



(10) **DE 10 2017 209 842 A1** 2018.12.13

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 209 842.2**

(22) Anmeldetag: **12.06.2017**

(43) Offenlegungstag: **13.12.2018**

(51) Int Cl.: **C23C 4/12 (2016.01)**

(71) Anmelder:

Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

**Dechant, Martin, 16727 Velten, DE; Degel,
Christopher, 13507 Berlin, DE; Döring, Jens-Erich,
41539 Dormagen, DE; Zielinski, Jakob, 13587
Berlin, DE; Zois, Dimitrios, 10585 Berlin, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	25 23 435	C2
US	2004 / 0 234 687	A1
US	2009 / 0 136 695	A1
US	3 658 572	A
WO	2003/ 087 422	A1

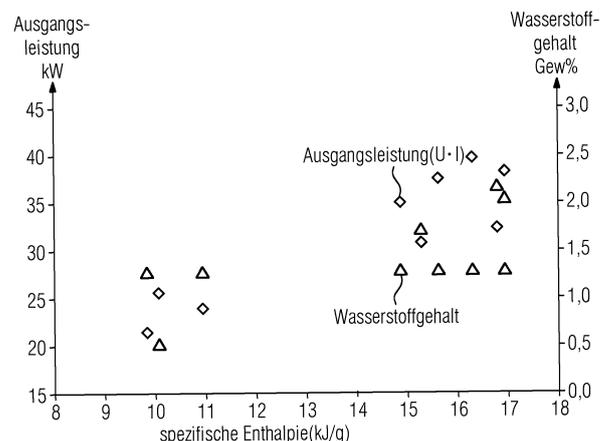
Norm DIN EN ISO 14917 (Entwurf) 2015-09-00. Thermisches Spritzen – Begriffe, Einteilung (ISO/DIS 14917:2015); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 14917:2015. [Perinorm]

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Beschichten einer Oberfläche eines Bauteils mittels thermischen Spritzens**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Beschichten einer Oberfläche eines Bauteils mittels thermischen Spritzens, bei dem ein Gasstrom erzeugt wird, Spritzpartikel an- oder aufgeschmolzen und mittels des Gasstroms zur Oberfläche des Bauteils transportiert und auf der Oberfläche des Bauteils unter Ausbildung einer Beschichtung abgeschieden werden, wobei die spezifische Enthalpie des Gasstroms ermittelt und Eigenschaften der Beschichtung mittels einer Einstellung der spezifischen Enthalpie gesteuert werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Beschichten einer Oberfläche eines Bauteils mittels thermischen Spritzens.

[0002] Oberflächenbeschichtungen auf Bauteilen können mittels Verfahren des thermischen Spritzens hergestellt werden. Dabei werden Zusatzwerkstoffe, sog. Spritzpartikel, innerhalb oder außerhalb eines Spritzbrenners an- oder aufgeschmolzen, in einem Gasstrom beschleunigt und auf die Oberfläche des zu beschichtenden Bauteils geschleudert. Die Bauteiloberfläche wird dabei nicht angeschmolzen und nur in geringem Maße thermisch belastet. Beim Auftreffen auf die Bauteiloberfläche bleiben die Spritzpartikel an der Oberfläche haften, so dass sich die Oberflächenbeschichtung lagenweise ausbilden kann.

[0003] Die erzielbaren Eigenschaften der Beschichtung, wie z. B. deren Haftfestigkeit, Oberflächenmorphologie (z. B. Rauheit), Porosität, Dichte, Phasenzusammensetzung, Härte, E-Modul oder Schichtdicke, werden maßgeblich von der Temperatur und der Geschwindigkeit der Spritzpartikel zum Zeitpunkt ihres Auftreffens auf die zu beschichtende Oberfläche beeinflusst. Der Oberflächenzustand der zu beschichtenden Oberfläche, z. B. deren Reinheit, Aktivierungszustand oder Temperatur, übt ebenfalls maßgeblichen Einfluss auf die Eigenschaften der resultierenden Beschichtung aus.

[0004] Thermische Spritzverfahren dienen vorrangig dem Aufbringen von Beschichtungen aus Metallen, oxidkeramischen Werkstoffen und/oder carbidischen Werkstoffen auf metallische oder nichtmetallische Bauteile.

[0005] Die Energie zum Aufheizen und Beschleunigen der Spritzpartikel kann z. B. mittels eines Plasmastrahls bereitgestellt werden. Das zugehörige Beschichtungsverfahren wird in diesem Fall auch als Plasmaspritzen bezeichnet.

[0006] Für das Plasmaspritzen wird ein Plasmabrenner eingesetzt, der über eine Anode und mindestens eine Kathode verfügt. Mittels Gleichspannung wird ein Lichtbogen zwischen Anode und Kathode erzeugt. Ein durch den Plasmabrenner strömendes Arbeitsgas wird durch den Lichtbogen geleitet und hierbei ionisiert, so dass ein sehr heißes, elektrisch leitendes Gas aus positiven Ionen und Elektronen (Plasmastrom) entsteht. Als Arbeitsgas können beispielsweise Argon, Wasserstoff, Helium, Stickstoff oder Mischungen aus den genannten Gasen eingesetzt werden.

