

(19)



(11)

EP 2 876 183 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
17.04.2019 Patentblatt 2019/16

(51) Int Cl.:
C23C 4/12 ^(2016.01) **F01D 5/28** ^(2006.01)
B05D 1/02 ^(2006.01) **B05B 12/00** ^(2018.01)
B05B 13/04 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14188316.5**

(22) Anmeldetag: **09.10.2014**

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum automatisierten Aufbringen einer Spritzbeschichtung**

Method and device for automatically applying a spray coating

Procédé et dispositif d'application automatique d'un revêtement par pulvérisation

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

(30) Priorität: **20.11.2013 DE 102013223688**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.05.2015 Patentblatt 2015/22

(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
16547 Birkenwerder (DE)**
- **Sadovoy, Alexandr
14059 Berlin (DE)**
- **Witzel, Martin
16547 Birkenwerder (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 1 864 719 EP-A2- 2 468 463
DE-A1-102004 010 782 DE-B4-102007 010 049

EP 2 876 183 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 zum automatisierten Aufbringen einer Spritzbeschichtung auf eine zu beschichtende Bauteilfläche eines Bauteils. Das Bauteil kann insbesondere ein Turbinenbauteil sein, wie etwa eine Turbinenschaufel. Daneben betrifft die vorliegende Erfindung eine Beschichtungsvorrichtung zum automatisierten Aufbringen einer Spritzbeschichtung auf eine zu beschichtende Bauteilfläche eines Bauteils.

[0002] Beispielsweise bei der Beschichtung von Turbinenbauteilen, insbesondere von Turbinenschaufeln, mit Haftvermittlungs-, Wärmedämm- und/oder Oxidations- und korrosionshemmenden Schichten mittels Spritzverfahren kann es während der Beschichtung zu stochastischen Prozessabweichungen kommen. Hierzu zählen u. a. Änderungen der Form und der Größe des Spritzfleckens aufgrund des Verschleißes der Elektrode in der Spritzvorrichtung, Schwankungen in der Pulverzufuhr, Anlagenausfälle, etc. Letztendlich führen signifikante Änderungen bisher immer zu einem Prozessabbruch bzw. zu einer Fehlleistung, d. h. das beschichtete Bauteil muss entschichtet und anschließend wieder neu beschichtet werden, oder das beschichtete Bauteil zeigt Abweichungen von den Spezifikationen oder ist sogar Schrott.

[0003] Die EP 1 864 719 A1 beschreibt ein Verfahren zum Vorhersagen der Dicke einer Spritzbeschichtung in einem robotischen Spritzprozess.

[0004] Die EP 2 468 463 A2 beschreibt ein Verfahren zum Erzeugen von Beschichtungspfaden für Komponenten mit komplizierten Geometrien wie etwa von Lauf- und Leitschaufeln von Gasturbinen. Für einen ersten vorgegebenen Beschichtungspfad wird anhand eines Simulationsmodells für das Spritzprofil offline die Beschichtungsdicke berechnet. Ist die Beschichtungsdicke innerhalb der Toleranzen, wird das Verfahren zum Erzeugen des Beschichtungspfades beendet. Ist die Beschichtungsdicke nicht innerhalb der Toleranzen erfolgt eine Anpassung des Beschichtungspfades und ein neues Simulieren der Beschichtung, um die Beschichtungsdicke zu ermitteln.

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein vorteilhaftes Verfahren und eine vorteilhafte Vorrichtung zum automatisierten Aufbringen einer Spritzbeschichtung auf eine zu beschichtende Bauteilfläche eines Bauteils zur Verfügung zu stellen, die ein rasches Reagieren auf Abweichungen der Beschichtung von der gewünschten Beschichtung ermöglichen. Diese Aufgabe wird durch ein Beschichtungsverfahren nach Anspruch 1 bzw. eine Beschichtungsvorrichtung nach Anspruch 16 gelöst. Daneben ist es eine Aufgabe, eine vorteilhafte Überwachungsvorrichtung zum Überwachen des automatisierten Aufbringens einer Spritzbeschichtung zur Verfügung zu stellen. Diese Aufgabe wird durch eine Überwachungsvorrichtung nach Anspruch 13 gelöst. Die abhängigen Ansprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen

der Erfindung.

[0006] Das erfindungsgemäße Beschichtungsverfahren zum automatisierten Aufbringen einer Spritzbeschichtung auf eine zu beschichtende Bauteilfläche eines Bauteils umfasst die Schritte:

a) Beschichten der zu beschichtenden Bauteilfläche unter Verwendung eines Spritzprozesses, wobei eine Spritzdüse beim Beschichten entlang einer bestimmten Bahn relativ zu der zu beschichtenden Bauteilfläche verfahren wird.

b) Zeitaufgelöstes Erfassen der Bahndaten der Spritzdüse relativ zu der zu beschichtenden Bauteilfläche.

c) Zeitaufgelöstes Erfassen der Prozessdaten des Beschichtungsprozesses, etwa der Prozessparameter und/oder von Daten der Prozesskontrolle. Die erfassten Prozessdaten können dabei relativ zu der zu beschichtenden Bauteilfläche erfasst werden oder an die erfassten Bahndaten gekoppelt werden. Auf diese Weise besteht entweder eine direkte Zuordnung der zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgenommenen Prozessdaten zu einem bestimmten Ort der Bauteilfläche oder eine indirekte Zuordnung dadurch, dass die zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgenommenen Prozessdaten über die zum selben Zeitpunkt erfassten Bahndaten einem Ort auf der zu beschichtenden Bauteilfläche zugeordnet werden.

d) Simulieren des Spritzprozesses anhand der erfassten Bahndaten, der erfassten Prozessdaten und der Geometrie der zu beschichtenden Bauteilfläche, um eine simulierte Beschichtung zu erhalten. Hierbei braucht die simulierte Beschichtung keine vollständige Beschichtung zu sein. Es reicht, die Beschichtung bis zum jeweils beim Simulieren der Beschichtung aktuellen Fertigstellungsgrad der tatsächlichen Beschichtung zu simulieren, beispielsweise wenn die Simulation parallel zum Spritzprozess erfolgt.

e) Berechnen einer Abweichung der simulierten Beschichtung von einer gewünschten Beschichtung, insbesondere bezüglich der Schichtdicke und/oder der Schichtqualität, die sich z. B. in ihrer Porosität widerspiegeln kann.

