

(19)



(11)

EP 2 860 277 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
19.02.2020 Patentblatt 2020/08

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

B05B 12/08 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13188493.4**

(22) Anmeldetag: **14.10.2013**

(54) **Beschichtungsverfahren**

Coating method

Procédé de revêtement

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

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
15.04.2015 Patentblatt 2015/16

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

(72) Erfinder:
• **Borchardt, Andy**
13349 Berlin (DE)
• **Brett, Tobias**
12529 Schönefeld (DE)
• **Klein, Karsten**
14089 Berlin (DE)
• **Maiz, Khaled**
13355 Berlin (DE)

- **Michel, Catrina**
10318 Berlin (DE)
- **Sadovoy, Alexandr**
14059 Berlin (DE)
- **Witzel, Martin**
10318 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 1 074 902 EP-A1- 1 864 719
EP-A1- 1 988 185 EP-A2- 2 019 283
DE-A1- 3 320 160 US-B1- 6 478 875

- **WIEDERKEHR T ET AL: "Acquisition and Optimization of Three-Dimensional Spray Footprint Profiles for Coating Simulations", JOURNAL OF THERMAL SPRAY TECHNOLOGY, vol. 22, no. 6, August 2013 (2013-08), pages 1044-1052, XP055509326, Springer [US] ISSN: 1059-9630, DOI: 10.1007/s11666-013-9927-6**

EP 2 860 277 B1

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

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Beschichtungsverfahren, in dem ein Bauteil, insbesondere ein Gasturbinenbauteil durch thermisches Spritzen beschichtet wird.

[0002] Im Stand der Technik ist das Thermische Spritzen als Beschichtungsmethode in verschiedenen Ausgestaltungen bekannt. Auch Verfahren zur Überwachung des Ergebnisses des Thermischen Spritzens sind im Stand der Technik bekannt. So zeigt die US 20120269958 A1 ein Verfahren zum Simulieren der Schichtdicke einer Beschichtung, die auf einer Substratoberfläche angeordnet ist. Die Schichtdicke wird dabei insbesondere über die Masse des aufgetragenen Beschichtungsstoffs ermittelt.

[0003] Die DE 3320160 A1 offenbart eine Vorrichtung zur Dickensteuerung beim Beschichten von flachen Gegenständen, wie beim Aufbringen einer Glasurschicht auf keramische Platten, wie Fliesen und Kacheln, in einer Beschichtungsstation, in der Auftragsvorrichtungen für das Beschichtungsmaterial angebracht sind und durch die die Gegenstände mittels einer Transportvorrichtung hindurchgeführt werden. Eine ständige Überwachung der Beschichtungsdicke verbunden mit der Möglichkeit praktisch sofort wirksamer Nachsteuerung bei Abweichungen und mit wesentlich erhöhter Steuerungsgenauigkeit soll dadurch erreicht werden, dass vor und hinter der Beschichtungsstation je eine optische Dickenmessvorrichtung für den unbeschichteten und den beschichteten Gegenstand angeordnet sind, wobei diese Dickenmessvorrichtungen an eine elektronische Messwertvergleichsvorrichtung zum Ermitteln der Dickendifferenz angeschlossen sind, welche einen Speicher zum Aufnehmen der von der vor der Beschichtungsstation angeordneten Dickenmessvorrichtung kommenden Messwerte und eine aufgrund des Abstandes zwischen den beiden Dickenmessvorrichtungen und der jeweiligen Transportgeschwindigkeit gesteuerte Verzögerungsvorrichtung zum Aufgeben der gespeicherten Messwerte auf eine Messwertvergleichsstufe enthält, und dass an diese Messwertvergleichsvorrichtung eigentliche Steuereinrichtungen für die Auftragsvorrichtungen bezüglich abgegebener Auftragsmenge und/oder Steuereinrichtungen für die Transportvorrichtung bezüglich Transportgeschwindigkeit angeschlossen sind.

[0004] Die US 6478875 B1 betrifft Verfahren und Vorrichtungen zur In-situ-Messung von Spannung und Modulen während einer Sprühbeschichtung. Eine Vorrichtung zur Durchführung einer In-situ-Krümmungsmessung eines Substrats während eines Auftragsprozesses umfasst eine Klemme zum Zurückführen des Substrats nahe einem Ende, während das gegenüberliegende Ende des Substrats frei bleibt. Eine Mehrzahl von Verlagerungssensoren ist in einer beabstandeten Weise entlang der Länge des Substrats angeordnet und auf eine Oberfläche des Substrats gerichtet, gegenüber einer zu beschichtenden Oberfläche. Jeder Sensor liefert ein

Signal an einen Computer entsprechend einer Position des Substrats relativ zum Sensor. Der Computer empfängt und speichert Daten der Verlagerungssensoren, um eine Entwicklung der Spannung während eines Beschichtungsvorgangs zu bestimmen und um ein Beschichtungsmodul zu bestimmen, basierend auf einer resultierenden Krümmung des Substrats.

[0005] Aus der EP 1 074 902 A1 ist ein Verfahren zur Ermittlung einer beim Farblacksprühen nach Eingabe bestimmter Sprühparameter in eine elektrostatisch basierte Lacksprüheinrichtung zu erwartende Schichtdickenverteilung in der erzeugten Lackschicht bekannt. Dabei wird unter Einsatz einer dafür eingerichteten Datenverarbeitungseinrichtung ein phänomenologisches mathematisches Modell eines quasi stationären dreidimensionalen Sprühbildes erstellt und verwendet.