[0007] Zum Plasmastrom werden die Spritzpartikel, ggf. mittels eines Trägergases, zugeführt und dabei an- oder aufgeschmolzen. Der Plasmastrom reißt die

Spritzpartikel mit und schleudert sie auf das zu beschichtende Bauteil, wo sie unter Ausbildung der Beschichtung abgeschieden werden.

[0008] Zur Verringerung des Materialverschleißes des Plasmabrenners und zur Abführung des Wärmestroms ist eine Kühlung des Plasmabrenners notwendig. Diese kann als Wasserkühlung ausgebildet sein.

[0009] Ein weiteres thermisches Spritzverfahren stellt das Hochgeschwindigkeitsflammspritzen dar, bei dem durch Verbrennung eines gasförmigen Kraftstoffs, wie z. B. Propan, Ethylen, Butan, Acetylen, Wasserstoff, oder eines flüssigen Brennstoffs, wie z. B. Diesel oder Kerosin, in einer gekühlten Brennkammer mit nachgeordneter Expansionsdüse ein Gasstrom mit hoher Geschwindigkeit entsteht. Die Verbrennung kann entweder unter Sauerstoff (engl. high velocity oxygen fuel, HVOF) oder unter Luft (engl. high velocity air fuel, HVOF) erfolgen. Die Spritzpartikel werden entweder zur Brennkammer oder im Bereich der Expansionsdüse zugeführt, beschleunigt, in Richtung des zu beschichtenden Bauteils transportiert und auf dessen Oberfläche abgeschieden.

[0010] Zur Beurteilung des Beschichtungsprozesses wird häufig der Auftragswirkungsgrad (engl. deposition efficiency, DE) bestimmt. Dieser entspricht dem Verhältnis der Masse der haftenden Spritzpartikel am Bauteil zur Masse der zugeführten Spritzpartikel und kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen.

[0011] Die Elektroden, insbesondere die Kathoden, eines Plasmabrenners unterliegen im Verlauf ihres Einsatzes einer gewissen Abnutzung (Verschleiß). Eine derartige Abnutzung führt üblicherweise zu einer Verschlechterung der Leistungsfähigkeit der Elektroden.

[0012] Die Abnutzung der Elektroden ist u. a. abhängig von der Plasmaleistung, die für den Beschichtungsprozess genutzt wird. Ist die erforderliche Plasmaleistung hoch, ist eine schnellere Abnutzung der Elektroden zu beobachten. Dies kann dazu führen, dass die Elektroden bereits nach einigen Betriebsstunden ersetzt werden müssen.

[0013] Aufgrund der Abnutzung und verschlechterten Leistungsfähigkeit der Elektroden können sich die Spannung des Lichtbogens und damit die Plasmaleistung ändern. Dies kann die Effizienz des Beschichtungsverfahrens verringern und Eigenschaften der Beschichtung beeinflussen. Dies kann sich in einer Abnahme des Auftragswirkungsgrads widerspiegeln.

[0014] Durch die Abnutzung wird außerdem die Geometrie der Spitze der Kathoden verändert, da während des Beschichtungsverfahrens Material von der Kathodenspitze abgetragen wird. Zudem ver-

ändert sich auch die chemische Zusammensetzung des Materials an der Kathodenspitze. Weiterhin kann auch der Anodenkanal erodieren. Dies kann die Ausbildung des Lichtbogens beeinflussen, was anhand einer Änderung der Spannung festgestellt werden kann.

[0015] Die beschriebenen Änderungen können sich auf die aufzubringende Beschichtung auswirken und beispielsweise dazu führen, dass sich Eigenschaften der Beschichtung ändern. Mit anderen Worten besteht die Gefahr, dass die resultierende Beschichtung nicht die gewünschten Eigenschaften aufweist, z. B. dass keine homogene Beschichtung auf dem Bauteil erhalten wird.

[0016] Um die Parameter des Plasmabrenners, z. B. die Spannung des Lichtbogens, und Parameter des Beschichtungsverfahrens, z. B. den Auftragswirkungsgrad, über eine gewisse Betriebsdauer möglichst konstant halten und damit eine homogene Beschichtung auf dem Bauteil erreichen zu können, werden im Stand der Technik die Stromstärke und/oder der dem Plasmabrenner zugeführte Strom des Arbeitsgases, z. B. der Strom an gasförmigem Wasserstoff, geändert.

[0017] Beispielsweise kann durch eine Änderung des Zuflusses an Arbeitsgas die Spannung des das Plasma erzeugenden Lichtbogens beeinflusst werden. Durch Änderung der Stromstärke kann der Auftragswirkungsgrad beeinflusst werden. Mit anderen Worten kann z. B. der Auftragswirkungsgrad gesteuert oder geregelt, z. B. konstant gehalten, werden, indem die Stromstärke eingestellt wird.

[0018] Dies kann die Einstellung oder Wiederherstellung einer bestimmten (vorgebbaren) Spannung und eines bestimmten (vorgebbaren) Auftragswirkungsgrads ermöglichen. Sowohl die Einstellung der Stromstärke als auch der Gaszufluss an Arbeitsgas können also genutzt werden, um Parameter des Beschichtungsverfahrens und damit auch Eigenschaften der Beschichtung zumindest ungefähr einzustellen und im Verlauf eines Beschichtungsverfahrens unter Verwendung desselben Plasmabrenners möglichst konstant zu halten.