[0007] Das Simulieren der Beschichtung anhand der erfassten Bahndaten und der erfassten Prozessdaten ermöglicht es, rasch eine Abweichung der tatsächlichen Beschichtung von der angestrebten Beschichtung zu ermitteln, was es wiederum ermöglicht, insbesondere in einer automatisierten Weise rasch Korrekturen an der Beschichtung vorzunehmen. Ein automatisiertes Korrigieren der Beschichtung auf der zu beschichtenden Bauteilfläche kann insbesondere dann erfolgen, wenn die Berechnung der Abweichung eine Abweichung der si-

mulierten Beschichtung von der gewünschten Beschichtung ergibt, die eine zulässige Abweichung überschreitet. Wenn die Berechnung der Abweichung während oder unmittelbar nach dem Spritzprozess erfolgt, kann eine eventuelle Korrektur vorgenommen werden, noch bevor die Turbinenschaufel aus der Beschichtungsmaschine genommen wird. Auf diese Weise ist kein erneutes Einspannen der Turbinenschaufel in die Beschichtungsmaschine nötig, wodurch gewährleistet ist, dass die Orientierung der Turbinenschaufel während der Korrektur mit der Orientierung während des ursprünglichen Spritzprozesses übereinstimmt.

[0008] In einer Variante zum Korrigieren der Beschichtung erfolgt das Korrigieren, indem nach dem Beenden des Spritzprozesses, für den die Bahndaten und die Prozessdaten zeitaufgelöst erfasst wurden, mittels eines weiteren Spritzprozesses eine Korrekturbeschichtung aufgebracht wird. Dies kann unmittelbar im Anschluss an das Aufbringen der die Abweichung aufweisende ursprüngliche Beschichtung erfolgen, sodass ein Ausspannen und Neueinspannen der Schaufel in die Beschichtungsmaschine nicht notwendig ist. Die Bahndaten und die Prozessdaten für den weiteren Spritzprozess werden aus der Abweichung der mit dem simulierten Spritzprozess gewonnenen simulierten Beschichtung von der gewünschten Beschichtung ermittelt.

[0009] Erfindungsgemäß erfolgt das Simulieren des Spritzprozesses während der Durchführung desjenigen Spritzprozesses, bei dem die Bahndaten und die Prozessdaten zeitaufgelöst erfasst werden. Mit anderen Worten, es erfolgt während des ursprünglichen Spritzprozesses eine Online-Simulation dieses Spritzprozesses. Zwar kann auch in diesem Fall mit dem Korrigieren der Beschichtung abgewartet werden, bis die ursprüngliche Beschichtung fertig gestellt ist, jedoch bietet das Online-Simulieren die Möglichkeit, die Prozessdaten des aktuellen Spritzprozess mittels Korrekturdaten zu korrigieren. Die Korrekturdaten werden dabei aus der Abweichung der mit dem simulierten Spritzprozess gewonnenen simulierten Beschichtung von der gewünschten Beschichtung ermittelt. Während des Korrigierens der Beschichtung können das Aufbringen der Beschichtung und das Korrigieren der Beschichtung in demselben Spritzprozess erfolgen. Dabei ist es vorteilhaft, wenn die Korrekturdaten innerhalb einer Zeitspanne im Bereich von weniger als 5 Sekunden, insbesondere von weniger als 1 Sekunde und vorzugsweise im Bereich von weniger als 100 Millisekunden ermittelt werden, sodass eine rasche Korrektur möglich ist, d. h. noch so lange sich die Spritzdüse noch in oder in der Nähe des zu korrigierenden Beschichtungsbereiches befindet.

[0010] In einer speziellen Weiterbildung der Erfindung können anhand der Abweichung der mit dem simulierten Spritzprozess gewonnenen simulierten Beschichtung von der gewünschten Beschichtung aktualisierte Bahndaten und/oder aktualisierte Prozessdaten ermittelt werden, auf Basis derer die Bahndaten und/oder die Prozessdaten für den nächsten für ein Bauteil mit derselben

Geometrie der zu beschichtenden Oberfläche durchzuführenden Spritzprozess aktualisiert werden. Auf diese Weise können beim nächsten Bauteil die beim zuvor beschichteten Bauteil festgestellten Abweichungen zwischen der simulierten Beschichtung und der tatsächlichen Beschichtung vermieden oder zumindest reduziert werden.

[0011] In einer anderen Weiterbildung der Erfindung kann die Abweichung der mit dem simulierten Spritzprozess gewonnenen simulierten Beschichtung von der gewünschten Beschichtung graphisch dargestellt werden. Eine derartige Darstellung kann einem Operator sinnvolle Hinweise zum durchgeführten Spritzprozess liefern. Wenn die graphische Darstellung innerhalb einer Zeitspanne im Bereich von weniger als 5 Sekunden, insbesondere weniger als 1 Sekunde und vorzugsweise im Bereich von weniger als 100 Millisekunden generiert wird, kann eine Online-Überwachung des gerade durchgeführten Spritzprozesses erreicht werden.

[0012] Eine erfindungsgemäße Überwachungsvorrichtung zum Überwachen eines automatisierten Aufbringens einer Spritzbeschichtung auf eine zu beschichtende Bauteilfläche eines Bauteils, das insbesondere ein Turbinenbauteil sein kann, mittels einer Spritzvorrichtung mit einer im Rahmen eines Spritzprozesses entlang einer bestimmten Bahn relativ zu der zu beschichtenden Bauteilfläche verfahrbaren Spritzdüse und mit einer Steuereinheit zum Steuern des Spritzprozesses umfasst:

a) Eine Eingabeschnittstelle zum Eingeben von die Geometrie der zu beschichtenden Oberfläche des Bauteils repräsentierenden Geometriedaten.

b) Eine Bahndatenerfassungseinrichtung zum zeitaufgelösten Erfassen der Bahndaten der Spritzdüse relativ zu der zu beschichtenden Bauteilfläche.

c) Eine Prozessdatenerfassungseinrichtung zum zeitaufgelösten Erfassen der Prozessdaten des unter Verwendung der Spritzdüse durchgeführten Beschichtungsprozesses. Die Prozessdaten können hierbei etwa Prozessparameter und/oder Daten der Prozesskontrolle sein. Das zeitaufgelöste Erfassen der Prozessdaten kann dabei wie mit Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren ausgeführt worden ist, relativ zu der zu beschichtenden Bauteilfläche erfolgen, oder die zeitaufgelösten Prozessdaten können an die zeitaufgelösten Bahndaten gekoppelt werden.