[0006] De EP 2 019 283 A2 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Vermessung von Ist-Messdaten eines Bauteils, die aus einer optischen Abtastung stammen, bei dem die Ist-Messdaten des Bauteils mittels eines Messprogramms für ein taktil tastendes Koordinatenmessgerät vermessen werden, wobei das Messprogramm einen virtuellen Messtaster eines virtuellen Koordinatenmessgeräts erzeugt, der die Ist-Messdaten des Bauteils vermisst.

[0007] Aus WIEDERKEHR T ET AL: "Acquisition and Optimization of Three-Dimensional Spray Footprint Profiles for Coating Simulations", JOURNAL OF THERMAL SPRAY TECHNOLOGY, Bd. 22, Nr. 6, August 2013 (2013-08), Seiten 1044 - 1052, XP055509326, Springer [US] ISSN: 1059-9630 ist ein Verfahren zur Sammlung und Optimierung von dreidimensionalen Probespritzflecken für Beschichtungssimulationen bekannt. Zur Ausbildung von realen Spritzflecken kann mittels einer Spritzpistole ein Spritzfleck auf einem flachen Stahlsubstrat erzeugt werden, der anschließend mittels eines taktilen Scanners vermessen wird. In einem Optimierungsschritt werden anschließend Unterschiede zwischen der gemessenen und einer simulierten Schichtdickenverteilung minimiert.

[0008] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Beschichtungsverfahren mit verbesserter Prozesskontrolle bereitzustellen.

[0009] Gelöst wird diese Aufgabe mit einem Beschichtungsverfahren nach Anspruch 1. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben und in der Beschreibung beschrieben.

[0010] Bei dem erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahren mittels thermischen Spritzens wird durch ein Probespritzen mit einer in einer ersten Verfahrensparametereinstellung betriebenen Beschichtungsanlage ein Probespritzfleck auf einer Oberfläche erzeugt. Anschließend wird von dem Probespritzfleck in einer Fleckbestimmung zumindest ein geometrischer Istwert ermittelt. Anschließend wird der zumindest eine geometrische Istwert in einer Istwertprüfung mit einem vordefinierten Sollwert abgeglichen. Anschließend wird, wenn die Istwertprüfung eine Abweichung des geometrischen Istwerts

vom Sollwert ergibt, in einer Parameteränderung die erste Verfahrensparametereinstellung in eine zweite Verfahrensparametereinstellung geändert oder, wenn die Istwertprüfung keine Abweichung des geometrischen Istwerts vom Sollwert ergibt, durch Spritzen mit der in der ersten Verfahrensparametereinstellung betriebenen Beschichtungsanlage ein Bauteil beschichtet. Erfindungsgemäß wird in der Fleckbestimmung in einer Ausdehnungsbestimmung eine Ausdehnung des Probespritzflecks auf der Oberfläche ermittelt.

[0011] Mit dem erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahren ist es vorteilhaft möglich die Verfahrensparameter der Beschichtungsanlage für das gewünschte Beschichtungsergebnis leichter und genauer zu bestimmen und einzustellen. Die erzeugte Beschichtung weist dadurch eine genauer vorhersehbare Güte auf.

[0012] Mit der Ausdehnungsbestimmung erhält man Informationen über die Ausdehnung des Probespritzflecks. Auch diese Daten können für weitere analytische Verfahren und zur Prozesssimulation verwendet werden. Wobei mit der Prozesssimulation die Anzahl der Probespritzungen reduziert werden kann. In der Ausdehnungsbestimmung wird die Ausdehnung insbesondere durch eine Definition einer Standardabweichung einer Normalverteilung quantifiziert.

[0013] Erfindungsgemäß wird in der Fleckbestimmung in einer Maximalschichtdickenbestimmung eine Maximalschichtdicke des Probespritzflecks ermittelt.

[0014] Damit die Schichtdicke des Probespritzflecks an seiner normal zur Oberfläche höchsten Stelle quantifiziert. Dem Probespritzfleck kann damit ein Zentrum zugeordnet werden. Erfindungsgemäß wird in der Fleckbestimmung zudem in einer Lagebestimmung eine Lage des Probespritzflecks auf der Oberfläche ermittelt. Die Lagebestimmung erfolgt durch die Messung der Verschiebung der Maximalschichtdicke, also des Zentrums des Probespritzflecks, zu einer Spritzstrahlachse. Auch ein Drehwinkel um die Spritzstrahlachse wird ermittelt. Damit kann geprüft werden, ob die Ausrichtung der Spritzpistole sowohl in ihrer Richtung als auch in ihrem Drehwinkel um die Spritzstrahlachse herum entsprechend dem gewünschten Ergebnis eingestellt ist.

[0015] In einer vorteilhaften Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird der Probespritzfleck auf einem Probewerkstück erzeugt. Das Probewerkstück ist insbesondere eine plane Platte.

[0016] Damit können die Bedingungen zur Fleckbestimmung vereinfacht werden. Auch sind Ergebnisse verschiedener Probespritzungen auf einheitlichen Probewerkstücken leichter zu vergleichen.

[0017] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird die Fleckbestimmung mit einer Koordinatenmessmaschine mit optischen Messinstrumenten oder mit taktilen Messinstrumenten vorgenommen.

[0018] Damit ist eine sehr genaue Ausmessung geometrischer Messdaten des Probespritzflecks möglich. Die erhaltenen Daten können leicht beispielsweise für

eine Offline-Programmierung und Schichtdickensimulation, wie beispielsweise in der Offenlegungsschrift US 20120269958 A1 beschrieben, verwendet werden.

