglichen oder stationären Turbinenschaufel, die eine relativ hohe Temperatur aufweist, grösser macht als die Porosität auf der Vorderseite (Bauchseite) der Schaufel. Die Porosität der Wärmesperre-Keramikschiicht liegt im Bereich von 10% oder mehr bis 40% oder weniger, auf der Seite mit höherer Porosität und liegt im Bereich von 2% oder mehr bis 20% oder weniger auf der Seite niedrigerer Porosität.

Ein Keramikmaterial auf Oxid-Basis wird als Material der Wärmesperre-Keramikschiicht verwendet. Das Keramikmaterial auf Oxid-Basis umfasst herkömmlicherweise  $ZrO_2$  und wenigstens eines oder mehrere Additive aus der Gruppe  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Y_2O_3$  oder  $CeO_3$ . Ein Keramikmaterial auf Oxid-Basis wird als Material der Wärmesperre-Keramikschiicht verwendet, und das Keramikmaterial auf Oxid-Basis umfasst im

Wesentlichen wenigstens eines der Materialien aus der Gruppe  $Al_2O_3$ ,  $HfO_2$ ,  $ThO_2$  oder  $BeO$ .

Die Oberflächentemperatur des Basismaterials weist einen Unterschied der Temperatur zwischen den einzelnen Abschnitten des Materials innerhalb des Bereichs von bis zu  $100^\circ C$  auf. Der Wärmesperre-Überzug umfasst eine Wärmesperre-Keramikschicht, und die charakteristischen Wärmesperre-Eigenschaften der Wärmesperre-Keramikschicht werden dadurch gesteuert, dass man die Dicke oder die Porosität der Schichten in bestimmten Bereichen der Schichten steuert.

In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung einer Hochtemperatur-Komponente geschaffen, das die Schritte umfasst, dass man

- ein Basismaterial herstellt; und
- einen Wärmesperre-Überzug, der eine Wärmesperre-Keramikschicht umfasst, auf eine Oberfläche des Basismaterials aufbringt, wobei man wenigstens einen Parameter aus der Gruppe Dicke und Porosität der Wärmesperre-Keramikschicht in verschiedenen Bereichen der Schicht variiert.

In einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung einer Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine bereitgestellt, das die Schritte umfasst, dass man

- ein Metall-Basismaterial herstellt, das aus einer hitzebeständigen Legierung hergestellt ist, die im Wesentlichen wenigstens ein Material aus der Gruppe Material auf Ni-Basis, Material auf Co-Basis und Material auf Fe-Basis umfasst; und
- einen Wärmesperre-Überzug, der eine Wärmesperre-Keramikschicht umfasst, auf eine Oberfläche des Metall-Basismaterials aufbringt, wobei man wenigstens einen Parameter aus der Gruppe Dicke und Porosität der Wärmesperre-Keramikschicht in verschiedenen Bereichen der Schicht variiert.

In einer bevorzugten Ausführungsform dieses Aspekts wird die Wärmesperre-Keramikschicht gebildet durch Aufsprühen eines Rohpulvers aus einem Wärmesperre-Keramikmaterial mit hoher Geschwindigkeit unter Einsatz einer Wärmequelle wie beispielsweise eines Plasmas.

Die Zufuhrmenge des Rohpulvers, die Korngrösse des Rohpulvers, die Material-Zufuhrgeschwindigkeit der Hitze-Sprühpistole, der Winkel der Hitze-Sprühpistole, die Sprühentfernung und die Sprühenergie werden optimiert, und die Abscheidegeschwindigkeit, die die Beschichtungsdicke pro Durchlauf bestimmt, werden so variiert, dass die Dicke oder die Porosität der Wärmesperre-Keramikschicht in Abhängigkeit von den zu besprühenden Abschnitten der Teile variiert werden.

In einem Fall der Ausbildung einer Wärmesperre-Keramikschicht auf einem Metall-Basismaterial wird ein Target-Material mittels eines Elektronenstrahles erhitzt und verdampft, und der so erhaltene Dampf wird auf der Oberfläche des Metall-Basismaterials abgeschieden und so die Wärmesperre-Keramikschicht gebildet. Das Rohpulver des Wärmesperre-Keramikmaterials wird durch eine Platte geführt, die unterschiedliche Raumverhältnisse aufweist, sodass die Abscheidegeschwindigkeit variiert wird.

Gemäss der vorliegenden Erfindung in den oben

beschriebenen Ausführungsformen ist es gemäss einem Aspekt möglich, die Oberflächentemperatur des Basismaterials einheitlich zu machen, indem man die charakteristischen Wärmesperre-Eigenschaften des Wärmesperre-Überzugs in Abhängigkeit der Bereiche der Hochtemperatur-Komponente variiert. So wird der Unterschied der Oberflächentemperatur des Basismaterials zwischen dessen verschiedenen Bereichen klein gemacht, sodass die Lebensdauer des Basismaterials verbessert werden kann und auch die Zuverlässigkeit der Hochtemperatur-Komponente sichergestellt werden kann. Ausserdem ist die Hochtemperatur-Komponente auf die Aussenwand eines Triebwerks oder einer Rakete aufbringbar, das einer bei hoher Temperatur befindlichen Umgebung ausgesetzt ist.

Weiterhin wird gemäss diesem Aspekt der Unterschied der Oberflächentemperatur zwischen den Bereichen des Basismaterials auf einen Wert innerhalb  $100^\circ C$  festgesetzt. Der Unterschied der Oberflächentemperatur liegt innerhalb dieses Temperaturbereichs, wodurch es möglich ist, die Lebensdauer des Basismaterials zu verbessern.

Gemäss der vorliegenden Erfindung ist es möglich, die charakteristischen Wärmesperre-Eigenschaften des Wärmesperre-Überzugs dadurch zu verbessern, dass man die Dicke der Wärmesperre-Keramikschicht vergrössert oder deren Porosität vergrössert.

In einem anderen Aspekt wurden im Stand der Technik bei dem Metall-Basismaterial verschiedene Entwicklungen gemacht, um eine gewisse Festigkeit sicherzustellen. So wurde verschiedentlich eine unidirektional verfestigte und monokristallisierte (in Form eines Einkristalls vorliegende) Superlegierung entwickelt, die im Wesentlichen ein Material auf Ni-Basis, ein Material auf Co-Basis oder ein Material auf Fe-Basis umfasst. Um gute Wärmesperre-Eigenschaften sicherzustellen, wird eine Wärmesperre-Überzugschicht auf dem Metall-Basismaterial gebildet. Dadurch ist es möglich, eine Hochtemperatur-Komponente zu erhalten, die eine ausgezeichnete Festigkeit selbst in einer Hochtemperatur-Umgebung aufweist.

Gemäss diesem Aspekt werden die charakteristischen Wärmesperre-Eigenschaften des Wärmesperre-Überzugs in den Bereichen der Hochtemperatur-Komponente in Übereinstimmung mit der Umgebung variiert, der die Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine ausgesetzt ist. Dadurch ist es möglich, die Oberflächentemperatur des Metall-Basismaterials einheitlich zu machen. So wird die Oberflächentemperatur des Metall-Basismaterials einheitlich gemacht, sodass die Menge an Kühlmedium reduziert werden kann. Dadurch ist es möglich, die Leistungsmerkmale der Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine zu verbessern. Ausserdem wird der Temperaturgradient in Dickenrichtung verringert, wodurch die Lebensdauer der Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine verlängert werden kann. Ausserdem ist es möglich, das Auftreten von hot spots zu reduzieren, was ein Faktor beim Hervorrufen von Gas-Haltepunkten wie beispielsweise bei einem Verbrennungsgas oder einem Kühlgas ist, sodass die Zuverlässigkeit der Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine verbessert werden kann.

Im Besonderen ist eine Gasturbinen-Komponente wie beispielsweise eine bewegliche Turbinenschaufel oder eine stationäre Turbinenschaufel bei hoher Temperatur befindlichen Gasen bzw. Dämpfen ausgesetzt. Jedoch werden gemäss der vorliegenden Erfindung die charakteristischen Wärmesperre-Eigenschaften dieser Komponenten verbessert, und dadurch kann eine Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine mit guter Zuverlässigkeit bei hoher Temperatur erhalten werden.

Ausserdem wird gemäss der vorliegenden Erfindung der Unterschied der Oberflächentemperatur zwischen den verschiedenen Bereichen des Basismaterials auf einen Wert innerhalb von 100°C festgelegt. Der Unterschied der Oberflächentemperatur liegt innerhalb dieses Temperaturbereichs, wodurch die Lebensdauer des Basismaterials verbessert wird.

Ausserdem wird die Dicke der Wärmesperre-Keramikschicht variiert, und dadurch ist es möglich, die Wärmebeständigkeit der Wärmesperre-Keramikschicht so zu steuern, dass ein Temperaturbereich bestimmt wird.

In diesem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist es dadurch, dass man die Dicke der Wärmesperre-Keramikschicht des Vorderkanten-Abschnitts oder des rückwärtigen Kanten-Abschnitts der beweglichen Turbinenschaufel oder der stationären Turbinenschaufel, deren Temperatur hoch wird, grösser macht, möglich, die Oberflächentemperatur des Metall-Basismaterials einheitlich zu machen.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist es dadurch, dass man die Dicke der Wärmesperre-Keramikschicht auf der Rückseite oder auf der Vorderseite (Bauchseite) der beweglichen Schaufel oder der stationären Schaufel, deren Temperatur hoch wird, grösser macht, möglich, wirksam die Oberflächentemperatur des Metall-Basismaterials einheitlich zu machen.

Ausserdem ist die Dicke der Wärmesperre-Überzugsschicht in dem oben beschriebenen Bereich definiert, und dadurch ist es möglich, die Oberflächentemperatur des Metall-Basismaterials einheitlich zu machen.