d) Eine mit der Eingabeschnittstelle zum Empfangen der Geometriedaten, mit der Bahndatenerfassungseinrichtung zum Empfangen der zeitaufgelösten erfassten Bahndaten und mit der Prozessdatenerfassungseinrichtung zum Empfangen der zeitaufgelösten erfassten Prozessdaten verbundene Simulationseinheit. Diese ist dazu ausgelegt, das Aufbringen der

Spritzbeschichtung auf die zu beschichtende Bauteilfläche anhand der zeitaufgelöst erfassten Bahn-
daten, der zeitaufgelösten erfassten Prozessdaten
und der Geometrie der zu beschichtenden Bauteil-
fläche zu simulieren und in Form von Simulations-
daten einer simulierten Beschichtung zur Ausgabe
bereitzuhalten. Dabei erfolgt das Simulieren des
Spritzprozesses während der Durchführung desje-
nigen Spritzprozesses, bei dem die Bahn- und
die Prozessdaten zeitaufgelöst erfasst werden.

e) Eine mit der Simulationseinheit zum Empfangen
der Simulationsdaten verbundene Abweichungsbe-
rechnungseinheit zum Berechnen einer Abwei-
chung der simulierten Beschichtung von der ge-
wünschten Beschichtung, beispielsweise bezüglich
Schichtdicke und/oder Schichtqualität, wie etwa der
Porosität der Schicht.

[0013] Die erfindungsgemäße Überwachungs-
vorrichtung ermöglicht zusammen mit einer Spritz-
vorrichtung das Durchführen des erfindungs-
gemäßen Verfahrens und erlaubt es somit, die mit
Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren be-
schriebenen Eigenschaften und Vorteile zu reali-
sieren. Auf die mit Bezug auf das erfindungs-
gemäße Verfahren beschriebenen Eigenschaften
und Vorteile wird daher verwiesen.

[0014] In einer Weiterbildung der erfindungs-
gemäßen Überwachungs- und Spritzvorrichtung
umfasst diese außerdem eine Korrekturdatenbe-
rechnungseinheit, die mit der Abweichungsbe-
rechnungseinheit zum Empfangen der berech-
neten Abweichung verbunden ist. Die Korrektur-
datenberechnungseinheit berechnet Korrektur-
daten zum Korrigieren der Beschichtung auf der
zu beschichtenden Bauteilfläche, wenn die be-
rechnete Abweichung eine zulässige Abweichung
überschreitet. Die Korrekturdatenberechnungs-
einheit ermöglicht daher das oben im Rahmen
des erfindungsgemäßen Verfahrens beschriebene
Korrigieren der aufgetragenen Beschichtung, ins-
besondere wenn sie Teil einer Beschichtungs-
vorrichtung ist, die außerdem eine Spritz-
vorrichtung mit einer im Rahmen eines Spritz-
prozesses entlang einer bestimmten Bahn relativ
zu der zu beschichtenden Bauteilfläche ver-
fahrbaren Spritzdüse und mit einer Steuereinheit
zum Steuern des Spritzprozesses aufweist. Dabei
besteht die Möglichkeit, die Beschichtung noch
während der Durchführung des ursprünglichen
Beschichtungsprozesses zu korrigieren, d. h. eine
In-process Korrektur vorzunehmen, wenn die
Steuereinheit der Spritzvorrichtung mit der
Korrekturdatenberechnungseinheit zum Emp-
fangen der Korrekturdaten verbunden ist. Aber
auch eine nachgeschaltete Korrektur, d. h. eine
Korrektur nach dem vollständigen Aufbringen
der ursprünglichen Beschichtung ist mit dieser
Ausgestaltung möglich. Ebenso ermöglicht diese
Ausgestaltung das Überarbeiten der Bahn- und
Prozessdaten für das Aufbringen der Beschich-
tung auf das nächste zu beschichtende Bauteil
mit derselben Oberflächengeometrie der zu be-
schichtenden Bauteilfläche.

che.

[0015] Die erfindungsgemäße Überwachungs-
vorrichtung kann gemäß einer zusätzlichen oder
alternativen Weiterbildung eine Darstellungsein-
heit umfassen, die mit der Abweichungsbe-
rechnungseinheit zum Empfang der berechneten
Abweichung verbunden ist und die ein Dar-
stellungssignal zum visuellen Darstellen der Ab-
weichung generiert. Die visuelle Darstellung kann
einem Operator wertvolle Hinweise zum Be-
schichtungsprozess liefern. Weitere Merkmale,
Eigenschaften und Vorteile der vorliegenden
Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden
Beschreibung von Ausführungsbeispielen unter
Bezugnahme auf die beiliegenden Figuren:

Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine
erfindungsgemäße Beschichtungs-
vorrichtung in Form eines Blockschaltbilds.

Figur 2 zeigt beispielhaft eine Gasturbine in
einem Längsteilschnitt.

Figur 3 zeigt in perspektivischer Ansicht eine
Laufschaukel oder Leitschaukel einer Strömungs-
maschine.

Figur 4 zeigt eine Brennkammer 110 einer Gas-
turbine.

[0016] Nachfolgend wird anhand des Block-
schaltbilds der grundlegende Aufbau eines exem-
plarischen Ausführungsbeispiels für eine erfindungs-
gemäße Beschichtungs- und Spritzvorrichtung
anhand von Figur 1 beschrieben. Die Beschich-
tungs- und Spritzvorrichtung des vorliegenden
Ausführungsbeispiels beinhaltet eine Spritz-
vorrichtung 1, die eine Spritzdüse 3 und eine
Steuereinheit 5 umfasst. Die Spritzdüse 3 kann
zum Aufbringen einer Spritzbeschichtung auf
eine zu beschichtende Bauteilfläche eines Bau-
teils relativ zu der zu beschichtenden Bauteil-
fläche verfahren werden. Im vorliegenden Aus-
führungsbeispiel handelt es sich bei dem zu be-
schichtenden Bauteil um ein Turbinenbauteil,
nämlich um eine in Figur 1 schematisch dar-
gestellte Turbinenschaukel 7. Diese weist ein
Schaufelblatt 9, eine an das Schaufelblatt 9 an-
grenzende Schaufelplattform 11 und einen von
der Schaufelplattform ausgehenden Schaufel-
fuß 13 auf. Die zu beschichtende Bauteilfläche
entspricht bei einer derartigen Turbinen-
schaukel in der Regel der Oberfläche des
Schaufelblatts 9 und Teilen der Oberfläche der
Schaufelplattform 11. Die Oberfläche des
Schaufelfußes und die dem Schaufelfuß zu-
gewandten Abschnitte der Oberfläche der
Schaufelplattform 11 werden dagegen in der
Regel nicht spritzbeschichtet. Obwohl die vor-
liegende Erfindung gemäß dem Ausführungs-
beispiel anhand des Spritzbeschichtens einer
Turbinenschaukel 7 beschrieben wird, kann die
Erfindung auch im Rahmen des Beschichtens
von Flächen anderer Bauteile, insbesondere
anderer Turbinenbauteile zur Anwendung
kommen. Beispiele für andere Turbinenbauteile
sind etwa Brennkammeraus-

kleidungen oder Brennteile.