[0019] Zudem kann erfindungsgemäß in der Fleckbestimmung in einer Schichtdickenverteilungsbestimmung eine Verteilung der Schichtdicke des Probespritzflecks entlang zumindest einer auf der Oberfläche verlaufenden Achse ermittelt werden. In der Schichtdickenverteilungsbestimmung wird die Schichtdickenverteilung insbesondere durch eine Definition einer Normalverteilung bestimmt.

[0020] Damit kann die Schichtdickenverteilung durch ein mathematisches Modell beschrieben werden, dass weitere Analysen und auch Prozesssimulationen zulässt.

[0021] Die zumindest eine Achse, entlang der die Schichtdickenverteilung bestimmt wird, ist insbesondere eine Hauptachse des Probespritzflecks. Die Hauptachse ist bei einer elliptischen Form beispielsweise eine Achse entlang der längsten Ausdehnung. Bevorzugt wird entlang mehrerer Achsen jeweils eine Schichtdickenverteilung bestimmt. Die weiteren Achsen sind dabei insbesondere in einem Winkel zur Hauptachse angeordnet.

[0022] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird in einer Volumenbestimmung ein Volumen des Probespritzflecks ermittelt werden.

[0023] Damit ist ein weiterer geometrischer Messwert vorhanden. Beispielsweise kann durch das Volumen auf die Porosität des Probespritzflecks geschlossen werden.

[0024] Insbesondere werden die Probespritzfleckcharakteristika mittels mehrerer Probespritzfleckerzeugungen oder auch mittels einer Prozesssimulation bestimmt. Es können damit Verfahrensparametereinstellungen definiert werden, die erforderlich

[0025] sind um eine Beschichtung in beispielsweise gewünschter Schichtdicke, Porosität und Rauheit zu erhalten.

[0026] In der Fleckbestimmung werden die Maximalschichtdicke, insbesondere die Standardabweichung entlang zweier Achsen,

[0027] die Lage und der Drehwinkel bestimmt. Zusätzlich kann die Volumenbestimmung vorgenommen werden.

[0028] Erfindungsgemäß ist das Spritzen ein thermisches Spritzen. Insbesondere, dank der Möglichkeit geometrische Messdaten im erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahren über optische Messinstrumente gewinnen zu können, können die Verfahrensparameter für das thermische Spritzen, bei dem berührende Messmethoden aufgrund der hohen Verfahrenstemperaturen nicht anzuwenden sind, bestimmt werden.

[0029] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens wird als Bauteil ein Teil einer Gasturbine durch das Spritzen beschichtet. Das Bauteil ist insbesondere eine Turbinenschaufel.

[0030] Besonders bei Gasturbinenbauteilen ist eine

hohe Güte der Beschichtung erforderlich. Das erfindungsgemäße Beschichtungsverfahren erfüllt die damit verbundenen Anforderungen.

[0031] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Zeichnungen und der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein erfindungsgemäßes Beschichtungsverfahren,

Figur 2 eine Fleckbestimmung des Beschichtungsverfahrens und

Figur 3 eine Istwertprüfung des Beschichtungsverfahrens.

[0032] In der Figur 1 ist das erfindungsgemäße Beschichtungsverfahren 10 in einer beispielhaften Ausführungsvariante in einem Flussdiagramm von seinem Start 11 bis zu seinem Ende 17 dargestellt.

[0033] In dem erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahren 10 wird in einem ersten Schritt ein Probespritzen 12 durchgeführt. Das Probespritzen 12 erfolgt erfindungsgemäß mit einer Beschichtungsanlage, die in einer ersten Verfahrensparametereinstellung betrieben wird. Durch das Probespritzen 12 entsteht ein Probespritzfleck. Durch das Probespritzen 12 kann auf einer Oberfläche eines zu beschichtenden Bauteils selbst oder auf der Oberfläche eines Probewerkstücks der Probespritzfleck erzeugt werden. Der Probespritzfleck wird bevorzugt auf einer planen Oberfläche erzeugt. Das Probewerkstück weist bevorzugt eine plane Oberfläche auf und ist aus dem gleichen Material oder einem vergleichbaren Material wie das Bauteil geschaffen. Wird der Probespritzfleck auf dem Bauteil erzeugt, geschieht dies insbesondere an einer planen Stelle der Oberfläche des Bauteils.

[0034] Die zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildete Beschichtungsanlage umfasst eine robotergeführte Spritzpistole, aus der, wie es bei Spritzanlagen üblich ist, ein Beschichtungsstoff auf die zu beschichtende Oberfläche gespritzt wird. Die Beschichtungsanlage wird in einer Verfahrensparametereinstellung betrieben. Die Verfahrensparameter sind variabel. Gesteuert wird die Beschichtungsanlage von einer Kontrolleinheit. Während des Probespritzens 12 verharzt die Spritzpistole bevorzugt in einer bestimmten Probespritzstellung. Zudem erfolgt das Probespritzen 12 erfindungsgemäß für die Dauer einer vordefinierten Probespritzzeit.

[0035] Die plane Ausgestaltung der Oberfläche, auf der der Probespritzfleck erzeugt wird, erleichtert einen zweiten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens, in dem eine Fleckbestimmung 13 erfolgt. Dabei wird von dem Probespritzfleck wenigstens ein geometrischer Istwert ermittelt. Die Fleckbestimmung 13 kann insbesondere mit Hilfe einer Koordinatenmessmaschine mit optischen Messinstrumenten und/oder mit taktilen Messins-

trumenten erfolgen. Die Messwerte der Koordinatenmessmaschine können in der Fleckbestimmung 13 insbesondere mittels numerischer Verfahren zur Bestimmung des zumindest einen geometrischen Istwerts dienen.