Gemäss der vorliegenden Erfindung weist eine Pore, d.h. ein Hohlraum, eine hohe Wärmebeständigkeit auf. Aus diesem Grund ist es möglich, durch Variieren der Porosität des Materials, aus dem die Wärmesperre-Keramikschicht besteht, die Wärmebeständigkeit der Wärmesperre-Keramikschicht zu steuern, die den Temperaturbereich bestimmt. Mit anderen Worten: Die Porosität der Wärmesperre-Keramikschicht wird variiert, wodurch die Oberflächentemperatur des Metall-Basismaterials einheitlich gemacht wird.

Je dicker die Wärmesperre-Keramikschicht ausgebildet wird oder je höher die Porosität gemacht wird, desto höher wird die Wärmebeständigkeit. Daher besteht eine Neigung dazu, dass die Wärmesperre-Eigenschaften verbessert werden. Bei einer beweglichen Gasturbinenschaufel und einer stationären Gasturbinenschaufel ist es dadurch, dass man die Wärmebeständigkeit der Wärmesperre-Keramikschicht in dem die Vorderkante umgebenden Bereich oder in dem die rückwärtige Kante umgebenden Bereich, die einer hinsichtlich der Temperatur belastenderen Umgebung ausgesetzt sind als die Wärmesperre-Keramikschicht der anderen Bereiche der

Schaufeln, möglich, die Oberflächentemperatur des Metall-Basismaterials einheitlich zu machen.

Ausserdem wird in diesem Aspekt bei der beweglichen Gasturbinenschaufel oder bei der stationären Schaufel dadurch, dass man die Wärmebeständigkeit der Wärmesperre-Keramikschicht auf der Rückseite, die einer hinsichtlich der Temperatur stärker belastenden Umgebung ausgesetzt ist als die Vorderseite (Bauchseite), die Oberflächentemperatur des Metall-Basismaterials einheitlich gemacht. Die Porosität der Wärmesperre-Überzugsschicht ist so definiert, wie dies oben beschrieben wurde, wodurch die Oberflächentemperatur des Metall-Basismaterials einheitlich gemacht wird.

Das  $ZrO_2$  wird als Hauptkomponente des Materials der Wärmesperre-Keramikschicht verwendet. Wenn das  $ZrO_2$  eine Temperatur von 1200°C übersteigt, ruft dies eine Kristallumwandlung hervor. Aus diesem Grund wurde herkömmlicherweise ein Keramikmaterial auf Oxid-Basis verwendet, und das Keramikmaterial auf Oxid-Basis wurde partiell durch Zusatz von  $Y_2O_3$  in einer Menge von etwa 8% zu dem  $ZrO_2$  stabilisiert. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird ein Material verwendet, das durch Zusatz von  $Y_2O_3$  in einer Menge von etwa 8% zu dem  $ZrO_2$  hergestellt wurde. Zusätzlich zu dem  $Y_2O_3$  kann ein Material verwendet werden, das durch Zusatz von MgO, CaO oder  $CeO_2$  hergestellt wurde.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung können  $HfO_2$ ,  $ThO_2$  oder  $BeO$ , die einen Schmelzpunkt über dem von  $ZrO_2$  aufweisen, als Material der Wärmesperre-Keramikschicht an Stelle der Hauptkomponente  $ZrO_2$  verwendet werden. Ausserdem kann  $Al_2O_3$ , mit dem die Kosten reduziert werden können, verwendet werden.

In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist es durch Variieren der Dicke oder Porosität der Wärmesperre-Keramikschicht möglich, eine Hochtemperatur-Komponente zu erhalten, mit der es möglich ist, die Wärmebeständigkeit der Wärmesperre-Keramikschicht zu steuern.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist es durch Variieren der Dicke oder Porosität der Wärmesperre-Keramikschicht möglich, eine Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine zu erhalten, mit der bzw. bei der die charakteristischen Wärmesperre-Eigenschaften verbessert werden können.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird die Wärmesperre-Keramikschicht auf dem Metall-Basismaterial mittels eines thermischen Sprühverfahrens gebildet. In dem thermischen Sprühverfahren wird ein Rohpulver auf das Metall-Basismaterial mit hoher Geschwindigkeit aufgesprüht, sodass eine geeignete Porenbildung in der Wärmesperre-Keramikschicht erfolgen kann. Daher ist es möglich, die Zerbrechlichkeit der Wärmesperre-Keramikschicht zu verbessern.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist es in dem Fall der Ausbildung der Wärmesperre-Keramikschicht unter Verwendung des thermischen Sprühverfahrens möglich, durch Variieren der Zufuhrmenge des Rohpulvers, der Korngrösse des Rohpulvers, der Zufuhrgeschwindigkeit der Hitze-Sprühpistole, des Sprühwinkels der Hitze-Sprühpistole, der Sprühentfernung und der Sprühenergie die Abscheidegeschwindigkeit (und damit die Dicke der Keramik-

schicht) der Wärmesperre-Keramikschicht zu variieren. So können die Dicke oder die Porosität der Wärmesperre-Keramikschicht variiert werden. Mit anderen Worten: Diese Bedingungen werden gezielt in bestimmten Bereichen der Wärmesperre-Keramikschicht variiert, und dadurch ist es möglich, eine Wärmesperre-Keramikschicht zu bilden, die unterschiedliche Dicken und Porositäten in ihren verschiedenen Bereichen aufweist.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird die Wärmesperre-Keramikschicht auf der Oberfläche des Metall-Basismaterials unter Verwendung eines Verfahrens der physikalischen Abscheidung aus der Dampfphase gebildet. Nach dem Verfahren der physikalischen Abscheidung aus der Dampfphase wird die Wärmesperre-Keramikschicht, die auf der Oberfläche des Metall-Basismaterials abgeschieden wird, durch Kristallwachstum in Längsrichtung gebildet. Daher passiert es kaum, dass sich das Metall-Basismaterial und die Wärmesperre-Keramikschicht voneinander abschälen.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird in dem Fall der Bildung der Wärmesperre-Keramikschicht unter Verwendung des thermischen Sprühverfahrens oder des Verfahrens der physikalischen Abscheidung aus der Dampfphase ein Filmüberzug über eine Platte mit unterschiedlichem Raumverhältnis, beispielsweise einem Netz mit unterschiedlicher Maschenanordnung, gebildet. Dadurch ist es möglich, die Abscheidungs geschwindigkeit der Wärmesperre-Keramikschicht zu variieren. Mit anderen Worten: Das Raumverhältnis wird gezielt in Abhängigkeit von den Abschnitten variiert, und es wird möglich, eine Wärmesperre-Keramikschicht zu bilden, die eine variable Dicke und Porosität in Abhängigkeit von ihren Abschnitten aufweist.

Zusammengefasst ist es – wie von der Hochtemperatur-Komponente, der Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine und ihren Herstellungsverfahren gemäss der vorliegenden Erfindung offensichtlich – möglich, eine Hochtemperatur-Komponente zu erhalten, mit der es möglich ist, die charakteristischen Wärmesperre-Eigenschaften des Wärmesperre-Überzugs in Übereinstimmung mit der Umgebung zu steuern, der die Hochtemperatur-Komponente ausgesetzt ist. Insbesondere ist die erhaltene Hochtemperatur-Komponente anwendbar als Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine, die in einer bei hoher Temperatur befindlichen oxidativen und korrosiven Atmosphäre in einer Gasturbine zur Anwendung kommt, die in einer Verbrennungsgas-Atmosphäre verwendet wird. Daher ist es möglich, eine Hochtemperatur-Komponente für eine Gasturbine zu schaffen, die in Bezug auf ihre Wärmeverwertungs-Effizienz, die Lebensdauer und die Zuverlässigkeit der Gasturbine ausgezeichnet ist.

Die Natur und weitere charakteristische Merkmale der vorliegenden Erfindung werden noch klarer aus der folgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren.

In den Figuren zeigen:

Fig. 1 eine schematische Ansicht, die einen Querschnitt einer beweglichen Turbinenschaufel für eine Gasturbine zeigt, die mit einem Wärmesperre-Über-

zug gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung versehen wird;

Fig. 2 eine grafische Darstellung, die die Beziehung zwischen der Wärmebeständigkeit eines Wärmesperre-Überzugs und der Oberflächentemperatur des Basismaterials der beweglichen Gasturbinschaufel in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 3 eine grafische Darstellung, die die Beziehung zwischen der Porosität einer mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht und der Wärmeleitfähigkeit in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 4 eine grafische Darstellung, die den Einfluss des Verhältnisses der Zusammensetzung der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht auf die Wärmeleitfähigkeit in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 5 eine grafische Darstellung, die den Einfluss verschiedener Parameter des thermischen Sprühverfahrens auf die Abscheidungs geschwindigkeit des thermischen Sprühverfahrens in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 6 eine grafische Darstellung, die die Beziehung zwischen der Maschen-Rauheit eines Netzes und der Abscheidungs geschwindigkeit im thermischen Sprühverfahren in einer Ausführungsform gemäss der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 7 eine grafische Darstellung, die den Einfluss verschiedener Parameter des thermischen Sprühverfahrens auf die Porosität im Rahmen des thermischen Sprühverfahrens in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 8 eine grafische Darstellung, die die Beziehung zwischen der Maschen-Rauheit eines Netzes und der Abscheidungs geschwindigkeit im Rahmen eines Verfahrens der physikalischen Abscheidung aus der Dampfphase in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt; und

Fig. 9 eine schematische Ansicht, die einen Querschnitt einer stationären Gasturbinschaufel zeigt, die einem Schritt des beschichtungsmässigen Aufbringens mit einem Wärmesperre-Überzug gemäss einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unterworfen wird.