[0017] Um ein Verfahren der Spritzdüse 3 relativ zu der zu beschichtenden Oberfläche der Turbinenschaufel 7 zu ermöglichen, weist die Spritzvorrichtung 1 eine in Figur 1 nicht dargestellte Kinematik auf, die jede geeignete Kinematik sein kann, welche genügend Freiheitsgrade zur Verfügung stellt, um das Beschichten der zu beschichtenden Oberfläche der Turbinenschaufel 7 zu ermöglichen. Beispielsweise kann ein Roboterarm Verwendung finden, insbesondere einer, der 6 Freiheitsgrade, nämlich 3 translatorische Freiheitsgrade und 3 rotatorische Freiheitsgrade, zur Verfügung stellt.

[0018] Die Steuereinheit 5 der Spritzvorrichtung 1 steuert die Bahn, entlang der die Spritzdüse 3 beim Beschichten der zu beschichtenden Oberfläche der Turbinenschaufel 7 relativ zu der zu beschichtenden Oberfläche verfahren wird. Daneben steuert die Steuereinheit 5 die Spritzparameter des Spritzprozesses, die je nach verwendeten Spritzverfahren unterschiedliche Parameter sein können. Als Parameter kommen beispielsweise die Zufuhrate, mit der das Spritzpulver zugeführt wird, und, je nach Spritzverfahren, eine angelegte Spannung, eine Zufuhrate für Brenngas, etc. in Betracht. Parameter, die indirekt von der Steuerung beeinflusst werden können, sind beispielsweise die kinetische Energie, mit der die verspritzten Partikel auf die zu beschichtende Bauteilfläche auftrifft, der Grad bis zu dem die verspritzten Partikel aufgeschmolzen werden, wobei die Partikel entweder gar nicht aufgeschmolzen werden, wie etwa beim Kaltgasspritzen, teilweise aufgeschmolzen werden oder vollständig aufgeschmolzen werden. Als Spritzverfahren kommen beispielsweise atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), Niederdruck Plasmaspritzen (LPPS - Low Pressure Plasma Spraying), Niedervakuum Plasmaspritzen (LVPS - Low Vacuum Plasma Spraying), Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF High Velocity Oxygen-Fuel) und vergleichbare thermische Spritzverfahren in Betracht.

[0019] Die erfindungsgemäße Beschichtungsvorrichtung umfasst weiterhin eine erfindungsgemäße Überwachungsvorrichtung, mit der der Spritzprozess überwacht werden kann. Diese Überwachungsvorrichtung 14 umfasst eine Eingabeschnittstelle 15, über die Geometriedaten der zu beschichtenden Oberfläche in die Überwachungsvorrichtung eingegeben werden können. Die Geometriedaten können beispielsweise aus einem computerimplementierten Modell der Turbinenschaufel 7 gewonnen werden. Des Weiteren können die Geometriedaten auch Daten zur Lage und Orientierung der Turbinenschaufel 7 bzw. des jeweils zu beschichtenden Bauteils in der Beschichtungsvorrichtung umfassen.

[0020] Außerdem umfasst die Überwachungsvorrichtung eine Bahndatenerfassungseinheit 17 sowie eine Prozessdatenerfassungseinheit 19. Die beiden Einheiten sind mit der Steuereinheit 5 der Spritzvorrichtung 1 verbunden und empfangen von der Steuereinheit 5 zeitaufgelöst die Bahndaten der Spritzdüse 13 relativ zur zu beschichtenden Oberfläche der Turbinenschaufel 7 bzw.

zeitaufgelöst die Prozessdaten, die dem Spritzprozess zugrunde liegen. Die Bahndaten enthalten dabei sowohl Daten über die Position der Spritzdüse als auch über ihre Orientierung, jeweils relativ zu der zu beschichtenden Bauteilfläche. Das zeitaufgelöste Erfassen der Prozessdaten kann dabei an das zeitaufgelöste Erfassen der Bahndaten gekoppelt sein, sodass für einen beliebigen Zeitpunkt jeweils ein Paar aus den Bahndaten und den zugehörigen Prozessdaten gebildet wird. Da die zeitaufgelösten Bahndaten mit Bezug auf die zu beschichtende Bauteiloberfläche erfasst werden, also für jeden Zeitpunkt des Erfassens von Bahndaten die Position und Orientierung der Spritzdüse relativ zu der zu beschichtenden Oberfläche bekannt ist, ist diese Position und die zugehörige Orientierung der Spritzdüse auch für jeden Zeitpunkt des Erfassens der Prozessdaten bekannt.

[0021] Auf der Basis der zeitaufgelösten Bahndaten und der zeitaufgelösten Prozessdaten in Verbindung mit den Geometriedaten der zu beschichtenden Bauteilfläche ist eine Simulation des Spritzprozesses möglich. Hierzu umfasst die Überwachungsvorrichtung 14 eine Simulationseinheit 21, die zum Empfangen der Geometriedaten für die zu beschichtende Oberfläche mit der Eingabeschnittstelle 15, zum Empfangen der zeitaufgelösten Bahndaten mit der Bahndatenerfassungseinheit 17 und zum Empfangen der zeitaufgelösten Prozessdaten mit der Prozessdatenerfassungseinheit 19 verbunden ist. In der Simulationseinheit wird das Aufbringen der Spritzbeschichtung auf die zu beschichtende Oberfläche der Turbinenschaufel 7 anhand der Geometrie der zu beschichtenden Oberfläche, der zeitaufgelösten Bahndaten und der zeitaufgelösten Prozessdaten simuliert. Das Ergebnis der Simulation hält die Simulationseinheit in Form von Simulationsdaten zur Ausgabe bereit.