[0036] In einem dritten Schritt des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens 10 erfolgt eine Istwertprüfung 14. In der Istwertprüfung 14 wird der zumindest eine geometrische Istwert mit einem vorgegebenen, hinterlegten Sollwert abgeglichen. Der Sollwert kann erfindungsgemäß auch ein Sollwertbereich sein. Stimmt der zumindest eine geometrische Istwert nicht mit dem Sollwert überein, schließt sich in einem vierten Verfahrensschritt des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens 10 eine Parameteränderung 15 an. Stimmt der zumindest eine geometrische Istwert mit dem Sollwert überein, schließt sich in einem fünften Verfahrensschritt des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens 10 ein Spritzen 16 an.

[0037] In der Parameteränderung 15 wird eine Verstellung der Verfahrensparameter der Beschichtungsanlage vorgenommen. Die erste Verfahrensparametereinstellung wird in eine zweite Verfahrensparametereinstellung geändert.

[0038] Anschließend kann das Probespritzen 12 erneut vorgenommen und die Fleckbestimmung 13 und die Istwertprüfung 14 durchgeführt werden, solange bis keine Abweichung des geometrischen Istwerts vom Sollwert mehr ermittelt wird.

[0039] Bei dem Spritzen 16 wird auf das zu beschichtende Bauteil eine Beschichtung mit der Beschichtungsanlage in der aktuellen Verfahrensparametereinstellung aufgebracht.

[0040] In dem erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahren 10 sind das Probespritzen 12 und das Spritzen 16 identische Verfahrensarten, die mit derselben Beschichtungsanlage durchgeführt werden. Insbesondere sind das Spritzen 16 und das Probespritzen 12 Thermisches Spritzen. Thermisches Spritzen ist im Stand der Technik in verschiedenen Ausgestaltungen bekannt und soll hier nicht näher erläutert werden.

[0041] Das in dem erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahren 10 zu beschichtende Bauteil ist insbesondere ein Bauteil einer Gasturbine, insbesondere ist das zu beschichtende Bauteil eine Turbinenschaufel.

[0042] In der Figur 2 ist die Fleckbestimmung 13 des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens 10 in einer beispielhaften Ausführungsvariante in einem Flussdiagramm dargestellt. In der gezeigten Fleckbestimmung 13 werden beispielhaft in fünf Bestimmungen geometrische Istwerte bestimmt.

In einer Maximalschichtdickenbestimmung 18 wird als Istwert eine Maximalschichtdicke des Probespritzflecks ermittelt. Die Maximalschichtdicke wird in Bezug auf die Oberfläche, auf der der Probespritzfleck erzeugt wurde, in einer Normalen zur Oberfläche bestimmt. Die Stelle der Maximalschichtdicke stellt ein Zentrum des Probespritzflecks dar.

[0043] In einer Schichtdickenverteilungsbestimmung 19 wird als Istwert eine Verteilung der Schichtdicke des Probespritzflecks entlang einer Geraden ermittelt. Die Gerade ist dabei eine auf der Oberfläche, auf der der Probespritzfleck erzeugt wurde, verlaufende Achse. Die Schichtdickenverteilungsbestimmung 19 kann die Verteilung der Schichtdicke erfindungsgemäß auch auf verschiedenen auf der Oberfläche verlaufenden Achsen, die in verschiedene Richtungen weisen, ermittelt werden. Die Schichtdickenverteilung als Istwert kann insbesondere als Normalverteilung dargestellt werden. Insbesondere wird eine Normalverteilung für zwei Achsen definiert.

[0044] In einer Ausdehnungsbestimmung 20 wird als Istwert erfindungsgemäß eine Ausdehnung des Probespritzflecks auf der Oberfläche ermittelt. Insbesondere wird dazu die Standardabweichung der in der Schichtdickenverteilungsbestimmung 19 definierten Normalverteilungen ermittelt.

[0045] Alternativ wird bei der Ausdehnungsbestimmung 20 eine in einer Draufsicht auf die Oberfläche durch den Probespritzfleck bedeckte Fläche der Oberfläche ermittelt, insbesondere wird dabei eine durch den Probespritzfleck zusammenhängend bedeckte Fläche ermittelt.

[0046] In einer Volumenbestimmung 21 wird ein Volumen als Istwert des Probespritzflecks ermittelt. Das Volumen des Probespritzflecks ergibt sich insbesondere aus der Ausdehnung und der Schichtdicke des Probespritzflecks.

[0047] In einer Lagebestimmung 22 wird eine Lage des Probespritzflecks auf der Oberfläche ermittelt. Die Lagebestimmung 22 umfasst insbesondere eine Verschiebung des Zentrums des Probespritzflecks von einer Spritzstrahlachse sowie eine Verdrehung um die Spritzstrahlachse.

[0048] In der Figur 3 ist die Istwertprüfung 14 des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens 10 in einer beispielhaften Ausführungsvariante in einem Flussdiagramm dargestellt. In der gezeigten Istwertprüfung 14 werden entsprechend der Ausführung gemäß der Figur 3 fünf Istwerte jeweils mit einem Sollwert abgeglichen.