Die erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf Fig. 1 bis Fig. 8 beschrieben.

In dieser Ausführungsform werden eine umlaufende Gasturbinschaufel, die einem Schritt des beschichtungsmässigen Aufbringens eines Wärmesperre-Überzugs unterworfen wird, und ein Herstellungsverfahren behandelt,

Fig. 1 ist eine schematische Ansicht, die einen Querschnitt einer beweglichen Gasturbinschaufel als Hochtemperatur-Komponente zeigt, die einem Schritt des beschichtungsmässigen Aufbringens mit einem Wärmesperre-Überzug gemäss der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unterzogen wird.

Wie in Fig. 1 gezeigt, wird bei einer beweglichen Gasturbinschaufel 1 eine MCrAlY-Legierungsschicht 3 (worin M für Cr, Co oder Ni steht), die eine exzellente Korrosionsbeständigkeit und Oxidationsbe-

ständigkeit aufweist, auf einem Basismaterial für eine umlaufende Turbinenschaufel gebildet, das aus einer Superlegierung auf Ni-Basis, Co-Basis oder Fe-Basis hergestellt wurde, die ausgezeichnet in Bezug auf die Hochtemperatur-Festigkeit ist. Weiter wird eine mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 4, die eine niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweist und chemisch stabil ist, auf der MCrAlY-Legierungsschicht 3 gebildet. So besteht die Wärmesperre-Überzugschicht aus der MCrAlY-Legierungsschicht 3 und der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 4.

Bei der beweglichen Gasturbinenschaufel 1, wie sie in Fig. 1 gezeigt ist, ist jeder Wärmesperre-Überzug im Bereich der Umgebung der Vorderkante 5 und im Bereich der Umgebung der rückwärtigen Kante 6 (Abschnitte der Vorderkante und der rückwärtigen Kante und diese umgebende Bereiche) den Bedingungen einer stark belastenden Verbrennungsgas-Temperatur ausgesetzt. Aus diesem Grund haben die Wärmesperre-Überzüge an dieser Stelle eine Dicke von mehr als 0,1 mm und weniger als 1,0 mm, und die mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 4 wird an diesen Stellen dicker ausgebildet als die entsprechende Schicht an anderen Stellen. Ausserdem weisen mit dem Ziel, die Wärmesperre-Eigenschaften zu verbessern, diese Wärmesperre-Überzüge eine Porosität auf, die grösser ist als diejenige in anderen Bereichen. Mit anderen Worten: Die Porosität liegt hier in einem Bereich von 10% oder mehr bis 40% oder weniger. So wird der Unterschied der Oberflächentemperatur des Basismaterials der umlaufenden Turbinenschaufel 2 auf einen Wert innerhalb des Bereichs von 100°C festgesetzt.

Fig. 2 ist eine grafische Darstellung, die Beziehung zwischen der Wärmebeständigkeit des Wärmesperre-Überzugs und der Oberflächentemperatur des Basismaterials der beweglichen Gasturbinenschaufel zeigt.

Wie in Fig. 2 gezeigt ist, wird der Wert der Wärmebeständigkeit des Wärmesperre-Überzugs höher festgesetzt. Dadurch ist es möglich, die Oberflächentemperatur des Basismaterials der beweglichen Schaufel als festigkeitsbestimmendes Bauteil niedrig zu machen. Daher können die Wärmesperre-Eigenschaften verbessert werden. Andererseits ist es möglich, die Wärmebeständigkeit des Wärmesperre-Überzugs durch die Dicke des Wärmesperre-Überzugs oder die Wärmeleitfähigkeit von Materialien zu variieren, aus denen der Wärmesperre-Überzug besteht. Insbesondere ist die Wärmeleitfähigkeit des Materials eine physikalische Eigenschaft, die für dieses Material typisch ist. Es wird jedoch eine Pore, d.h. ein Hohlraum, gebildet, der eine hohe adiabatische Wirkung aufweist, und es ist dadurch möglich, den absoluten Wert der Wärmeleitfähigkeit zu variieren.

Fig. 3 ist eine grafische Darstellung, die die Beziehung zwischen der Porosität der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht und der Wärmeleitfähigkeit zeigt.

Wie in Fig. 3 gezeigt ist, ist es offensichtlich, dass die Porosität der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht in starkem Masse die Wärmeleitfähigkeit beeinträchtigt. Je höher die Porosität gemacht wird, desto niedriger wird die Wärmeleitfähigkeit.

Ausserdem wird die Materialzusammensetzung der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht variiert. Dadurch ist es möglich, den absoluten Wert der Wärmeleitfähigkeit zu variieren.

5 Fig. 4 ist eine grafische Darstellung, die die Beziehung zwischen dem Anteil von  $Y_2O_3$  in der Zusammensetzung und der Wärmeleitfähigkeit der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht zeigt.

10 Wie in Fig. 4 gezeigt ist, ist es offensichtlich, dass der Anteil an der Zusammensetzung der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht in starkem Masse die Wärmeleitfähigkeit beeinflusst. Je kleiner der Anteil des  $Y_2O_3$  an der Zusammensetzung gemacht wird, desto niedriger wird die Wärmeleitfähigkeit.

15 Als Nächstes folgt die Beschreibung eines Verfahrens zur Herstellung einer beweglichen Gasturbinenschaufel 1, auf die der Wärmesperre-Überzug aufgebracht wird.

20 Zuerst wird ein MCrAlY-Legierungspulver (M steht für Cr, Co oder Ni) in eine Hochtemperatur-Wärmequelle wie beispielsweise ein Plasma oder ein Verbrennungsgas eingeleitet. Danach werden die geschmolzenen MCrAlY-Legierungsteilchen auf eine umlaufende Turbinenschaufel aus einer Superlegierung auf Ni-Basis, Co-Basis oder Fe-Basis gesprüht, die ausgezeichnet in Bezug auf eine Hochtemperatur-Festigkeit ist. Dies geschieht mit hoher Geschwindigkeit, und so wird eine MCrAlY-Legierungsschicht 3 gebildet.

30 Danach wird das mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Pulver in die Hochtemperatur-Wärmequelle wie beispielsweise ein Plasma oder ein Verbrennungsgas eingeleitet. Danach werden die geschmolzenen Teilchen aus einem mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$  auf die MCrAlY-Legierungsschicht 3 mit hoher Geschwindigkeit aufgesprüht. So wird die mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 4 gebildet.

40 In dem Fall der Bildung der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 4 des Wärmesperre-Überzugs 5 auf der Vorderkante und des Wärmesperre-Überzugs 6 auf der rückwärtigen Kante haben diese Überzüge eine Dicke und Porosität, die grösser sind als die entsprechenden Parameter in anderen Abschnitten. Dies wird erreicht durch Variieren der Parameter des thermischen Sprühverfahrens wie beispielsweise der Zufuhrmenge des Rohpulvers, dessen Korngrösse, der Zufuhrgeschwindigkeit der Hitze-Sprühpistole, des Sprühwinkels der Hitze-Sprühpistole, der Sprühentfernung, der Sprühenergie beim Hitze-Sprühen oder dergleichen. So werden die Wärmesperre-Eigenschaften relativ verbessert.

50 Was die Abscheidengeschwindigkeit betrifft, tritt das durch Hitze-Sprühen aufgebrauchte Material durch das Netz, das eine unterschiedliche Maschenanordnung aufweist, hindurch, das eine plattenähnliche Struktur aufweist, die unterschiedliche Raumverhältnisse hat, Danach wird die mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 4 gebildet.

60 Noch spezieller liegt die Menge des Rohpulvers im Bereich von 1 bis 30  $cm^3/min$ , liegt die Korngrösse des Rohpulvers im Bereich von 1 bis 200  $\mu m$ , liegt die Zufuhrgeschwindigkeit der Hitze-Sprühpistole im Bereich von 100 bis 1000 mm/s, liegt der Winkel der Hitze-Sprühpistole im Bereich zwischen 30  
65

und 90°, liegt die Sprühentfernung im Bereich von 50 bis 300 mm und liegt die Sprühenergie des thermischen Sprühverfahrens im Bereich von 20 bis 100 kW.

Fig. 5 ist eine grafische Darstellung, die den Einfluss verschiedener Parameter des thermischen Sprühverfahrens auf die Abscheidegeschwindigkeit im Fall der Bildung der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht bei Anwendung des thermischen Sprühverfahrens zeigt.

Wie in Fig. 5 gezeigt ist, ist es durch Variieren verschiedener Parameter des thermischen Sprühverfahrens, wie z.B. der Menge A des Rohpulvers des mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ , der Zufuhrgeschwindigkeit B der Hitze-Sprühpistole, des Winkels C der Hitze-Sprühpistole, der Sprühentfernung D, der Hitze-Sprühenergie E, möglich, in starkem Masse die Abscheidegeschwindigkeit zu variieren. Üblicherweise werden die Parameter des thermischen Sprühverfahrens mit dem Ziel festgesetzt, zu verhindern, dass sich das Basismaterial für die bewegbare Turbinenschaufel von dem Wärmesperre-Überzug abschält, und noch spezieller werden verschiedene Parameter auf einen Wert festgesetzt, wie er durch die durchbrochene Linie a in Fig. 5 gezeigt wird.