[0019] Nachteilig ist jedoch, dass durch Änderung der Stromstärke und/oder des Gaszuflusses nicht nur jeweils ein Parameter des Plasmabrenners oder Beschichtungsverfahrens beeinflusst wird, sondern mehrere, z. T. voneinander abhängige Parameter.

[0020] Beispielsweise wird durch eine Erhöhung des Gaszuflusses nicht nur die Spannung beeinflusst, sondern auch die Strömungsgeschwindigkeit des resultierenden Gasstroms geändert. Dies führt dazu, dass zwar die Plasmaleistung konstant gehalten werden kann, sich jedoch die Beschichtungsrate, d. h.

die pro Zeiteinheit erzielbare Schichtdicke der Beschichtung, ändert. Wird zum Konstanthalten des Auftragswirkungsgrads die Stromstärke erhöht, um einen Spannungsabfall durch Abnutzung der Elektroden zu kompensieren, kann dies zu einer Überhitzung der Spritzpartikel führen, wodurch letztendlich die Porosität und Mikrostruktur der resultierenden Beschichtung beeinflusst werden.

[0021] Mit anderen Worten können die Änderung der Stromstärke und/oder des Gaszuflusses zu einer Änderung der Temperatur und des Geschwindigkeitsprofils des Plasmas führen, was u. a. ein nicht reproduzierbares Erhitzen der Spritzpartikel mit sich bringt. Die Qualität der Beschichtung und Wiederholbarkeit des Beschichtungsverfahrens kann nicht gewährleistet werden.

[0022] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Möglichkeit anzugeben, mit der vorgebbare Eigenschaften einer mittels thermischen Spritzens, z. B. mittels Plasmaspritzen oder Hochgeschwindigkeitsflammspritzen, auf ein Bauteil aufgebracht Beschichtung erzielt werden können. Beispielsweise sollen gleichbleibende Eigenschaften über einen gewissen Betriebszeitraum, beispielsweise innerhalb eines Beschichtungs Vorgangs, gewährleistet werden können.

[0023] Es soll auch eine Möglichkeit angegeben werden, mit der auf eine Abnutzung der Elektroden eines Plasmabrenners in einem Plasmaspritzverfahren so reagiert werden kann, dass sich die Eigenschaften der Beschichtung im Laufe eines Beschichtungs Vorgangs nicht oder nur unwesentlich ändern.

[0024] Wünschenswert wäre es zudem, reproduzierbare Bedingungen zum Erhalt vorgebbarer Beschichtungseigenschaften während eines Beschichtungs Vorgangs, die z. B. auf eine andere baugleiche Vorrichtung zum thermischen Spritzen, beispielsweise auf einen baugleichen Plasmabrenner, übertragbar sind, ermitteln und festlegen zu können.

[0025] Diese Aufgabe wird gelöst durch den Gegenstand des unabhängigen Anspruchs. Die davon abhängigen Ansprüche beinhalten Ausgestaltungen dieser erfindungsgemäßen Lösung.

[0026] Die Erfindung beruht auf dem Grundgedanken, das Beschichten mittels thermischen Spritzens, z. B. mittels Plasmaspritzen oder Hochgeschwindigkeitsflammspritzen, unter Berücksichtigung der spezifischen Enthalpie des erzeugten Gasstroms, d. h. der im Gasstrom enthaltenen Energie (vor allem Wärmeenergie), bezogen auf die Masse des Gasstroms, durchzuführen. Beispielsweise kann die spezifische Enthalpie eingestellt, also z. B. geändert oder konstant gehalten werden, um Parameter des Beschichtungsverfahrens, z. B. den Auftragswirkungs-

grad, und/oder Beschichtungseigenschaften steuern zu können. Mit anderen Worten besteht ein direkter Zusammenhang zwischen spezifischer Enthalpie und Beschichtungseigenschaften. Die spezifische Enthalpie kann auch als Stellgröße in einer Regelung der Beschichtungseigenschaften (Regelgröße) dienen.

[0027] Die Verwendung der spezifischen Enthalpie als Referenzgröße für den Beschichtungsprozess stellt einen deutlich aussagekräftigeren Parameter dar als die bisher zur Prozesssteuerung genutzten Parameter, wie z. B. Spannung oder Auftragswirkungsgrad. Vorteilhaft kann zudem die Überwachung der spezifischen Enthalpie während des Beschichtungsverfahrens ausreichend sein, während gemäß dem Stand der Technik eine Vielzahl von Parametern überwacht werden mussten.

[0028] Beispielsweise kann im Falle eines Plasmaspritzverfahrens die spezifische Enthalpie des erzeugten Plasmastroms genutzt werden.

[0029] Beim Hochgeschwindigkeitsflammspritzen kann die spezifische Enthalpie des durch Kraftstoffverbrennung erzeugten Gasstroms berücksichtigt werden.