[0049] In einem Maximalschichtdickenabgleich 23 wird als Istwert die in der Maximalschichtdickenbestimmung 18 ermittelte Maximalschichtdicke des Probespritzflecks mit einer vordefinierten Schichtdicke oder einem vordefinierten Schichtdickenbereich als Sollwert abgeglichen. Die vordefinierte Schichtdicke oder der vordefinierte Schichtdickenbereich ist dabei insbesondere von der Probespritzzeit abhängig. Wird eine Abweichung der in der Maximalschichtdickenbestimmung 18 ermittelten maximalen Schichtdicke von der vordefinierten Schichtdicke oder von dem vordefinierten Schichtdickenbereich festgestellt, kann eine Maximalschichtdickenabweichungsregistrierung 24 erfolgen, in der die Maximalschichtdickenabweichung in ihrem Ausmaß erfasst wird.

[0050] In einem Schichtdickenverteilungsabgleich 25 wird als Istwert die in der Schichtdickenverteilungsbe-

stimmung 19 ermittelte Verteilung der Schichtdicke des Probespritzflecks mit einer vordefinierten Verteilung oder einem vordefinierten Verteilungsbereich als Sollwert abgeglichen. Die vordefinierte Verteilung oder der vordefinierte Verteilungsbereich ist dabei insbesondere von der Probespritzzeit abhängig. Wird eine Abweichung der in der Schichtdickenverteilungsbestimmung 19 ermittelten Verteilung der Schichtdicke von der vordefinierten Verteilung oder einem vordefinierten Verteilungsbereich festgestellt, kann eine Schichtdickenverteilungsabweichungsregistrierung 26 erfolgen, in der die Schichtdickenverteilungsabweichung in ihrem Ausmaß erfasst wird.

[0051] In einem Ausdehnungsabgleich 27 wird die als Istwert in der Ausdehnungsbestimmung 20 ermittelte Ausdehnung des Probespritzflecks auf der Oberfläche mit einer vordefinierten Ausdehnung oder einem vordefinierten Ausdehnungsbereich als Sollwert abgeglichen. Die vordefinierte Ausdehnung oder der vordefinierte Ausdehnungsbereich ist dabei insbesondere von der Probespritzzeit abhängig. Wird eine Abweichung der in der Ausdehnungsbestimmung 20 ermittelten Ausdehnung von der vordefinierten Ausdehnung oder dem vordefinierten Ausdehnungsbereich festgestellt, kann eine Ausdehnungsabweichungsregistrierung 28 erfolgen, in der die Ausdehnungsabweichung in ihrer Art und ihrem Ausmaß erfasst wird.

[0052] In einem Volumenabgleich 29 wird als Istwert das in der Volumenbestimmung 21 ermittelte Volumen des Probespritzflecks mit einem vordefinierten Volumen oder einem vordefinierten Volumenbereich als Sollwert abgeglichen. Das vordefinierte Volumen oder der vordefinierte Volumenbereich ist dabei insbesondere von der Probespritzzeit abhängig. Wird eine Abweichung des in der Volumenbestimmung 21 ermittelten Volumens von dem vordefinierten Volumen oder dem vordefinierten Volumenbereich festgestellt, kann eine Volumenabweichungsregistrierung 30 erfolgen, in der die Volumenabweichung in ihrem Ausmaß erfasst wird.

[0053] In einem Lageabgleich 31 wird als Istwert die in der Lagebestimmung 22 ermittelte Lage des Probespritzflecks auf der Oberfläche mit einer vordefinierten Lage oder einem vordefinierten Lagebereich als Sollwert abgeglichen. Die vordefinierte Lage oder der vordefinierte Lagebereich ist dabei insbesondere von der Probespritzstellung der Spritzpistole abhängig. Wird eine Abweichung der in der Lagebestimmung 22 ermittelten Lage von der vordefinierten Lage oder dem vordefinierten Lagebereich festgestellt, kann eine Lageabweichungsregistrierung 32 erfolgen, in der die Lageabweichung in ihrer Richtung und ihrem Drehwinkel und ihrem Ausmaß erfasst wird.

[0054] Insbesondere wenn alle Abgleiche 23, 25, 27, 29, 31 vorgenommen wurden, kann in einer Registrierungsprüfung 33 ermittelt werden, welche Abweichungen in den Registrierungen 24, 26, 28, 30, 32 erfasst wurden. Anschließend kann die Anpassung der Verfahrensparameter in der Parameteränderung 15 in Abhän-

gigkeit von Art und Umfang der ermittelten Abweichungen erfolgen.

[0055] Als Verfahrensparameter, die die Spritzfleckcharakteristika beeinflussen, sind insbesondere Spritzpistolenleistung, Spritzpulverförderate, Flussraten von Prozess- und Trägergasen, Spritzpistolenwinkel zum Bauteil und Spritzpistolenabstand vom Bauteil zu nennen. Diese Verfahrensparameter beeinflussen zudem eine Porosität und eine Rauheit der aufgetragenen Beschichtung. Als Verfahrensparameter, die die Lage beeinflussen, sind insbesondere Spritzpistolenposition, Spritzpistolenstellung, Spritzpistolenverdrehwinkel und Spritzpistolenwinkel zum Bauteil zu nennen.

[0056] Mithilfe des erfindungsgemäßen Beschichtungsverfahrens 10 können so Verfahrensparametereinstellungen bestimmt werden, die zum gewünschten Beschichtungsergebnis führen. Für die einzelnen Verfahrensparameter können Bereiche festgelegt werden, in denen das erhaltene Beschichtungsergebnis nicht vom gewünschten Beschichtungsergebnis abweicht. Auch eine Korrelation zwischen den verschiedenen Verfahrensparametern kann festgestellt und ein Prozessfenster für alle Verfahrensparameter bestimmt werden. Das Festlegen der einzelnen Verfahrensparameterbereiche kann erfindungsgemäß insbesondere in einer Offline-Programmierung erfolgen.