Im Fall des Aufsprühens des Wärmesperre-Überzugs auf die bewegliche Gasturbinenschaufel 1 wird es durch Variieren der Parameter des thermischen Sprühverfahrens möglich, die Abscheidegeschwindigkeit zu steuern, die der Dicke der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht entspricht, die pro Durchlauf gebildet wird. So ist es selbst in dem Fall, in dem das thermische Sprühverfahren mit derselben Zahl von Durchläufen wiederholt wird, möglich, die mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht so auszubilden, dass sie eine vorbestimmte Dickenverteilung aufweist. Mit anderen Worten: Die Parameter des thermischen Sprühverfahrens werden in Abstimmung auf den zu sprühenden Abschnitt gesteuert, und dadurch schwankt die Abscheidegeschwindigkeit. Als Ergebnis ist es möglich, die bewegliche Gasturbinenschaufel 1 so herzustellen, dass sie eine dickere, mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht im Bereich der Umgebung 5 der Vorderkante und im Bereich der Umgebung 6 der rückwärtigen Kante aufweist. In diesem Fall liegt vorzugsweise die Dicke der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht im Bereich der Umgebung 5 der Vorderkante und im Bereich der Umgebung 6 der rückwärtigen Kante im Bereich von 0,1 mm oder mehr bis 1,0 mm oder weniger, was eine Beschränkung im Zusammenhang mit der Herstellung und im Zusammenhang mit der Haltbarkeit mit sich bringt.

Fig. 6 ist eine grafische Darstellung, die die Beziehung zwischen der Maschen-Rauheit des Netzes und der Abscheidegeschwindigkeit im Fall der Bildung der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten ZrCV-Schicht auf dem Basismaterial der bewegbaren Schaufel durch das thermische Sprühverfahren zeigt.

Wie in Fig. 6 gezeigt ist, wird die Maschen-Rauheit des Netzes rau gemacht, und dadurch wird die Abscheidegeschwindigkeit, die der Dicke der gebildeten, mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 4 pro Zeiteinheit entspricht, hoch. Aus diesem Grund wird im Fall des Aufsprühens des Wärmesperre-Überzugs

auf die bewegliche Gasturbinenschaufel 1 die Maschen-Rauheit des Netzes variiert. Dadurch ist es möglich, die Abscheidegeschwindigkeit der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 4 zu steuern. So ist es selbst in dem Fall, in dem der Hitze-Sprühvorgang mit derselben Anzahl von Durchläufen wiederholt wird, möglich, die mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 4 so auszubilden, dass sie eine vorbestimmte Dickenverteilung aufweist. Mit anderen Worten: Die Maschen-Rauheit des Netzes wird in Abstimmung mit dem zu besprühenden Abschnitt variiert. Dadurch schwankt die Abscheidegeschwindigkeit. Als Ergebnis ist es möglich, eine bewegliche Gasturbinenschaufel 1 so herzustellen, dass sie eine dickere, mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 4 im Bereich der Umgebung 5 der Vorderkante und im Bereich der Umgebung 6 der rückwärtigen Kante aufweist.

Fig. 7 ist eine grafische Darstellung, die den Einfluss verschiedener Parameter des thermischen Sprühverfahrens auf die Porosität im Fall der Bildung der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 4 mittels des thermischen Sprühverfahrens zeigt.

Wie in Fig. 7 gezeigt ist, ist es durch Variieren verschiedener Parameter des thermischen Sprühverfahrens wie beispielsweise der Menge A des Rohpulvers des mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ , der Zufuhrgeschwindigkeit B der Hitze-Sprühpistole, der Pulverkorngrösse F, des Winkels C der Hitze-Sprühpistole und der Sprühentfernung D möglich, in starkem Masse die Porosität der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht zu variieren. Im Fall des Aufsprühens eines Wärmesperre-Überzugs auf die bewegliche Gasturbinenschaufel 1 ist es durch Variieren der Parameter des thermischen Sprühverfahrens möglich, die Porosität der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht zu steuern. So ist es möglich, die mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht so auszubilden, dass sie in Abhängigkeit von den verschiedenen Teilabschnitten eine unterschiedliche Porosität aufweist. Mit anderen Worten: Die Parameter des thermischen Sprühverfahrens werden in Abstimmung mit dem zu besprühenden Abschnitt gesteuert. Dadurch schwankt die Porosität. Als Ergebnis ist es möglich, die bewegliche Gasturbinenschaufel 1 in der Weise herzustellen, dass sie verbesserte Wärmesperre-Eigenschaften dadurch aufweist, dass man die Porosität der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht im Bereich der Umgebung 5 der Vorderkante und im Bereich der Umgebung 6 der rückwärtigen Kante hoch macht. In diesem Fall liegt die Porosität vorzugsweise im Bereich von 10% oder mehr bis 40% oder weniger, da die Festigkeit in dem Fall zurückgeht, in dem der Porositätswert hoch gemacht wird.

Ausserdem kann im Fall der Bildung der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 4 auf der MCrAlY-Legierungsschicht 3 (worin M für Cr, Co oder Ni steht) der umlaufenden Gasturbinenschaufel 1 ein Verfahren der physikalischen Abscheidung aus der Dampfphase verwendet werden, bei dem ein aus mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisiertem  $ZrO_2$  hergestelltes Target mittels einer Hochtemperatur-Quelle wie beispielsweise eines Elektronenstrahls erhitzt und verdampft wird und der so erhaltene Dampf (verdampftes Material) abgeschieden wird.

Fig. 8 ist eine grafische Darstellung, die die Beziehung zwischen der Maschen-Rauheit des Netzes und der Abscheidegeschwindigkeit in dem Fall der Bildung der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht durch die Maschen des Netzes mittels des Verfahrens der physikalischen Abscheidung aus der Dampfphase zeigt.

Wie in Fig. 8 gezeigt ist, wird die Maschen-Rauheit bzw. -Unebenheit des Netzes rau gemacht. Dadurch wird die Abscheidegeschwindigkeit hoch. Aus diesem Grund wird im Fall des Aufsprühens des Wärmesperre-Überzugs auf die bewegliche Gasturbinenschaufel 1 die Maschen-Rauheit bzw. -Unebenheit des Netzes variiert, und dadurch ist es möglich, die Geschwindigkeit der Abscheidung der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 4 zu steuern. So ist es möglich, die mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 4 so auszubilden, dass sie eine vorbestimmte Dickenverteilung aufweist. Mit anderen Worten: Wenn das Verfahren der physikalischen Abscheidung aus der Dampfphase in dem Zustand durchgeführt wird, dass vorher die bewegliche Gasturbinenschaufel mit dem Netz überzogen wird, das eine unterschiedliche Maschenanordnung aufweist, ist die Abscheidegeschwindigkeit in Abhängigkeit von den Stellen der Schaufel unterschiedlich. Als Ergebnis ist es möglich, eine bewegliche Gasturbinenschaufel 1 herzustellen, die eine grössere Dicke der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht im Bereich der Umgebung 5 der Vorderkante und im Bereich der Umgebung 6 der rückwärtigen Kante aufweist.

Der folgende Sachverhalt ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung offensichtlich: Es ist möglich, in einfacher Weise die Eigenschaften der Wärmesperre-Schicht dadurch zu steuern, dass man die Wärmebeständigkeit des Wärmesperre-Überzugs auf der beweglichen Gasturbinenschaufel variiert. So wird die Wärmebeständigkeit des Wärmesperre-Überzugs in Übereinstimmung mit dem Zustand des Verbrennungsgases gesteuert, dem die bewegliche Gasturbinenschaufel ausgesetzt ist, wodurch die Oberflächentemperatur des Basismaterials der beweglichen Schaufel einheitlich gemacht wird. Noch spezieller wird in dem Fall, in dem man die Umgebung der Vorderkante und die Umgebung der rückwärtigen Kante der Schaufel, die relativ strengen Verbrennungsgas-Bedingungen ausgesetzt sind, mit einem Wärmesperre-Überzug versieht, die Wärmebeständigkeit des Wärmesperre-Überzugs relativ hoch gemacht, verglichen mit den anderen Abschnitten, wodurch die Oberflächentemperatur des Basismaterials der beweglichen Schaufel einheitlich gemacht wird. Dann ist es möglich, die Wärmebeständigkeit des Wärmesperre-Überzugs dadurch hoch zu machen, dass man eine grosse Dicke der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht wählt, dass man deren Porosität hoch macht und dass man den Wert des Verhältnisses der Zusammensetzung klein macht.

Insbesondere weist gemäss der vorliegenden Erfindung der Wärmesperre-Überzug in der Umgebung der Vorderkante und in der Umgebung der rückwärtigen Kante, die einem Verbrennungsgas unter erschwerten Temperaturbedingungen ausgesetzt sind, verbesserte thermische Eigenschaften auf, sodass

die Oberflächentemperatur des Basismaterials der beweglichen Schaufel einheitlich gemacht werden kann. So besteht bei dem Ziel, die Wärmesperre-Eigenschaften in Übereinstimmung mit dem Temperaturzustand zu steuern, dem die bewegliche Gasturbinenschaufel ausgesetzt ist, keine Notwendigkeit zur Durchführung eines unnötigen Abkühltrittes. Als Ergebnis ist es möglich, die absolute Menge des Kühlmediums zu verringern und damit die Effizienz der Gasturbine zu verbessern.

Weiter werden die Wärmesperre-Eigenschaften in Übereinstimmung mit dem Temperaturzustand gesteuert, dem die bewegliche Gasturbinenschaufel ausgesetzt ist. Dadurch ist es möglich, die Oberflächentemperatur des Basismaterials der beweglichen Schaufel in den Bereichen zu verringern, die einem bei schädlichen Temperaturbedingungen befindlichen Verbrennungsgas ausgesetzt sind, den Temperaturgradienten in Dickenrichtung des Basismaterials der beweglichen Turbinenschaufel zu verringern und die thermische Belastung des Basismaterials der beweglichen Turbinenschaufel zu verringern. Als Ergebnis kann die Lebensdauer der Gasturbine verlängert werden.