[0030] Dadurch besteht auch die Möglichkeit, die Kühlleistung der Kühlvorrichtung des Plasmabrenners beim Plasmaspritzen bzw. der Brennkammer beim Hochgeschwindigkeitsflammspritzen und deren Auswirkungen auf das Beschichtungsverfahren und die resultierende Beschichtung zu berücksichtigen.

[0031] Erfindungsgemäß ist daher vorgesehen, dass in einem Verfahren zum Beschichten einer Oberfläche eines Bauteils mittels thermischen Spritzens, bei dem ein Gasstrom erzeugt wird, Spritzpartikel an- oder aufgeschmolzen und mittels des Gasstroms zur Oberfläche des Bauteils transportiert und auf der Oberfläche des Bauteils unter Ausbildung einer Beschichtung abgeschieden werden, die spezifische Enthalpie des Gasstroms ermittelt und Eigenschaften der Beschichtung mittels einer Einstellung der spezifischen Enthalpie gesteuert werden.

[0032] Die spezifische Enthalpie kann als Sammelgröße aufgefasst werden, die variiert werden kann, um vorgebbare Beschichtungseigenschaften erzielen zu können. Sie kann ihrerseits eingestellt werden, indem die Enthalpie beeinflussende Parameter, wie z. B. Stromstärke eines Plasmabrenners beim Plasmaspritzen, geändert werden.

[0033] In verschiedenen Ausführungsvarianten kann das thermische Spritzen als Plasmaspritzen ausgeführt werden, indem mittels eines mittels einer Kühlvorrichtung gekühlten Plasmabrenners aus einem Arbeitsgas ein Plasmastrom als Gasstrom erzeugt wird.

[0034] In weiteren Ausführungsvarianten kann das thermische Spritzen als Hochgeschwindigkeitsflammspritzen ausgeführt werden, indem eine Kraftstoffzusammensetzung in einer mittels einer Kühlvorrichtung gekühlten Brennkammer zur Erzeugung eines Hochgeschwindigkeitsgasstroms verbrannt wird.

[0035] Generell gilt, dass die Enthalpie aus der Bilanz zwischen eingebrachter Energie, z. B. elektrische Energie beim Plasmaspritzen oder innere Energie der Kraftstoffe beim Hochgeschwindigkeitsflammspritzen, und abgegebener Energie, z. B. durch Kühlung der Vorrichtung zum thermischen Spritzen anhand der Kühlleistung der Kühlvorrichtung, ermittelt werden kann. Bei konstantem Gasstrom kann dann die spezifische Enthalpie bestimmt werden, indem das Verhältnis von Energie zur Masse des Gases ermittelt wird.

[0036] Im Falle des Hochgeschwindigkeitsflammspritzens kann die erzeugte Energie aus der Verbrennungsenthalpie der Verbrennungsreaktion abgeleitet werden. Bei Plasmaspritzen ergibt sich die eingebrachte Energie aus der Leistung des Plasmabrenners (Produkt von Stromstärke und Spannung des Lichtbogens). In beiden Fällen kann die durch Kühlung abgegebene Energie kalorimetrisch bestimmt oder aus dem Produkt von Massendurchsatz des Kühlmediums, spezifischer Wärmekapazität des Kühlmediums und der Temperaturdifferenz zwischen Kühlmedium und Gasstrom berechnet werden.

[0037] Bei Betrachtung des Plasmabrenners als ohmsche Widerstandsheizung kann bei konstanter spezifischer Enthalpie des Plasmastroms von einer gleichbleibenden Temperatur und einem gleichbleibenden Geschwindigkeitsprofil des Plasmas ausgegangen werden, sodass die Spritzpartikel reproduzierbar erhitzt und beschleunigt werden und letztendlich reproduzierbare Beschichtungseigenschaften resultieren. Die spezifische Enthalpie kann für die Steuerung oder Regelung der Eigenschaften der Beschichtung genutzt werden.

[0038] Auch im Falle des Hochgeschwindigkeitsflammspritzens kann die spezifische Enthalpie zur Prozesskontrolle genutzt werden, um vorgebbare und ggf. konstante Beschichtungseigenschaften zu erhalten. Zudem kann die spezifische Enthalpie ebenfalls genutzt werden, um bei einer weiteren Vorrichtung zum Hochgeschwindigkeitsflammspritzen die gewünschten Beschichtungseigenschaften einfach und kostengünstig einstellen zu können.

[0039] Gemäß verschiedenen Ausführungsvarianten kann bei einer Ausführung des thermischen Spritzens als Plasmaspritzen vorgesehen sein, die spezifische Enthalpie durch Variation der Plasmaleistung und/oder Variation des Massendurchsatzes des Gasstroms und/oder Variation der Zusammensetzung

des Arbeitsgases, z. B. des Wasserstoffgehalts des Arbeitsgases, einzustellen.

[0040] Dazu kann die spezifische Enthalpie aus der Plasmaleistung und dem Massendurchsatz des Gasstroms und der Zusammensetzung des Arbeitsgases ermittelt werden.

[0041] Gemäß weiteren Ausführungsvarianten kann die Plasmaleistung durch Variation der Stromstärke und/oder Spannung des Plasmabrenners und/oder der Kühlleistung der Kühlvorrichtung eingestellt werden.