[0057] Das erfindungsgemäße Beschichtungsverfahren 10 kann zur Beschichtung des einen Bauteils mehrmals angewandt werden. Dadurch kann die Korrektheit des Spritzens 16 mehrmals während eines Beschichtungsvorgangs überprüft werden. Und dadurch kann eine höhere Güte der Beschichtung gewährleistet werden.

[0058] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen, wie er in den Ansprüchen definiert ist.

Patentansprüche

1. Beschichtungsverfahren (10) mittels thermischen Spritzens, bei dem durch ein Probespritzen (12) mit einer in einer ersten Verfahrensparametereinstellung betriebenen Beschichtungsanlage ein Probespritzfleck auf einer Oberfläche erzeugt wird, von dem Probespritzfleck anschließend in einer Fleckbestimmung (13) zumindest ein geometrischer Istwert ermittelt wird, wobei in der Fleckbestimmung (13) in einer Maximalschichtdickenbestimmung (18) eine Maximalschichtdicke des Probespritzflecks als Istwert, in einer Ausdehnungsbestimmung (20) eine Ausdehnung des Probespritzflecks auf der Oberfläche als Istwert und in einer Lagebestimmung (22) eine Lage des Pro-

bespritzflecks auf der Oberfläche als Istwert ermittelt werden,

wobei die Lagebestimmung (22) durch Messung der Verschiebung der Maximalschichtdicke zu einer Spritzstrahlachse und Ermittlung eines Drehwinkels um die Spritzstrahlachse erfolgt, anschließend die geometrischen Istwerte in einer Istwertprüfung (14) mit vordefinierten Sollwerten abgeglichen werden und anschließend,

wenn die Istwertprüfung (14) eine Abweichung der geometrischen Istwerte von den Sollwerten ergibt, in einer Parameteränderung (15) die erste Verfahrensparametereinstellung in eine zweite Verfahrensparametereinstellung geändert wird oder, wenn die Istwertprüfung (14) keine Abweichung der geometrischen Istwerte von den Sollwerten ergibt, durch Spritzen (16) mit der in der ersten Verfahrensparametereinstellung betriebenen Beschichtungsanlage ein Bauteil beschichtet wird.

2. Beschichtungsverfahren (10) nach Anspruch 1, wobei der Probespritzfleck auf einem Probewerkstück erzeugt wird.

3. Beschichtungsverfahren (10) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Fleckbestimmung (13) mit einer Koordinatenmessmaschine mit optischen Messinstrumenten oder mit taktilen Messinstrumenten vorgenommen wird.

4. Beschichtungsverfahren (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei in der Fleckbestimmung (13) in einer Schichtdickenverteilungsbestimmung (19) eine Verteilung der Schichtdicke des Probespritzflecks entlang zumindest einer auf der Oberfläche verlaufenden Achse ermittelt wird.

5. Beschichtungsverfahren (10) nach Anspruch 4, wobei in der Schichtdickenverteilungsbestimmung (19) die Schichtdickenverteilung durch eine Definition einer Normalverteilung bestimmt wird.

6. Beschichtungsverfahren (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei in der Ausdehnungsbestimmung (20) die Ausdehnung durch eine Definition einer Standardabweichung einer Normalverteilung quantifiziert wird.

7. Beschichtungsverfahren (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei in der Fleckbestimmung (13) in einer Volumenbestimmung (21) ein Volumen des Probespritzflecks ermittelt wird.

8. Beschichtungsverfahren (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

wobei als Bauteil ein Teil einer Gasturbine durch das Spritzen (16) beschichtet wird.

Claims

1. Coating method (10) by means of thermal spraying, in which a test spray spot is produced on a surface by means of a test spray (12) with a coating system operated in a first method parameter setting, at least one geometric actual value is then determined from the test spray spot in a spot determination (13), wherein a maximum coating thickness of the test spray spot is determined as an actual value in a maximum layer thickness determination (18) in the spot determination (13), in an extent determination (20), an extent of the test spray spot on the surface is determined as an actual value and, in a position determination (22), a position of the test spray spot on the surface is determined as an actual value, wherein the position determination (22) is carried out by measuring the displacement of the maximum layer thickness relative to a spray jet axis and determining an angle of rotation about the spray jet axis, the geometric actual values are then compared with predefined target values in an actual value check (14), and then when the actual value check (14) results in a deviation of the geometric actual value from the target values, in a parameter change (15), the first method parameter setting is changed to a second method parameter setting, or if the actual value check (14) results in no deviation of the geometric actual value from the target values, a component is coated by spraying (16) with the coating system operated in the first method parameter setting.
2. Coating method (10) according to Claim 1, wherein the test spray spot is produced on a test workpiece.
3. Coating method (10) according to Claim 1 or 2, wherein the spot determination (13) is performed with a coordinate measuring machine with optical measuring instruments or with tactile measuring instruments.
4. Coating method (10) according to one of Claims 1 to 3, wherein, in the spot determination (13), a distribution of the layer thickness of the test spray spot along at least one axis extending on the surface is determined in a layer thickness distribution determination (19).
5. Coating method (10) according to Claim 4, wherein, in the layer thickness distribution determi-

nation (19), the layer thickness distribution is determined by means of a definition of a normal distribution.