Darüber hinaus werden die Wärmesperre-Eigenschaften in Übereinstimmung mit der Temperatur gesteuert, der die umlaufende Gasturbinenschaufel ausgesetzt ist. Daher ist es möglich, das Auftreten von lokal bei hoher Temperatur befindlichen hot Spots, wie sie beispielsweise von einem Verbrennungsgas und einem Kühlgas erzeugt werden, zu verringern. Als Ergebnis ist es möglich, eine plötzliche Oxidation der MCrAlY-Schicht und des Basismaterials zu verhindern, was ein Abschälen des Wärmesperre-Überzugs hervorruft, und das Auftreten starker thermischer Belastung zu verringern.

Neben dem mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$  können weitere Materialien wie beispielsweise  $Al_2O_3$ ,  $HfO_2$ ,  $ThO_2$  und  $BeO$  als Keramikmaterialien auf Oxid-Basis genannt werden, die chemisch stabil sind, eine niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweisen und damit wirksam sind als Wärmesperre-Überzugsmaterial. Die Wärmeleitfähigkeit ist eine physikalische Eigenschaft, die dem Material eigen ist. Aus diesem Grund ist die Wärmeleitfähigkeit der Keramikmaterialien auf Oxid-Basis in starkem Masse unterschiedlich. Daher wird das Material zum Hitzesprühen in Abstimmung mit den durch Hitzesprühen aufgetragenen Abschnitten ausgewählt bzw. gesteuert. Als Ergebnis ist es möglich, eine bewegliche Gasturbinenschaufel herzustellen, die mit dem Wärmesperre-Überzug versehen ist, der verbesserte Wärmesperre-Eigenschaften in dem die Vorderkante umgebenden Bereich und in dem die rückwärtige Kante umgebenden Bereich aufweist.

Fig. 9 gibt eine zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wieder. Darin wird eine stationäre Gasturbinenschaufel beschrieben, die mit einem Wärmesperre-Überzug versehen ist. Es wird auch ein Verfahren zur Herstellung einer solchen stationären Gasturbinenschaufel beschrieben.

Fig. 9 ist eine schematische Ansicht, die einen Querschnitt durch eine stationäre Gasturbinenschaufel zeigt, die mit einem Wärmesperre-Überzug gemäss der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung versehen ist.

Wie in Fig. 9 gezeigt ist, wird bei einer stationären Gasturbinenschaufel 7 eine MCrAlY-Legierungsschicht 9 (M steht für Cr, Co oder Ni), die eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit und Oxidationsbeständigkeit aufweist, auf einem Basismaterial 8 für eine stationäre Gasturbinenschaufel gebildet, das aus einer Superlegierung auf Ni-Basis, Co-Basis oder Fe-Basis besteht, die eine ausgezeichnete Festigkeit bei hoher Temperatur aufweist. Ausserdem wird eine mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 10, die eine niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweist und chemisch stabil ist, auf der MCrAlY-Legierungsschicht 9 gebildet. Auf diese Weise besteht der Wärmesperre-Überzug aus der MCrAlY-Legierungsschicht 9 und der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 10.

Bei der stationären Gasturbinenschaufel 7, wie sie in Fig. 9 gezeigt ist, ist insbesondere jeder der Wärmesperre-Überzüge auf der Rückseite 11 und auf der Vorderseite (Bauchseite) 12 relativ stark einem unter Bedingungen einer hohen Temperatur befindlichen Verbrennungsgas ausgesetzt. Aus diesem Grund haben diese Wärmesperre-Überzüge eine Dicke von mehr als 0,1 mm und weniger als 1,0 mm, und in diesem Bereich ist die mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 4 dicker ausgebildet als in den anderen Bereichen. Ausserdem haben zur Verbesserung der Wärmesperre-Eigenschaften diese Wärmesperre-Überzüge eine Porosität, die höher ist als diejenige in anderen Bereichen, d.h. eine Porosität, die im Bereich von 10% oder mehr bis 40% oder weniger liegt. So wird der Unterschied der Oberflächentemperatur des Basismaterials 8 der stationären Schaufel auf einen Wert innerhalb eines Bereichs von 100°C festgesetzt.

Nachfolgend wird ein Verfahren zur Herstellung der stationären Gasturbinenschaufel 7 gemäss der obigen Ausführungsform beschrieben, auf die der Wärmesperre-Überzug aufgebracht wird.

Zuerst wird ein MCrAlY-Legierungspulver (M steht für Cr, Co oder Ni) in eine Hochtemperatur-Wärmequelle wie beispielsweise ein Plasma oder ein Verbrennungsgas eingeführt. Anschliessend werden die geschmolzenen MCrAlY-Legierungsteilchen auf eine stationäre Turbinenschaufel 8 aus einer Superlegierung auf Ni-Basis, Co-Basis oder Fe-Basis aufgesprüht, die eine ausgezeichnete Hochtemperatur-Festigkeit aufweist. Dies geschieht mit hoher Geschwindigkeit. So wird eine MCrAlY-Legierungsschicht 9 gebildet.

Danach wird das Pulver des mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$  in die Hochtemperatur-Wärmequelle wie beispielsweise ein Plasma oder ein Verbrennungsgas eingeleitet. Danach werden die Teilchen von geschmolzenem, mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisiertem  $ZrO_2$  auf die MCrAlY-Legierungsschicht 9 mit hoher Geschwindigkeit aufgesprüht. So wird die mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 10 gebildet. Im Fall der Bildung des Wärmesperre-Überzugs in Form der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 4 auf der Rückseite 11 und der Vorderseite (Bauchseite) 12 der Turbinenschaufel weisen diese Überzüge eine Dicke und Porosität auf, die grösser ist als die entsprechenden Werte der anderen Bereiche, die nicht strengen Bedingungen hoher Temperatur ausgesetzt

sind. Dies geschieht durch Variieren der Parameter des thermischen Sprühverfahrens wie beispielsweise der Zufuhrmenge des Rohpulvers, der Korngrösse des Rohpulvers, der Zufuhrgeschwindigkeit der Hitze-Sprühpistole, des Winkels der Hitze-Sprühpistole, der Sprühentfernung, der Energie des Sprühvorgangs und dergleichen. So werden die Wärmesperre-Eigenschaften relativ verbessert. Was die Abscheidegeschwindigkeit entsprechend der Dicke der aufgesprühten Abschnitte angeht, tritt das durch thermisches Sprühen aufgebrauchte Material durch das unterschiedliche Maschenweite aufweisende Netz hindurch, das eine plattenartige Struktur mit unterschiedlicher räumlicher Anordnung ist. Dann wird die mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 10 gebildet.

Genauer gesagt liegt die Menge des Rohpulvers im Bereich von 1 bis 30  $cm^3/min$ , liegt die Korngrösse des Rohpulvers im Bereich von 1 bis 200  $\mu m$ , liegt die Zufuhrgeschwindigkeit der Hitze-Sprühpistole im Bereich von 100 bis 1000 mm/s, liegt der Winkel der Hitze-Sprühpistole im Bereich von 30 bis 90°, liegt die Sprühentfernung im Bereich von 5 bis 300 mm und liegt die Energie des Sprühvorgangs im Bereich von 20 bis 100 kW.

Im Fall der Herstellung der stationären Gasturbinenschaufel 7 ist es wie im Fall der oben beschriebenen beweglichen Gasturbinenschaufel 1 – wie in Fig. 5 gezeigt – durch Variieren verschiedener Parameter des thermischen Sprühverfahrens wie beispielsweise der Menge A des Rohpulvers des mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ , der Zufuhrgeschwindigkeit der Hitze-Sprühpistole, des Winkels der Hitze-Sprühpistole, der Sprühentfernung, der Energie des Sprühvorgangs, möglich, in starkem Masse die Abscheidegeschwindigkeit zu variieren. Daher ist es im Fall des Aufsprühens des Wärmesperre-Überzugs auf die stationäre Gasturbinenschaufel 7 durch Variieren der Parameter des thermischen Sprühverfahrens möglich, die Abscheidegeschwindigkeit zu steuern, die der Dicke der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 10 entspricht, die pro Durchgang gebildet wird. So ist es selbst in dem Fall, in dem das thermische Sprühverfahren mit derselben Anzahl von Durchgängen wiederholt wird, möglich, die mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht so auszubilden, dass sie eine vorbestimmte Dickenverteilung aufweist. Mit anderen Worten: Die Parameter des thermischen Sprühverfahrens werden in Abstimmung mit dem zu besprühenden Abschnitt gesteuert, und die Abscheidegeschwindigkeit schwankt. Als Ergebnis dessen ist es möglich, eine stationäre Gasturbinenschaufel 7 herzustellen, die eine dickere, mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht auf der Rückseite 11 aufweist, verglichen mit der Vorderseite (Bauchseite) 12.

Wie in Fig. 6 gezeigt, wird die Maschen-Rauheit des Netzes mittels des thermischen Sprühverfahrens rau gemacht. Dadurch ist es möglich, die Abscheidegeschwindigkeit zu variieren. Daher wird im Fall des Aufsprühens des Wärmesperre-Überzugs auf die stationäre Gasturbinenschaufel 7 die Maschen-Rauheit bzw. -Unebenheit des Netzes variiert. Dadurch ist es möglich, die Abscheidegeschwindigkeit der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 10 zu steuern. So ist es selbst in dem Fall, in dem der Hitze-Sprühvor-

gang mit derselben Anzahl von Durchgängen wiederholt wird, möglich, die mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 10 so auszubilden, dass sie eine vorbestimmte Dickenverteilung aufweist. Mit anderen Worten: Die Maschen-Rauheit bzw. -Unebenheit des Netzes wird in Abstimmung mit dem zu besprühenden Abschnitt variiert, und damit wird auch die Abscheidegeschwindigkeit variiert. Als Ergebnis ist es möglich, eine stationäre Gasturbinenschaufel 7 herzustellen, die eine dickere, mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 10 auf der Rückseite 11 aufweist, verglichen mit der Vorderseite (Bauchseite) 12.