[0042] Dazu kann die Plasmaleistung aus der Stromstärke und Spannung des Plasmabrenners und der Kühlleistung der Kühlvorrichtung ermittelt werden. Es gilt:

$$P_{Plasma} = U \cdot I - (\dot{m} \cdot c \cdot \Delta T)$$

mit

P_{Plasma}	Plasmaleistung
U	Spannung
I	Stromstärke
\dot{m}	Massendurchsatz des Kühlmediums
c	spezifische Wärmekapazität des Kühlmediums
ΔT	Temperaturdifferenz zwischen Kühlmedium und Plasmabrenner

wobei $(\dot{m} \cdot c \cdot \Delta T)$ die Kühlleistung und $U \cdot I$ die Ausgangsleistung ist.

[0043] Untersuchungen zeigten, dass weitere Einflüsse, wie z. B. Wärmeverluste aufgrund von Wärmestrahlung vernachlässigbar sind. Bei Bedarf können Korrekturfaktoren in die Ermittlung der spezifischen Enthalpie einfließen.

[0044] Um gleichbleibende Beschichtungseigenschaften trotz Abnutzung der Elektroden während eines Beschichtungsvorgangs beim Plasmaspritzen, d. h. einem Zeitabschnitt, indem das Beschichtungsverfahren ausgeführt wird, zu ermöglichen, kann die spezifische Enthalpie konstant gehalten werden, beispielsweise durch Änderung der Stromstärke bei konstantem Massendurchsatz des Gasstroms oder Änderung des Massendurchsatzes des Gasstroms bei konstanter Stromstärke oder entsprechender Änderung der beiden Parameter Stromstärke und Massendurchsatz des Gasstroms. Es kann also die spezifische Enthalpie über die Lebensdauer der Elektroden konstant gehalten werden. Die Prozesskontrolle des

Beschichtungsverfahrens kann erheblich verbessert werden.

[0045] Zudem kann die spezifische Enthalpie auch genutzt werden, um mit baugleichen Plasmabrennern, die z. B. aufgrund von Elektrodenabnutzung eine abweichende Spannung aufweisen, weitgehend gleiche Beschichtungseigenschaften zu erzielen. Beispielsweise können die Parameter des Plasmabrenners und des Beschichtungsvorgangs so eingestellt werden, dass eine bestimmte spezifische Enthalpie resultiert.

[0046] Dadurch kann auch der Zeitbedarf für die Einstellung von Parametern des Plasmabrenners und des Beschichtungsverfahrens verringert werden, da bei gleicher spezifischer Enthalpie die gleichen Beschichtungseigenschaften erzielt werden können. Aufwendige und kostenintensive Tests der Parameter können somit vermieden oder zumindest auf ein Minimum reduziert werden.

[0047] Gemäß verschiedenen Ausführungsvarianten kann bei einer Ausführung des thermischen Spritzens als Hochgeschwindigkeitsflammspritzen vorgesehen sein, die spezifische Enthalpie durch Variation der Kühlleistung der Kühlvorrichtung und/oder Variation des Massendurchsatzes des Kraftstoffs und/oder Variation der Kraftstoffzusammensetzung einzustellen.

[0048] Die spezifische Enthalpie kann dazu aus der Verbrennungsenthalpie der Kraftstoffzusammensetzung, der Kühlleistung der Kühlvorrichtung und dem Massendurchsatz des Kraftstoffs ermittelt werden.

[0049] Mit anderen Worten kann die spezifische Enthalpie durch Änderung der Kühlleistung, des Massendurchsatzes des Kraftstoffs oder der Kraftstoffzusammensetzung, die sich auf die Verbrennungsenthalpie auswirkt, beeinflusst und auf die gewünschte Größe eingestellt werden.

[0050] Gemäß weiteren Ausführungsvarianten kann die spezifische Enthalpie konstant gehalten werden. Aufgrund des direkten Zusammenhangs zwischen spezifischer Enthalpie und Beschichtungseigenschaften können dadurch homogene Beschichtungseigenschaften erreicht werden.

[0051] Gemäß weiteren Ausführungsvarianten können als Eigenschaft der Beschichtung die Haftfestigkeit, Rauheit, Porosität, Dichte, Phasenzusammensetzung, Härte, E-Modul und/oder Schichtdicke gesteuert wird. Unter anderem für diese Eigenschaften besteht ein direkter Zusammenhang zur spezifischen Enthalpie des Gasstroms.

[0052] Gemäß weiteren Ausführungsvarianten kann die Oberfläche eines Gasturbinenteils, z. B. einer

Leit- oder Laufschaufel einer Gasturbine, beschichtet werden.

[0053] Derartige Bauteile sind hohen, insbesondere thermischen Belastungen, ausgesetzt. Sie werden daher üblicherweise mit einer Oxidationsschutzschicht und/oder Korrosionsschutzschicht und/oder thermischen Barrierschicht beschichtet. Um eine hohe Wirksamkeit dieser Beschichtungen zu ermöglichen, ist eine besonders homogene Beschichtung notwendig. Beispielsweise können bereits kleinste Fehlstellen in der Beschichtung zu einer schnellen Oxidation und/oder Korrosion oder Beeinträchtigung durch zu hohe thermische Belastung führen. Die Erfindung ermöglicht die Schaffung derartiger besonders homogener Beschichtungen.