- 5 6. Coating method (10) according to one of the preceding claims, wherein, in the extent determination (20), the extent is quantified by a definition of a standard deviation of a normal distribution.
- 10 7. Coating method (10) according to one of Claims 1 to 6, wherein, in the spot determination (13), a volume of the test spray spot is determined in a volume determination (21).
- 15 8. Coating method (10) according to one of Claims 1 to 7, wherein, as a component, part of a gas turbine is coated by the spraying (16).
- 20

Revendications

- 25 1. Procédé (10) de revêtement au moyen d'une projection thermique, dans lequel on produit une tache de projection d'échantillon sur une surface par une projection (12) d'échantillon, par une installation de projection fonctionnant dans un premier réglage de paramètres de procédé, on détermine, par la tache de projection d'échantillon, ensuite dans une détermination (13) de tache, au moins une valeur géométrique réelle, dans lequel, dans la détermination (13) de tache, dans une détermination (18) d'épaisseur de couche maximum, une épaisseur de couche maximum de la tache de projection d'échantillon est prise comme valeur réelle, dans une détermination (20) d'étendue, on détermine une étendue de la tache de projection d'échantillon sur la surface comme valeur réelle et dans une détermination (22) de position, on détermine une position de la tache de projection d'échantillon sur la surface comme valeur réelle, dans lequel la détermination (22) de position s'effectue par mesure du décalage de l'épaisseur de couche maximum par rapport à un axe du faisceau de projection et par une détermination de l'angle de rotation autour de l'axe du faisceau de projection, les valeurs géométriques réelles étant, dans un contrôle (14) de valeur réelle, adaptées à des valeurs de consigne définies à l'avance et ensuite, si le contrôle (14) de valeur réelle donne un écart des valeurs géométriques réelles aux valeurs de consigne, dans une modification (15) de paramètres, on transforme le premier réglage de paramètres de procédé en un deuxième réglage de paramètres de procédé
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

ou,

si le contrôle (14) de valeur réelle ne donne pas d'écart des valeurs géométriques réelles aux valeurs de consigne,

on revêt (16) une pièce par projection par l'installation de revêtement fonctionnant suivant le premier réglage de paramètres de procédé. 5

2. Procédé (10) de revêtement suivant la revendication 1, dans lequel on produit la tache de projection d'échantillon sur une pièce d'échantillon. 10
3. Procédé (10) de revêtement suivant la revendication 1 ou 2, dans lequel on effectue la détermination (13) de tache par une machine de mesure de coordonnées à instruments de mesure optiques ou à instruments de mesure tactiles. 15
4. Procédé (10) de revêtement suivant l'une des revendications 1 à 3, dans lequel, dans la détermination (13) de tache, on détermine, dans une détermination (19) de répartition d'épaisseur de couche, une répartition des épaisseurs de couche de la tache de projection d'échantillon le long d'au moins un axe s'étendant sur la surface. 20
25
5. Procédé (10) de revêtement suivant la revendication 4, dans lequel, dans la détermination (19) de répartition d'épaisseur de couche, on détermine la répartition d'épaisseur de couche par une définition d'une répartition normale. 30
6. Procédé (10) de revêtement suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel, dans la détermination (20) de l'étendue, on quantifie l'étendue par une définition d'un écart-type d'une répartition normale. 35
40
7. Procédé (10) de revêtement suivant l'une des revendications 1 à 6, dans lequel, dans la détermination (13) de tache, on détermine, dans une détermination (21) de volume, un volume de la tache de projection d'échantillon. 45
8. Procédé (10) de revêtement suivant l'une des revendications 1 à 7, dans lequel on revêt (16) par projection, comme pièce, une partie d'une turbine à gaz. 50