Wie in Fig. 7 gezeigt, ist es durch Variieren verschiedener Parameter des thermischen Sprühverfahrens wie beispielsweise der Menge des Rohpulvers des mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ , der Pulverkorngrosse, der Zufuhrgeschwindigkeit der Hitze-Sprühpistole, des Winkels der Hitze-Sprühpistole und der Sprühentfernung und Sprühenergie möglich, in weitem Umfang die Porosität der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht zu variieren. Im Fall des Aufsprühens des Wärmesperre-Überzugs auf die stationäre Gasturbinenschaufel 7 ist es durch Variieren der Parameter des thermischen Sprühverfahrens möglich, die Porosität der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 10 zu steuern. So wird es möglich, die mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 10 so auszubilden, dass sie eine unterschiedliche Porosität in den aufzusprühenden Abschnitten aufweist. Mit anderen Worten: Die Parameter des thermischen Sprühverfahrens werden in Abstimmung mit dem zu besprühenden Abschnitt gesteuert. Dadurch schwankt die Porosität. Als Ergebnis ist es möglich, die stationäre Gasturbinenschaufel 7 so herzustellen, dass sie verbesserte Wärmesperre-Eigenschaften aufweist, indem man die Porosität der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 10 auf der Rückseite 11 hoch macht, verglichen mit der Vorderseite (Bauchseite) 12.

Wie in Fig. 8 gezeigt ist, wird die Maschen-Rauheit bzw. -Unebenheit des Netzes mittels des Verfahrens der physikalischen Abscheidung aus der Dampfphase rau gemacht, wodurch in weitem Bereich die Abscheidegeschwindigkeit variiert wird. Daher wird im Fall des Aufsprühens des Wärmesperre-Überzugs auf die stationäre Gasturbinenschaufel 7 die Maschen-Rauheit des Netzes variiert, und dadurch kann die Abscheidegeschwindigkeit der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 10 gesteuert werden. So ist es möglich, die mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 10 durch das Verfahren der physikalischen Abscheidung aus der Dampfphase so auszubilden, dass sie eine vorbestimmte Dickenverteilung aufweist. Mit anderen Worten: Wenn die physikalische Abscheidung aus der Dampfphase in einer solchen Situation durchgeführt wird, dass vorher die stationäre Gasturbinenschaufel mit dem Netz mit unterschiedlicher Maschenanordnung überzogen wurde, ist die Abscheidegeschwindigkeit an den zu besprühenden Teilen unterschiedlich. Als Ergebnis dessen ist es möglich, eine stationäre Gasturbinenschaufel 7 herzustellen, die eine dickere, mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierte  $ZrO_2$ -Schicht 10 auf der Rückseite 11 aufweist, verglichen mit der Vorderseite (Bauchseite) 12.

Bei der stationären Gasturbinenschaufel 7 gemäss

der vorliegenden Erfindung ist es möglich, in einfacher Weise die Wärmesperre-Eigenschaften dadurch zu steuern, dass man die Wärmebeständigkeit des Wärmesperre-Überzugs variiert. So wird die Wärmebeständigkeit des Wärmesperre-Überzugs in Abstimmung mit den Temperaturbedingungen des Verbrennungsgases gesteuert, denen die stationäre Gasturbinenschaufel ausgesetzt ist, wodurch die Oberflächentemperatur des Basismaterials 8 der stationären Schaufel einheitlich gemacht wird. Noch spezieller wird die Wärmebeständigkeit des Wärmesperre-Überzugs auf der Rückseite 11, die strengen Temperaturbedingungen des Verbrennungsgases ausgesetzt ist, höher gemacht als die des Wärmesperre-Überzugs auf der Vorderseite (Bauchseite) 12, wodurch die Oberflächentemperatur des Basismaterials 8 der stationären Schaufel einheitlich gemacht wird. Dann ist es möglich, die Wärmebeständigkeit des Wärmesperre-Überzugs dadurch hoch zu machen, dass man die Dicke der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 10 hoch macht, die Porosität der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht 10 hoch macht und den Wert des Verhältnisses der Zusammensetzung der mit  $Y_2O_3$  partiell stabilisierten  $ZrO_2$ -Schicht klein macht.

Weiter weist gemäss der vorliegenden Erfindung der Wärmesperre-Überzug auf der Rückseite 11, der strengen Temperaturbedingungen des Verbrennungsgases ausgesetzt ist, verbesserte thermische Eigenschaften auf, sodass die Oberflächentemperatur des Basismaterials 8 der stationären Schaufel einheitlich gemacht werden kann. So besteht bei dem Ziel, die Wärmesperre-Eigenschaften in Abstimmung mit den Temperaturbedingungen zu steuern, denen die umlaufende bzw. die stationäre Gasturbinenschaufel ausgesetzt ist, keine Notwendigkeit, einen erforderlichen Schritt des Kühlens durchzuführen. Als Ergebnis dessen ist es möglich, die absolute Menge des Kühlmediums zu reduzieren und die Effizienz der Gasturbine zu verbessern.

Weiter werden die Wärmesperre-Eigenschaften in Abstimmung mit den Temperaturbedingungen gesteuert, denen die bewegliche bzw. stationäre Gasturbinenschaufel ausgesetzt ist. Daher ist es möglich, die Oberflächentemperatur des Basismaterials 8 der stationären Schaufel in den Abschnitten zu reduzieren, die strengen Temperaturbedingungen des Verbrennungsgases ausgesetzt sind, den Temperaturgradienten in Dickenrichtung des Basismaterials 8 der stationären Turbinenschaufel zu verringern und die Wärmebelastung des Basismaterials 8 der stationären Turbinenschaufel zu verringern. Als Ergebnis dessen kann die Lebensdauer der Gasturbine verlängert werden.

Ferner werden die Wärmesperre-Eigenschaften in Abstimmung mit den Temperaturbedingungen gesteuert, denen die stationäre Gasturbinenschaufel ausgesetzt ist. Daher ist es möglich, das Auftreten von hot spots zu reduzieren. Als Ergebnis dessen ist es möglich, eine plötzliche Oxidation der MCrAlY-Schicht 9 und des Basismaterials 8 der stationären Schaufel zu verringern, die ein Abschälen des Wärmesperre-Überzugs hervorruft, und die Ausbildung von grosser thermischer Spannung zu verringern.

In den obigen Ausführungsformen wurden die Fäl-

le erklärt, in denen die bewegliche Gasturbinenschaufel 1 und die stationäre Gasturbinenschaufel 7 mit dem Wärmesperre-Überzug versehen werden. Die vorliegende Erfindung ist auch anwendbar auf andere Hochtemperatur-Komponenten wie beispielsweise die Aussenwände eines Strahltriebwerks oder einer Rakete, die einer bei hoher Temperatur befindlichen Umgebung ausgesetzt sind.

#### Patentansprüche

1. Hochtemperatur-Komponente, umfassend  
– ein Basismaterial; und  
– einen Wärmesperre-Überzug, der auf eine Oberfläche des Basismaterials aufgebracht ist und eine Wärmesperre-Keramikschicht umfasst;  
wobei die Dicke und/oder die Porosität der Wärmesperre-Keramikschicht auf verschiedenen Abschnitten des Basismaterials variieren/variiert.

2. Hochtemperatur-Komponente nach Anspruch 1, bei der das Basismaterial ein Metall-Basismaterial aus einer hitzebeständigen Legierung ist, die im Wesentlichen aus wenigstens einem Material auf Ni-Basis, einem Material auf Co-Basis und einem Material auf Fe-Basis besteht.

3. Hochtemperatur-Komponente nach Anspruch 2, die eine bewegliche Gasturbinenschaufel oder eine stationäre Gasturbinenschaufel ist.

4. Hochtemperatur-Komponente nach Anspruch 3, bei der wenigstens eine Wärmesperre-Keramikschicht, die auf einem Vorderkanten-Abschnitt oder einem rückwärtigen Kanten-Abschnitt der beweglichen Schaufel oder der stationären Schaufel ausgebildet ist, die eine relativ hohe Temperatur aufweisen, eine Dicke aufweist, die grösser ist als diejenige eines anderen Abschnitts der Schaufel.

5. Hochtemperatur-Komponente nach Anspruch 4, bei der die Wärmesperre-Keramikschicht in einem dickeren Abschnitt eine Dicke im Bereich von 0,1 mm oder mehr bis 1,0 mm oder weniger aufweist und in einem dünneren Abschnitt eine Dicke im Bereich von 0 mm oder mehr bis 0,5 mm oder weniger aufweist, und die Dicke im dünneren Abschnitt der Wärmesperre-Keramikschicht geringer ist als diejenige im dickeren Abschnitt der Wärmesperre-Keramikschicht.

6. Hochtemperatur-Komponente nach Anspruch 3, bei der die Wärmesperre-Keramikschicht, die auf einer Rückseite der beweglichen Schaufel oder der stationären Schaufel gebildet ist, die eine relativ hohe Temperatur aufweisen, eine Dicke aufweist, die grösser ist als die Dicke der Wärmesperre-Keramikschicht, die auf der Vorderseite (Bauchseite) der Schaufel gebildet ist, die eine relativ niedrige Temperatur aufweist.