[0022] Mit der Simulationseinheit 21 ist eine Abweichungsberechnungseinheit 23 zum Empfangen der Simulationsdaten verbunden. Die Abweichungsberechnungseinheit 23 berechnet auf der Basis der Simulationsdaten eine Abweichung der simulierten Beschichtung von der gewünschten Beschichtung. Abweichungen können hierbei beispielsweise bezüglich der Schichtdicke oder der Schichtqualität vorliegen. Abweichungen in der Schichtqualität können beispielsweise Abweichungen in der Mikrostruktur der simulierten Schicht von der gewünschten Mikrostruktur oder Abweichungen in der Porosität der simulierten Schicht von der gewünschten Porosität sein.

[0023] Im Rahmen des vorliegenden Ausführungsbeispiels wird die ermittelte Abweichung an eine mit der Abweichungsberechnungseinheit 23 verbundene Darstellungseinheit 25 ausgegeben, die ein Darstellungssignal generiert, welches die visuelle Darstellung der Abweichung auf einem Monitor 27 oder einer anderen geeigneten Anzeigeeinheit ermöglicht. Auf diese Weise erhält der Operator der Spritzvorrichtung sinnvolle Hinweise auf mögliche Risiken beim durchgeführten Spritzprozess.

[0024] Die ermittelte Abweichung der simulierten Be-

schichtung von der gewünschten Beschichtung wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel darüber hinaus an eine mit der Abweichungsberechnungseinheit verbundene Korrekturdatenberechnungseinheit 29 ausgegeben. Die Korrekturdatenberechnungseinheit 29 überprüft, ob die von der Abweichungsberechnungseinheit 23 berechnete Abweichung eine zulässige Abweichung überschreitet. Falls dies der Fall ist, berechnet die Korrekturdatenberechnungseinheit Korrekturdaten, mit denen die Beschichtung auf der zu beschichtenden Bauteilfläche korrigiert werden kann. Mittels dieser Korrekturdaten kann dann beispielsweise in einem nach Abschluss des ursprünglichen Beschichtungsprozesses durchgeführten weiteren Beschichtungsprozess eine Korrektur der ursprünglichen Beschichtung vorgenommen werden. Der zweite Beschichtungsprozess kann dabei unmittelbar nach Beendigung des ersten Beschichtungsprozesses durchgeführt werden, sodass die Turbinenschaufel in der Beschichtungsvorrichtung aufgespannt bleiben kann. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die Orientierung der zu beschichtenden Bauteilfläche während des zweiten Beschichtungsprozesses der Orientierung während des ersten Beschichtungsprozesses entspricht. Die Korrekturdaten zum Korrigieren der Beschichtung können, wie im vorliegenden Ausführungsbeispiel dargestellt, von der Korrekturdatenberechnungseinheit direkt an die Steuereinheit 5 der Spritzvorrichtung 1 ausgegeben werden, sodass eine automatisierte Korrektur erfolgen kann.

[0025] In einer alternativen Ausgestaltung des Korrigierens der Beschichtung erfolgt das Korrigieren noch im Rahmen des ursprünglichen Beschichtungsprozesses. Hierzu erfolgt die Simulation des Beschichtungsprozesses, das Berechnen der Abweichung der simulierten Beschichtung von der gewünschten Beschichtung und das Berechnen der Korrekturdaten mit einem kurzen Zeitversatz zum laufenden Beschichtungsprozess. Der Zeitversatz sollte möglichst kleiner sein als 5 Sekunden, insbesondere kleiner als 1 Sekunde und vorzugsweise im Bereich von weniger als 100 Millisekunden liegen, um möglichst rasch auf den gerade durchgeführten Beschichtungsprozess einwirken zu können. Um eine derartige automatisierte direkte Einflussnahme auf den Beschichtungsprozess zu ermöglichen, sind im Steuerprogramm für den Spritzprozess ausgewählte Haltepunkte im Programmablauf vorhanden, an denen die Prozessdaten und/oder die Bahndaten des Beschichtungsprozesses aktualisiert werden können. Hierzu muss das in der Steuereinheit 5 der Spritzvorrichtung ablaufende Steuerprogramm ein up- und downloaden von Steuerprogrammen oder Prozess- und/oder Bahndaten ermöglichen.

[0026] Auch im Falle der visuellen Darstellung der Abweichungen ohne automatisierte Berechnung von Korrekturdaten ist eine Darstellung bereits während des Spritzprozesses vorteilhaft, da der Operator dann gegebenenfalls den Spritzprozess anhalten kann, um eine korrigierende Änderung vornehmen zu können oder einen untauglichen Beschichtungsprozess frühzeitig zu

stoppen.

[0027] Weiterhin ermöglicht das beschriebene Überwachen des Spritzprozesses, die Bahndaten und/oder die Prozessdaten für den nächsten Spritzprozess mit einer identischen zu beschichtenden Oberfläche anzupassen, um die festgestellte Abweichung der simulierten Beschichtung von der gewünschten Beschichtung zu reduzieren oder vollständig zu eliminieren.

[0028] Die Figur 2 zeigt beispielhaft eine Gasturbine 100 in einem Längsteilschnitt.

[0029] Die Gasturbine 100 weist im Inneren einen um eine Rotationsachse 102 drehgelagerten Rotor 103 mit einer Welle 101 auf, der auch als Turbinenläufer bezeichnet wird.

[0030] Entlang des Rotors 103 folgen aufeinander ein Ansauggehäuse 104, ein Verdichter 105, eine beispielsweise torusartige Brennkammer 110, insbesondere Ringbrennkammer, mit mehreren koaxial angeordneten Brennern 107, eine Turbine 108 und das Abgasgehäuse 109.

[0031] Die Ringbrennkammer 110 kommuniziert mit einem beispielsweise ringförmigen Heißgaskanal 111. Dort bilden beispielsweise vier hintereinander geschaltete Turbinenstufen 112 die Turbine 108.

[0032] Jede Turbinenstufe 112 ist beispielsweise aus zwei Schaufelringen gebildet. In Strömungsrichtung eines Arbeitsmediums 113 gesehen folgt im Heißgaskanal 111 einer Leitschaufelreihe 115 eine aus Laufschaufeln 120 gebildete Reihe 125.

[0033] Die Leitschaufeln 130 sind dabei an einem Innengehäuse 138 eines Stators 143 befestigt, wohingegen die Laufschaufeln 120 einer Reihe 125 beispielsweise mittels einer Turbinenscheibe 133 am Rotor 103 angebracht sind.

[0034] An dem Rotor 103 angekoppelt ist ein Generator oder eine Arbeitsmaschine (nicht dargestellt).