[0054] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Die zugehörigen Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 Abhängigkeit der spezifischen Enthalpie und Spannung von der Stromstärke während eines Plasmaspritzverfahrens;

Fig. 2 Abhängigkeit der spezifischen Enthalpie und Spannung vom Wasserstoffgehalt des Arbeitsgases in einem Plasmaspritzverfahren;

Fig. 3 Zusammenhang zwischen Ausgangsleistung, Wasserstoffgehalt des Arbeitsgases und spezifischer Enthalpie in einem Plasmaspritzverfahren.

[0055] In den im Folgenden erläuterten Beispielen wird auf die beigelegten Zeichnungen Bezug genommen, die einen Teil der Beispiele bilden und in denen zur Veranschaulichung spezifische Ausführungsformen gezeigt sind, in denen die Erfindung ausgeübt werden kann. Es versteht sich, dass andere Ausführungsformen benutzt und strukturelle oder logische Änderungen vorgenommen werden können, ohne von dem Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Es versteht sich, dass die Merkmale der hierin beschriebenen verschiedenen beispielhaften Ausführungsformen miteinander kombiniert werden können, sofern nicht spezifisch anders angegeben. Die folgende ausführliche Beschreibung ist deshalb nicht in einschränkendem Sinne aufzufassen, und der Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung wird durch die angefügten Ansprüche definiert.

[0056] Alle Ausführungsbeispiele beziehen sich auf Verfahren zum Beschichten einer Oberfläche eines Bauteils mittels thermischen Spritzens, wobei das thermische Spritzen als Plasmaspritzen ausgeführt wird. **Fig. 1** und **Fig. 2** zeigen die Abhängigkeit der spezifischen Enthalpie des Plasmastroms und der Spannung von der Stromstärke (**Fig. 1**) und dem Wasserstoffgehalt im Arbeitsgas (**Fig. 2**), wobei das Arbeitsgas im Übrigen aus Argon besteht.

[0057] Es zeigt sich, dass die spezifische Enthalpie linear abhängig von der Stromstärke sowie vom Wasserstoffgehalt (mit Ausnahme eines Wasserstoffgehalts von 0 Gew%) ist und mit steigender Stromstärke und steigendem Wasserstoffgehalt zunimmt.

[0058] Demgegenüber ist der Zusammenhang zwischen Stromstärke und Spannung sowie zwischen Wasserstoffgehalt und Spannung nicht linear. Die spezifische Enthalpie kann zumindest mittels einer Variation der Zusammensetzung des Arbeitsgases, d. h. im Ausführungsbeispiel durch Variation des Wasserstoffgehalts, und der Stromstärke eingestellt werden.

[0059] Die Ermittlung der spezifischen Enthalpie kann direkt am Messstand der Beschichtungsvorrichtung anhand der Ausgangsleistung (Spannung x Stromstärke), der Verlustleistung durch Kühlung (Kühlleistung) und des Massendurchsatzes des Gaststroms erfolgen. Der ermittelte Wert der spezifische Enthalpie kann direkt am Messstand auf einer Anzeigeeinrichtung angezeigt werden.

[0060] Da sich die Spannung im Laufe eines Beschichtungsvorgangs oder im Laufe der Betriebsdauer der Beschichtungsvorrichtung ändert und sich dies u. a. auf das An- oder Aufschmelzen der Spritzpartikel und letztendlich der Beschichtungseigenschaften auswirkt, muss dieser Spannungsänderung zum Erzielen homogener Beschichtungseigenschaften entgegengewirkt werden. Erfindungsgemäß wird dazu der Energiegehalt des Plasmastroms, d. h. die spezifische Enthalpie des Plasmastroms, möglichst konstant gehalten.

[0061] Aus **Fig. 3** ist ersichtlich, dass eine bestimmte spezifische Enthalpie auf unterschiedliche Art und Weise, d. h. durch verschiedene Kombinationen der die spezifische Enthalpie beeinflussenden Parameter, erreicht werden kann. In der Darstellung gemäß **Fig. 3** sind die eingetragenen Werte für Ausgangsleistung, d. h. das Produkt aus Spannung und Stromstärke, und Wasserstoffgehalt im Arbeitsgas (Rest Argon) jeweils als zusammengehörige Wertepaare anzusehen.

[0062] Eine spezifische Enthalpie von ungefähr 14,8 kJ/g kann beispielsweise durch ein Ausgangsleistung von 34,5 kW und einen Wasserstoffgehalt von ca. 1, 2 Gew% erreicht werden.

[0063] Es wird deutlich, dass die spezifische Enthalpie als zuverlässiger Parameter des Beschichtungsverfahrens genutzt werden kann, um die Eigenschaften der resultierenden Beschichtung zu beeinflussen. Sollen homogene Beschichtungseigenschaften erreicht werden, sollte die spezifische Enthalpie möglichst konstant gehalten werden. Dies kann, wie sich aus **Fig. 3** ergibt, auf unterschiedliche Weise erfol-

gen, z. B. indem die Ausgangsleistung und/oder der Wasserstoffgehalt im Arbeitsgas, d. h. die Zusammensetzung des Arbeitsgases, variiert werden. Die spezifische Enthalpie des Gasstroms kann als Stellgröße in einem thermischen Spritzverfahren, z. B. in einem Plasmaspritzverfahren, verwendet werden.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Oberfläche eines Gasturbinenteils beschichtet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei eine Leit- oder Laufschaufel einer Gasturbine beschichtet wird.