7. Hochtemperatur-Komponente nach Anspruch 6, bei der die Wärmesperre-Keramikschicht in ihrem dickeren Abschnitt eine Dicke aufweist, die im Bereich von 0,1 mm oder mehr bis 1,0 mm oder weniger liegt, und in ihrem dünneren Abschnitt eine Dicke aufweist, die im Bereich von 0 mm oder mehr bis 0,5 mm oder weniger liegt, und die Dicke des dünneren Abschnitts der Wärmesperre-Keramikschicht geringer ist als die Dicke des dickeren Abschnitts der Wärmesperre-Keramikschicht.

8. Hochtemperatur-Komponente nach Anspruch 3,

bei der wenigstens ein Abschnitt der Wärmesperre-Keramikschicht, der in dem die Vorderkante umgebenden Bereich oder in dem die rückwärtige Kante umgebenden Bereich der beweglichen Schaufel oder der stationären Schaufel ausgebildet ist und eine relativ hohe Temperatur aufweist, eine Porosität aufweist, die grösser ist als diejenige eines anderen Abschnitts der Schaufel.

9. Hochtemperatur-Komponente nach Anspruch 3, bei der die Porosität auf der Rückseite der beweglichen oder der stationären Schaufel, die eine relativ hohe Temperatur aufweist, grösser ist als die der Vorderseite (Bauchseite).

10. Hochtemperatur-Komponente nach Anspruch 8 oder 9, bei der die Porosität der Wärmesperre-Keramikschicht in den Abschnitten höherer Porosität im Bereich von 10% oder mehr bis 40% oder weniger liegt, und die Porosität in den Abschnitten niedrigerer Porosität im Bereich von 2% oder mehr bis 20% oder weniger liegt.

11. Hochtemperatur-Komponente nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei der ein Keramikmaterial auf Oxid-Basis als Material der Wärmesperre-Keramikschicht verwendet wird und das Keramikmaterial auf Oxid-Basis im Wesentlichen  $ZrO_2$  und wenigstens eines oder mehrere der Additive  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Y_2O_3$  oder  $CeO_2$  umfasst.

12. Hochtemperatur-Komponente nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei der ein Keramikmaterial auf Oxid-Basis als Material der Wärmesperre-Keramikschicht verwendet wird und das Keramikmaterial auf Oxid-Basis im Wesentlichen wenigstens eine der Verbindungen  $Al_2O_3$ ,  $HfO_2$ ,  $ThO_2$  oder  $BeO$  umfasst.

13. Verfahren zur Herstellung einer Hochtemperatur-Komponente, umfassend die Schritte:

– Herstellen eines Basismaterials; und  
– Aufbringen eines Wärmesperre-Überzugs, der eine Wärmesperre-Keramikschicht umfasst, auf eine Oberfläche des Basismaterials, wobei wenigstens ein Parameter aus der Gruppe Dicke und Porosität der Wärmesperre-Keramikschicht auf verschiedenen Abschnitten des Basismaterials variiert wird,

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem das Basismaterial ein Metall-Basismaterial ist, das aus einer hitzebeständigen Legierung hergestellt ist, die im Wesentlichen wenigstens ein Material aus der Gruppe Material auf Ni-Basis, Material auf Co-Basis und Material auf Fe-Basis umfasst.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, bei dem die Wärmesperre-Keramikschicht durch Aufsprühen, eines Rohpulvers eines Wärmesperre-Keramikmaterials mit hoher Geschwindigkeit unter Verwendung einer Hitze-Sprühpistole gebildet wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem die Wärmesperre-Keramikschicht im geschmolzenen Zustand durch Anwendung eines Plasmas aufgesprüht wird.

17. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem die Zufuhrmenge an Rohpulver, die Korngrösse des Rohpulvers, die Zufuhrgeschwindigkeit der Hitze-Sprühpistole, der Winkel der Hitze-Sprühpistole, die Sprühentfernung und die Sprühenergie optimiert werden und die Abscheidegeschwindigkeit, die die ausgebildete Beschichtungsdicke pro Durchgang ist, so variiert wird, dass die Dicke und die Porosität der Wär-

mesperre-Keramikschrift in Abhängigkeit von den zu besprühenden Abschnitten variiert wird.

18. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem ein Target-Material mittels eines Elektronenstrahls erhitzt und verdampft wird, der so erhaltene Dampf auf der Oberfläche des Metall-Basismaterials abgeschieden und so die Wärmesperre-Keramikschrift gebildet wird.

5

19. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem das Rohpulver des Wärmesperre-Keramikmaterials durch eine Platte mit unterschiedlichem Raumverhältnis geführt wird und so die Abscheidegeschwindigkeit variiert wird.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