[0035] Während des Betriebes der Gasturbine 100 wird vom Verdichter 105 durch das Ansauggehäuse 104 Luft 135 angesaugt und verdichtet. Die am turbinenseitigen Ende des Verdichters 105 bereitgestellte verdichtete Luft wird zu den Brennern 107 geführt und dort mit einem Brennmittel vermischt. Das Gemisch wird dann unter Bildung des Arbeitsmediums 113 in der Brennkammer 110 verbrannt. Von dort aus strömt das Arbeitsmedium 113 entlang des Heißgaskanals 111 vorbei an den Leitschaufeln 130 und den Laufschaufeln 120. An den Laufschaufeln 120 entspannt sich das Arbeitsmedium 113 impulsübertragend, so dass die Laufschaufeln 120 den Rotor 103 antreiben und dieser die an ihn angekoppelte Arbeitsmaschine.

[0036] Die dem heißen Arbeitsmedium 113 ausgesetzten Bauteile unterliegen während des Betriebes der Gasturbine 100 thermischen Belastungen. Die Leitschaufeln 130 und Laufschaufeln 120 der in Strömungsrichtung des Arbeitsmediums 113 gesehen ersten Turbinenstufe 112 werden neben den die Ringbrennkammer 110 auskleidenden Hitzeschildelementen am meisten thermisch belastet.

[0037] Um den dort herrschenden Temperaturen standzuhalten, können diese mittels eines Kühlmittels gekühlt werden.

[0038] Ebenso können Substrate der Bauteile eine gerichtete Struktur aufweisen, d.h. sie sind einkristallin (SX-Struktur) oder weisen nur längsgerichtete Körner auf (DS-Struktur).

[0039] Als Material für die Bauteile, insbesondere für die Turbinenschaufel 120, 130 und Bauteile der Brennkammer 110 werden beispielsweise eisen-, nickel- oder kobaltbasierte Superlegierungen verwendet.

[0040] Solche Superlegierungen sind beispielsweise aus der EP 1 204 776 B1, EP 1 306 454, EP 1 319 729 A1, WO 99/67435 oder WO 00/44949 bekannt.

[0041] Ebenso können die Schaufeln 120, 130 Beschichtungen gegen Korrosion (MCrAlX; M ist zumindest ein Element der Gruppe Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), X ist ein Aktivelement und steht für Yttrium (Y) und/oder Silizium, Scandium (Sc) und/oder zumindest ein Element der Seltenen Erden bzw. Hafnium). Solche Legierungen sind bekannt aus der EP 0 486 489 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 oder EP 1 306 454 A1.

[0042] Auf der MCrAlX kann noch eine Wärmedämmschicht vorhanden sein, und besteht beispielsweise aus ZrO_2 , $Y_2O_3-ZrO_2$, d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollständig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Kalziumoxid und/oder Magnesiumoxid.

[0043] Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmschicht erzeugt.

[0044] Die Leitschaufel 130 weist einen dem Innengehäuse 138 der Turbine 108 zugewandten Leitschaufelfuß (hier nicht dargestellt) und einen dem Leitschaufelfuß gegenüberliegenden Leitschaufelkopf auf. Der Leitschaufelkopf ist dem Rotor 103 zugewandt und an einem Befestigungsring 140 des Stators 143 festgelegt.

[0045] Die Figur 3 zeigt in perspektivischer Ansicht eine Laufschaufel 120 oder Leitschaufel 130 einer Strömungsmaschine, die sich entlang einer Längsachse 121 erstreckt.

[0046] Die Strömungsmaschine kann eine Gasturbine eines Flugzeugs oder eines Kraftwerks zur Elektrizitätserzeugung, eine Dampfturbine oder ein Kompressor sein.

[0047] Die Schaufel 120, 130 weist entlang der Längsachse 121 aufeinander folgend einen Befestigungsbereich 400, eine daran angrenzende Schaufelplattform 403 sowie ein Schaufelblatt 406 und eine Schaufelspitze 415 auf.

[0048] Als Leitschaufel 130 kann die Schaufel 130 an ihrer Schaufelspitze 415 eine weitere Plattform aufweisen (nicht dargestellt).

[0049] Im Befestigungsbereich 400 ist ein Schaufelfuß 183 gebildet, der zur Befestigung der Laufschaufeln 120, 130 an einer Welle oder einer Scheibe dient (nicht dargestellt).

[0050] Der Schaufelfuß 183 ist beispielsweise als

Hammerkopf ausgestaltet. Andere Ausgestaltungen als Tannenbaum- oder Schwalbenschwanzfuß sind möglich.

[0051] Die Schaufel 120, 130 weist für ein Medium, das an dem Schaufelblatt 406 vorbeiströmt, eine Anströmkante 409 und eine Abströmkante 412 auf.

[0052] Bei herkömmlichen Schaufeln 120, 130 werden in allen Bereichen 400, 403, 406 der Schaufel 120, 130 beispielsweise massive metallische Werkstoffe, insbesondere Superlegierungen verwendet.

[0053] Solche Superlegierungen sind beispielsweise aus der EP 1 204 776 B1, EP 1 306 454, EP 1 319 729 A1, WO 99/67435 oder WO 00/44949 bekannt.

[0054] Die Schaufel 120, 130 kann hierbei durch ein Gussverfahren, auch mittels gerichteter Erstarrung, durch ein Schmiedeverfahren, durch ein Fräsverfahren oder Kombinationen daraus gefertigt sein.

[0055] Werkstücke mit einkristalliner Struktur oder Strukturen werden als Bauteile für Maschinen eingesetzt, die im Betrieb hohen mechanischen, thermischen und/oder chemischen Belastungen ausgesetzt sind.

[0056] Die Fertigung von derartigen einkristallinen Werkstücken erfolgt z.B. durch gerichtetes Erstarren aus der Schmelze. Es handelt sich dabei um Gießverfahren, bei denen die flüssige metallische Legierung zur einkristallinen Struktur, d.h. zum einkristallinen Werkstück, oder gerichtet erstarrt.

[0057] Dabei werden dendritische Kristalle entlang dem Wärmefluss ausgerichtet und bilden entweder eine stängelkristalline Kornstruktur (kolumnar, d.h. Körner, die über die ganze Länge des Werkstückes verlaufen und hier, dem allgemeinen Sprachgebrauch nach, als gerichtet erstarrt bezeichnet werden) oder eine einkristalline Struktur, d.h. das ganze Werkstück besteht aus einem einzigen Kristall. In diesen Verfahren muss man den Übergang zur globulitischen (polykristallinen) Erstarrung meiden, da sich durch ungerichtetes Wachstum notwendigerweise transversale und longitudinale Korngrenzen ausbilden, welche die guten Eigenschaften des gerichtet erstarrten oder einkristallinen Bauteiles zunichtemachen.