Patentansprüche

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

1. Verfahren zum Beschichten einer Oberfläche eines Bauteils mittels thermischen Spritzens, bei dem ein Gasstrom erzeugt wird, Spritzpartikel an- oder aufgeschmolzen und mittels des Gasstroms zur Oberfläche des Bauteils transportiert und auf der Oberfläche des Bauteils unter Ausbildung einer Beschichtung abgeschieden werden, wobei die spezifische Enthalpie des Gasstroms ermittelt und Eigenschaften der Beschichtung mittels einer Einstellung der spezifischen Enthalpie gesteuert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das thermische Spritzen als Plasmaspritzen ausgeführt wird, indem mittels eines mittels einer Kühlvorrichtung gekühlten Plasmabrenners aus einem Arbeitsgas ein Plasmastrom als Gasstrom erzeugt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die spezifische Enthalpie durch Variation der Plasmaleistung und/oder Variation des Massendurchsatzes des Gasstroms und/oder Variation der Zusammensetzung des Arbeitsgases eingestellt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Plasmaleistung durch Variation der Stromstärke und/oder Spannung des Plasmabrenners und/oder der Kühlleistung der Kühlvorrichtung eingestellt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das thermische Spritzen als Hochgeschwindigkeitsflammspritzen ausgeführt wird, indem eine Kraftstoffzusammensetzung in einer mittels einer Kühlvorrichtung gekühlten Brennkammer zur Erzeugung eines Hochgeschwindigkeitsgasstroms verbrannt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die spezifische Enthalpie durch Variation der Kühlleistung der Kühlvorrichtung und/oder Variation des Massendurchsatzes des Kraftstoffs und/oder Variation der Kraftstoffzusammensetzung eingestellt wird.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die spezifische Enthalpie konstant gehalten wird.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei als Eigenschaft der Beschichtung die Haftfestigkeit, Rauheit, Porosität, Dichte, Phasenzusammensetzung, Härte, E-Modul und/oder Schichtdicke gesteuert wird.