55

FIG 1

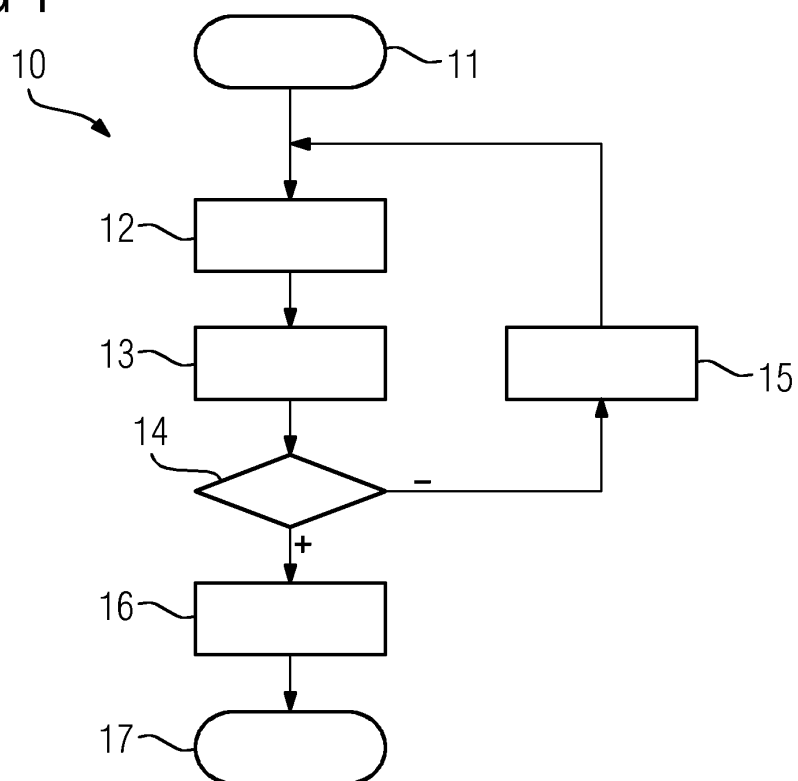


FIG 2

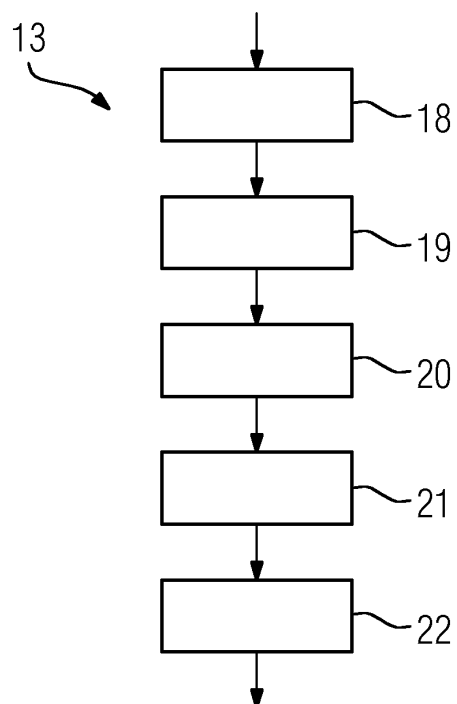
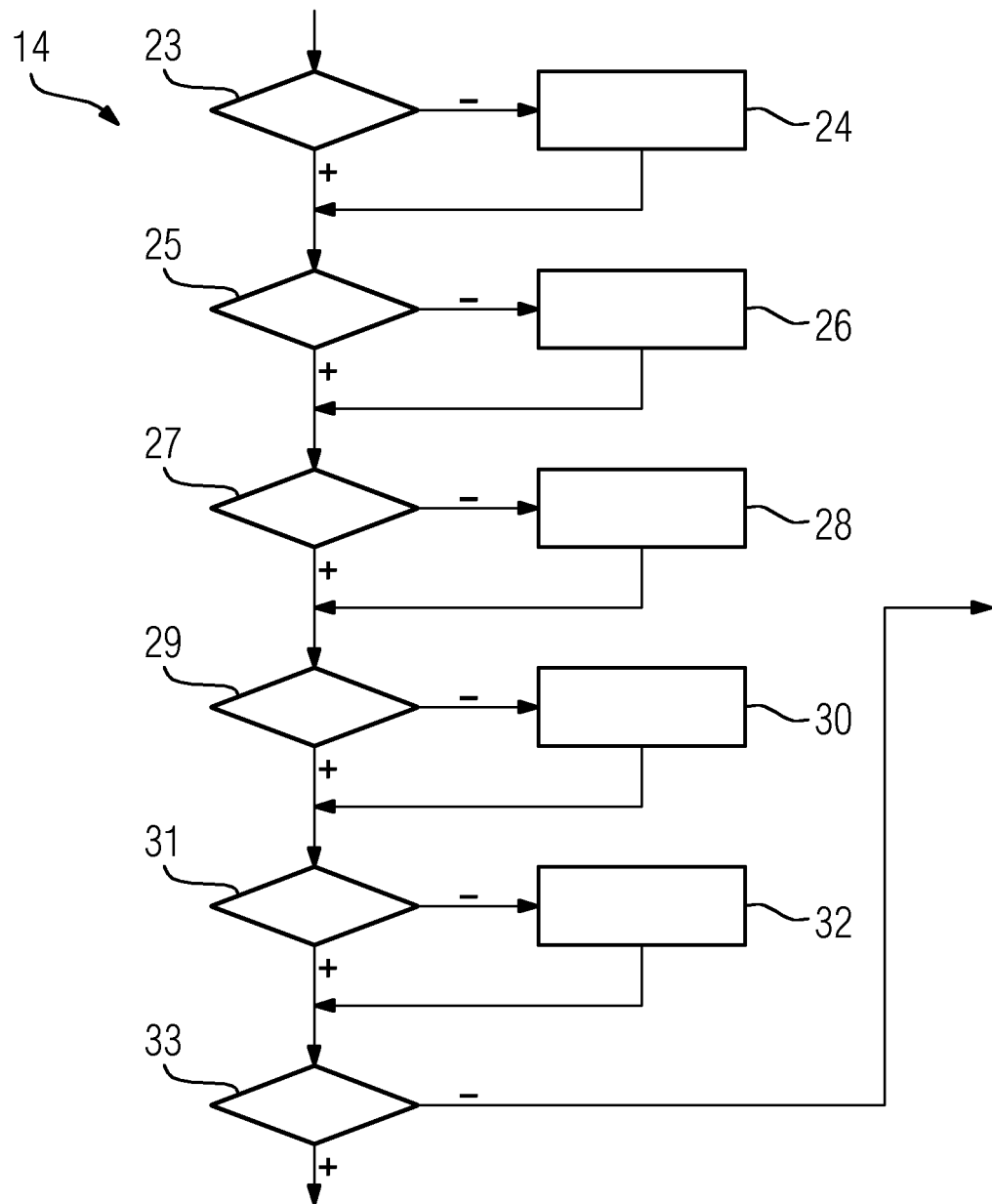


FIG 3



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 20120269958 A1 [0002] [0018]
- DE 3320160 A1 [0003]
- US 6478875 B1 [0004]
- EP 1074902 A1 [0005]
- EP 2019283 A2 [0006]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **WIEDERKEHR T et al.** Acquisition and Optimization of Three-Dimensional Spray Footprint Profiles for Coating Simulations. *JOURNAL OF THERMAL SPRAY TECHNOLOGY*, August 2013, vol. 22 (6), ISSN 1059-9630, 1044-1052 [0007]