[0058] Ist allgemein von gerichtet erstarrten Gefügen die Rede, so sind damit sowohl Einkristalle gemeint, die keine Korngrenzen oder höchstens Kleinwinkelkorngrenzen aufweisen, als auch Stängelkristallstrukturen, die wohl in longitudinaler Richtung verlaufende Korngrenzen, aber keine transversalen Korngrenzen aufweisen. Bei diesen zweitgenannten kristallinen Strukturen spricht man auch von gerichtet erstarrten Gefügen (directionally solidified structures).

[0059] Solche Verfahren sind aus der US-PS 6,024,792 und der EP 0 892 090 A1 bekannt.

[0060] Ebenso können die Schaufeln 120, 130 Beschichtungen gegen Korrosion oder Oxidation aufweisen, z. B. (MCrAlX; M ist zumindest ein Element der Gruppe Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), X ist ein Aktivelement und steht für Yttrium (Y) und/oder Silizium und/oder zumindest ein Element der Seltenen Erden,

bzw. Hafnium (Hf)). Solche Legierungen sind bekannt aus der EP 0 486 489 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 oder EP 1 306 454 A1.

[0061] Die Dichte liegt vorzugsweise bei 95% der theoretischen Dichte.

[0062] Auf der MCrAlX-Schicht (als Zwischenschicht oder als äußerste Schicht) bildet sich eine schützende Aluminiumoxidschicht (TGO = thermal grown oxide layer).

[0063] Vorzugsweise weist die Schichtzusammensetzung Co-30Ni-28Cr-8Al-0,6Y-0,7Si oder Co-28Ni-24Cr-10Al-0,6Y auf. Neben diesen kobaltbasierten Schutzbeschichtungen werden auch vorzugsweise nickelbasierte Schutzschichten verwendet wie Ni-10Cr-12Al-0,6Y-3Re oder Ni-12Co-21Cr-11Al-0,4Y-2Re oder Ni-25Co-17Cr-10Al-0,4Y-1,5Re.

[0064] Auf der MCrAlX kann noch eine Wärmedämmschicht vorhanden sein, die vorzugsweise die äußerste Schicht ist, und besteht beispielsweise aus ZrO_2 , $Y_2O_3-ZrO_2$, d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollständig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Kalziumoxid und/oder Magnesiumoxid.

Die Wärmedämmschicht bedeckt die gesamte MCrAlX-Schicht.

[0065] Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmschicht erzeugt.

[0066] Andere Beschichtungsverfahren sind denkbar, z.B. atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), LPPS, VPS oder CVD. Die Wärmedämmschicht kann poröse, mikro- oder makrorissbehaftete Körner zur besseren Thermoschockbeständigkeit aufweisen. Die Wärmedämmschicht ist also vorzugsweise poröser als die MCrAlX-Schicht.

[0067] Wiederaufarbeitung (Refurbishment) bedeutet, dass Bauteile 120, 130 nach ihrem Einsatz gegebenenfalls von Schutzschichten befreit werden müssen (z.B. durch Sandstrahlen). Danach erfolgt eine Entfernung der Korrosions- und/oder Oxidationsschichten bzw. -produkte. Gegebenenfalls werden auch noch Risse im Bauteil 120, 130 repariert. Danach erfolgt eine Wiederbeschichtung des Bauteils 120, 130 und ein erneuter Einsatz des Bauteils 120, 130.

[0068] Die Schaufel 120, 130 kann hohl oder massiv ausgeführt sein. Wenn die Schaufel 120, 130 gekühlt werden soll, ist sie hohl und weist ggf. noch Filmkühlöcher 418 (gestrichelt angedeutet) auf.

[0069] Die Figur 4 zeigt eine Brennkammer 110 einer Gasturbine.

Die Brennkammer 110 ist beispielsweise als so genannte Ringbrennkammer ausgestaltet, bei der eine Vielzahl von in Umfangsrichtung um eine Rotationsachse 102 herum angeordneten Brennern 107 in einen gemeinsamen Brennkammerraum 154 münden, die Flammen 156 erzeugen. Dazu ist die Brennkammer 110 in ihrer Gesamtheit als ringförmige Struktur ausgestaltet, die um die Rotationsachse 102 herum positioniert ist.

[0070] Zur Erzielung eines vergleichsweise hohen Wirkungsgrades ist die Brennkammer 110 für eine vergleichsweise hohe Temperatur des Arbeitsmediums M von etwa 1000°C bis 1600°C ausgelegt. Um auch bei diesen, für die Materialien ungünstigen Betriebsparametern eine vergleichsweise lange Betriebsdauer zu ermöglichen, ist die Brennkammerwand 153 auf ihrer dem Arbeitsmedium M zugewandten Seite mit einer aus Hitzeschildelementen 155 gebildeten Innenauskleidung versehen.

[0071] Jedes Hitzeschildelement 155 aus einer Legierung ist arbeitsmediumsseitig mit einer besonders hitzebeständigen Schutzschicht (MCrAlX-Schicht und/oder keramische Beschichtung) ausgestattet oder ist aus hochtemperaturbeständigem Material (massive keramische Steine) gefertigt.

[0072] Diese Schutzschichten können ähnlich der Turbinenschaufeln sein, also bedeutet beispielsweise MCrAlX: M ist zumindest ein Element der Gruppe Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), X ist ein Aktivelement und steht für Yttrium (Y) und/oder Silizium und/oder zumindest ein Element der Seltenen Erden, bzw. Hafnium (Hf). Solche Legierungen sind bekannt aus der EP 0 486 489 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 oder EP 1 306 454 A1.

[0073] Auf der MCrAlX kann noch eine beispielsweise keramische Wärmedämmschicht vorhanden sein und besteht beispielsweise aus ZrO_2 , $Y_2O_3-ZrO_2$, d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollständig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Kalziumoxid und/oder Magnesiumoxid.

[0074] Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmschicht erzeugt.

[0075] Andere Beschichtungsverfahren sind denkbar, z.B. atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), LPPS, VPS oder CVD. Die Wärmedämmschicht kann poröse, mikro- oder makrorissbehaftete Körner zur besseren Thermoschockbeständigkeit aufweisen.