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

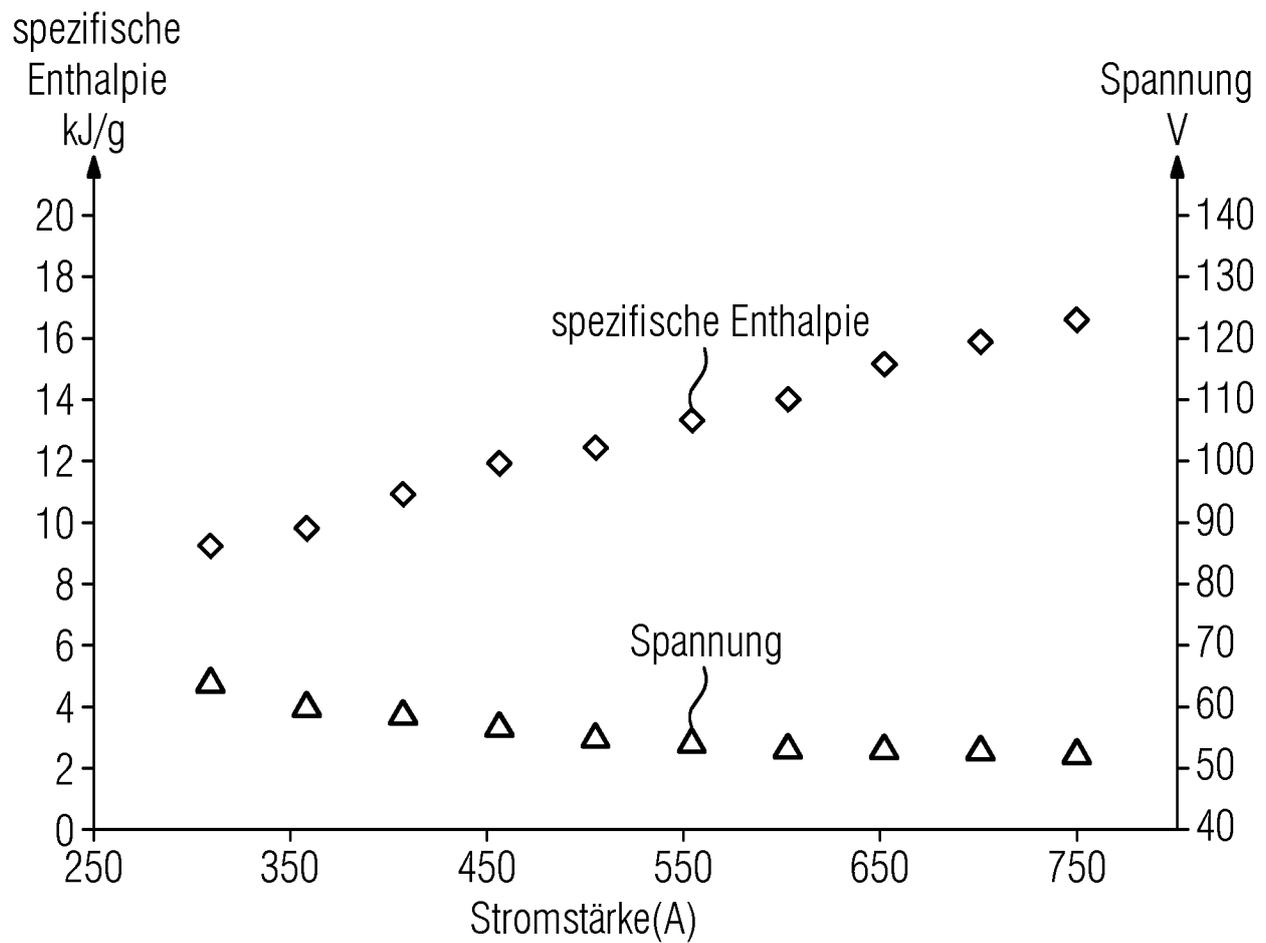


FIG 2

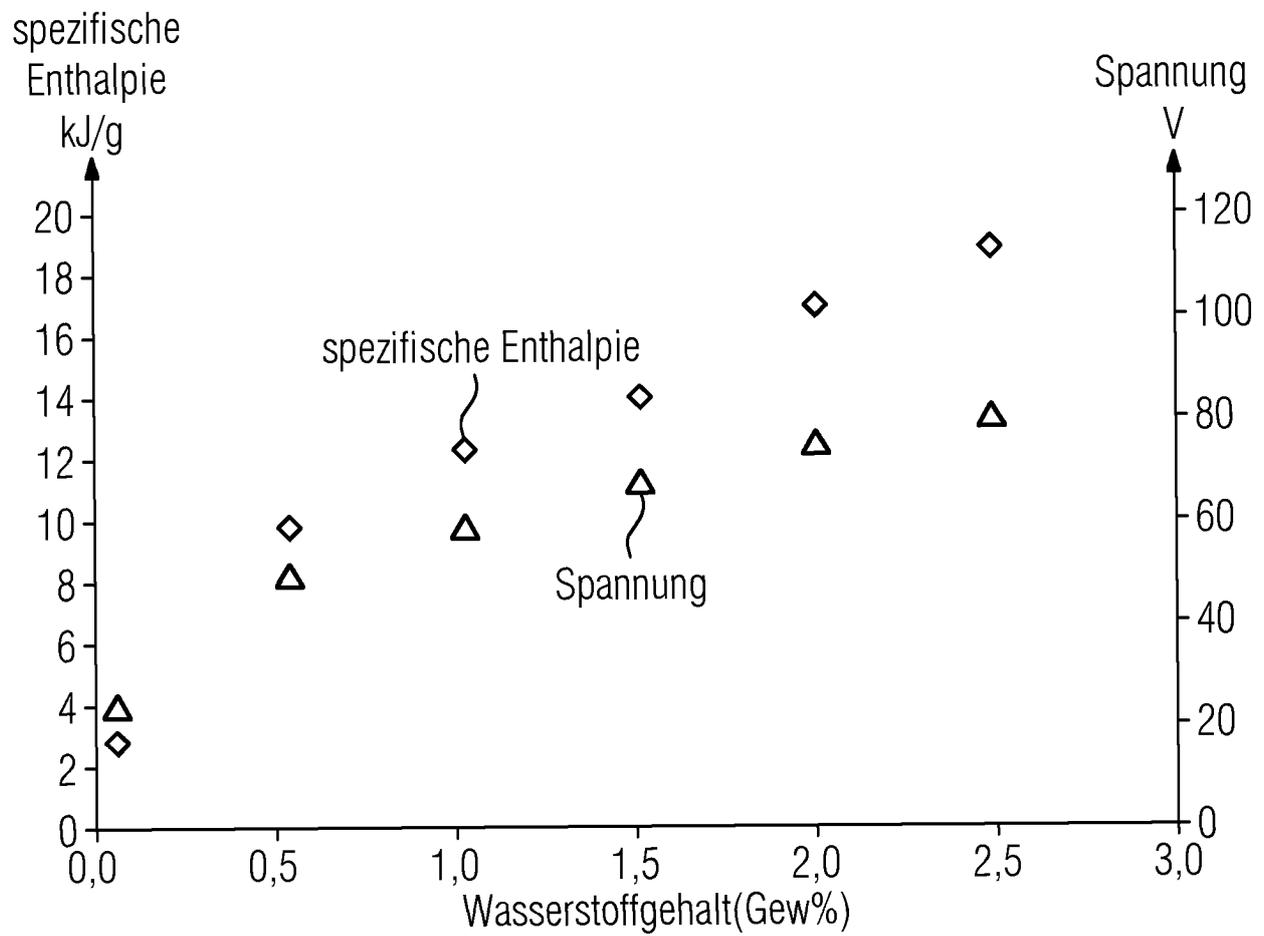


FIG 3