14

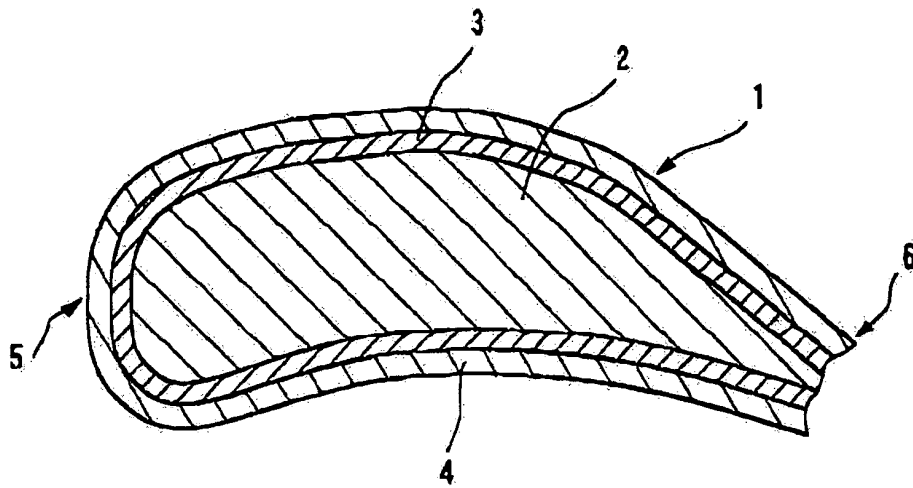


FIG. 1

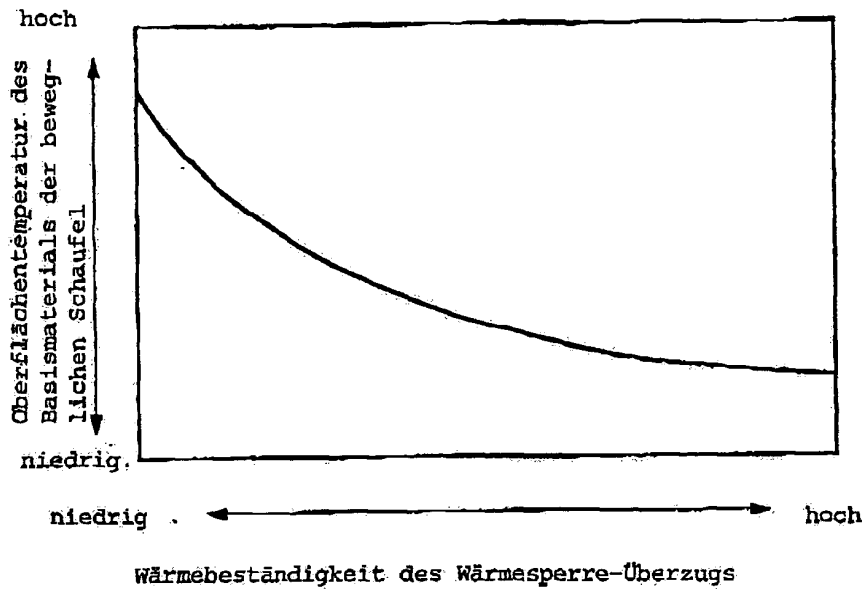


FIG. 2

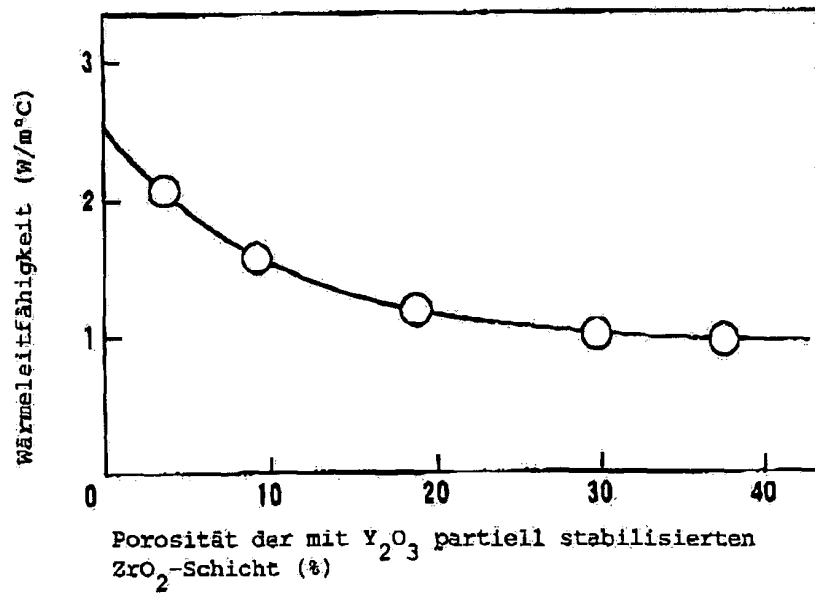


FIG. 3

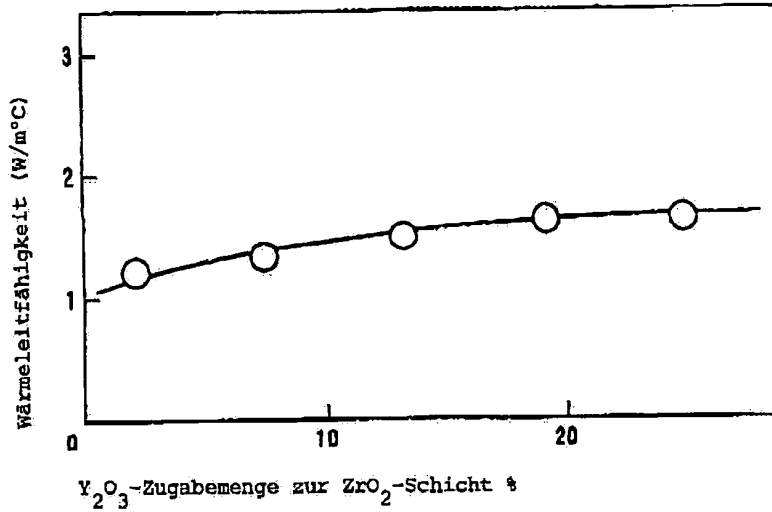


FIG. 4

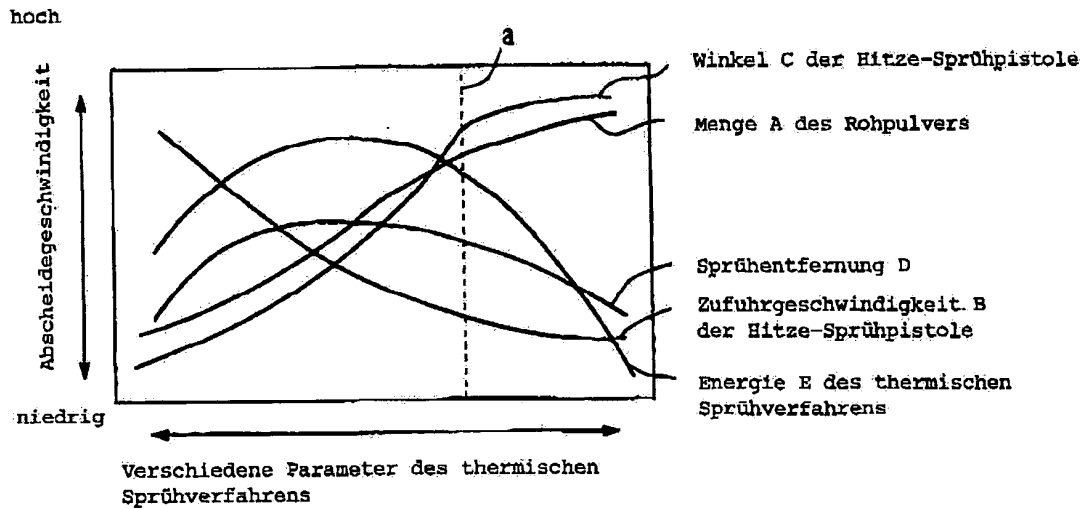


FIG. 5

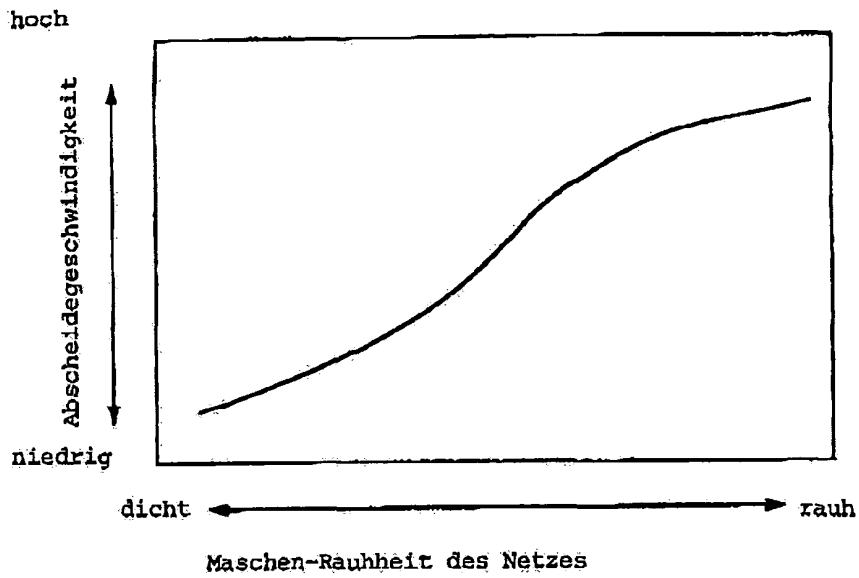


FIG. 6

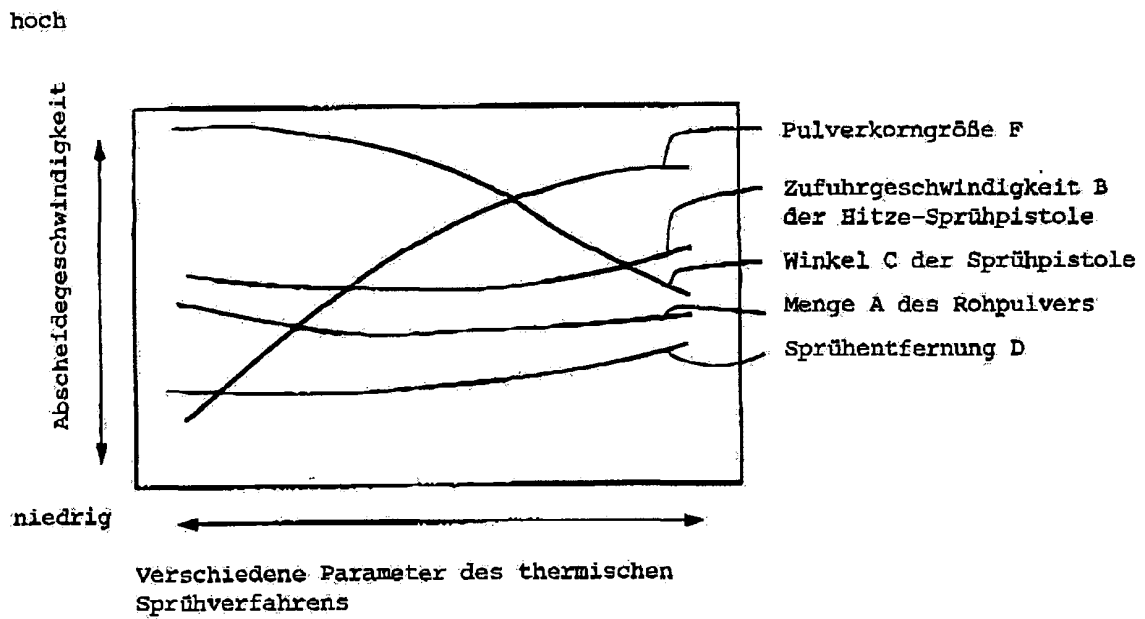


FIG. 7

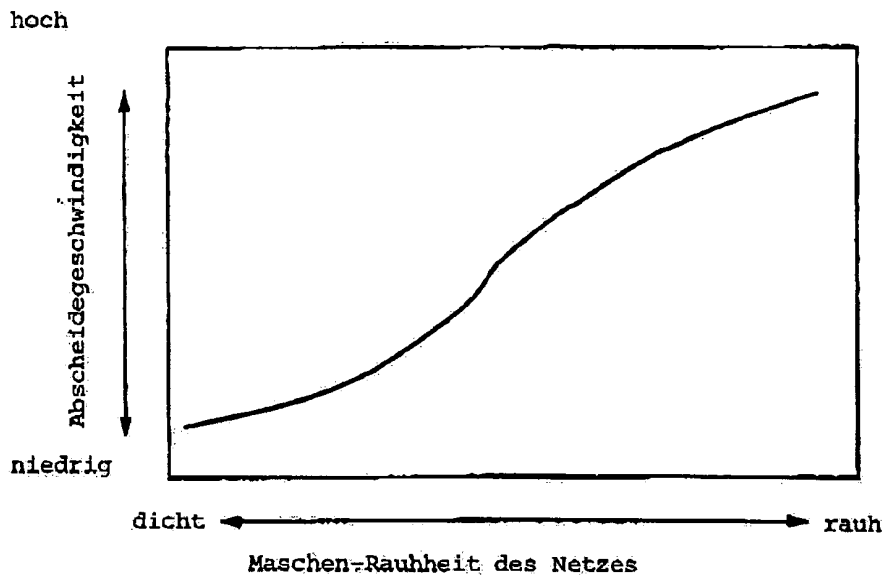


FIG. 8

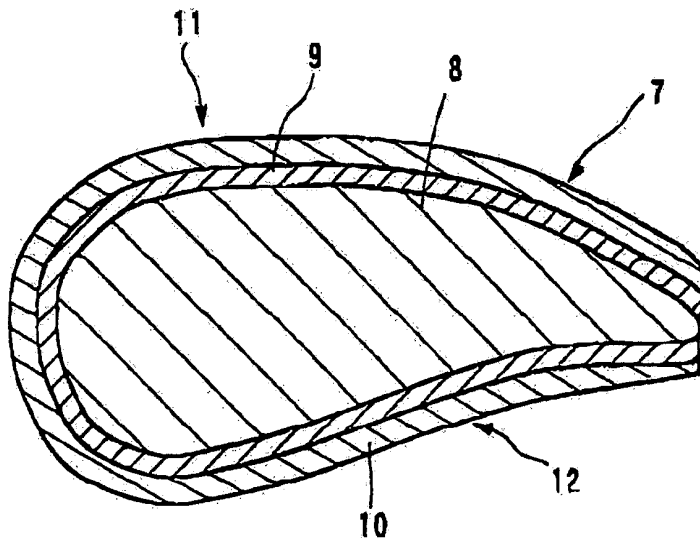


FIG. 9