[0076] Wiederaufarbeitung (Refurbishment) bedeutet, dass Hitzeschildelemente 155 nach ihrem Einsatz gegebenenfalls von Schutzschichten befreit werden müssen (z.B. durch Sandstrahlen). Danach erfolgt eine Entfernung der Korrosions- und/oder Oxidationsschichten bzw. -produkte. Gegebenenfalls werden auch noch Risse in dem Hitzeschildelement 155 repariert. Danach erfolgt eine Wiederbeschichtung der Hitzeschildelemente 155 und ein erneuter Einsatz der Hitzeschildelemente 155.

[0077] Aufgrund der hohen Temperaturen im Inneren der Brennkammer 110 kann zudem für die Hitzeschildelemente 155 bzw. für deren Halteelemente ein Kühlsystem vorgesehen sein. Die Hitzeschildelemente 155 sind dann beispielsweise hohl und weisen ggf. noch in den Brennkammerraum 154 mündende Kühlöcher (nicht dargestellt) auf.

[0078] Anhand eines Ausführungsbeispiels wurde eine Prozesssimulation insbesondere von Schichtdicke und/oder -qualität einer Spritzbeschichtung auf der Basis

der erfassten realen Bahndaten und der erfassten realen Prozessdaten beschrieben. Diese Simulation kann wie erwähnt im Anschluss an die Beschichtung eines Bauteils erfolgen oder während des Prozesses mit einem kurzen Zeitversatz. Im Falle der Simulation im Anschluss an die Beschichtung kann eine Korrekturbeschichtung vorgeschlagen werden und das hierfür erforderliche (Bauteil-) individuelle Beschichtungsprogramm (inklusive Bahndaten für den Roboterarm oder eine CNC-Maschine und inklusive angepasster Prozessdaten) direkt im Anschluss an die bereits erfolgte Beschichtung erfolgen, sodass kein erneutes Aufspannen des Bauteils erforderlich ist. Ferner erlaubt das Simulieren im Anschluss das Beschichten des Bauteils eine Anpassung aller Beschichtungsparameter inklusive Bahndaten für das nächste zu beschichtende Bauteil. Hierdurch lassen sich deutlich geringere Schwankungen in der Schichtqualität und der Schichtdicke generieren.

[0079] Wenn, wie erfindungsgemäß, die Simulation während des Spritzprozesses mit einem kurzen Zeitversatz erfolgt, ist wie beschrieben eine direkte Einflussnahme auf die Prozessdaten und die Bahndaten des Spritzverfahrens möglich. Hierzu erfolgt eine entsprechende Anpassung der Hardware und der Software, um ein Up- und Downloaden von Steuerprogrammen und/oder Bahndaten und/oder Prozessdaten zu ermöglichen. Insbesondere beim Simulieren während des Prozesses mit einem kurzen Zeitversatz kann auch eine visuelle Darstellung des Prozessfortschrittes erfolgen, um dem Operator sinnvolle Hinweise auf mögliche Risiken zu liefern.

[0080] Obwohl die vorliegende Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels beschrieben worden ist, versteht es sich, dass dieses Ausführungsbeispiel lediglich der exemplarischen Darstellung der Erfindung dient und dass Abweichungen von diesem Ausführungsbeispiel möglich sind. Beispielsweise brauchen die Korrekturdatenberechnungseinheit und/oder die Darstellungseinheit nicht notwendigerweise vorhanden zu sein. Weiterhin sind im Rahmen des Ausführungsbeispiels die zeitaufgelösten Prozessdaten an die zeitaufgelösten Bahndaten gekoppelt, um die zeitaufgelösten Prozessdaten über die Bahndaten einer Position und einer Orientierung der Spritzdüse relativ zur Bauteiloberfläche zuzuordnen. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, die Prozessdaten unabhängig von den Bahndaten einer Position und Orientierung der Spritzdüse zuzuordnen. Hierzu kann beispielsweise eine Vorrichtung Verwendung finden, die unabhängig von den Bahndaten die Orientierung und Position der Spritzdüse relativ zu der zu beschichtenden Bauteilfläche erfasst. Beispielsweise ist das optische Erfassen des Bauteils und der Spritzdüse unter verschiedenen Winkeln zusammen mit einer Bildanalyse-Software denkbar. Auch besteht die Möglichkeit, auf diese Weise die Bahndaten zu erfassen, sodass die Bahndatenerfassungseinheit nicht mit der Steuereinheit der Spritzvorrichtung verbunden zu sein braucht. Diese Beispiele zeigen, dass im Rahmen der Erfindung von dem exemplarischen Ausführungsbeispiel abgewichen werden

kann. Die Erfindung soll daher nicht auf die Ausgestaltung des Ausführungsbeispiels beschränkt sein, sondern lediglich durch die angehängten Ansprüche.

Patentansprüche

1. Beschichtungsverfahren zum automatisierten Aufbringen einer Spritzbeschichtung auf eine zu beschichtende Bauteilfläche eines Bauteils (7), insbesondere eines Turbinenbauteils, mit den Schritten:

- Beschichten der zu beschichtenden Bauteilfläche unter Verwendung eines Spritzprozesses, wobei eine Spritzdüse (3) beim Beschichten entlang einer bestimmten Bahn relativ zu der zu beschichtenden Bauteilfläche verfahren wird;
- zeitaufgelöstes Erfassen der Bahndaten der Spritzdüse (3) relativ zu der zu beschichtenden Bauteilfläche;
- zeitaufgelöstes Erfassen der Prozessdaten des Beschichtungsprozesses;
- Simulieren des Spritzprozesses anhand der erfassten zeitaufgelösten Bahndaten, der erfassten zeitaufgelösten Prozessdaten und der Geometrie der zu beschichtenden Bauteilfläche, um eine simulierte Beschichtung zu erhalten;
- Berechnen einer Abweichung der simulierten Beschichtung von einer gewünschten Beschichtung,

in dem das Simulieren des Spritzprozesses während der Durchführung des Spritzprozesses, bei dem die Bahndaten und die Prozessdaten zeitaufgelöst erfasst werden, erfolgt.

2. Beschichtungsverfahren nach Anspruch 1, in dem ein Korrigieren der Beschichtung auf der zu beschichtenden Bauteilfläche erfolgt, wenn die Berechnung der Abweichung eine Abweichung der simulierten Beschichtung von der gewünschten Beschichtung ergibt, die eine zulässige Abweichung überschreitet.

3. Beschichtungsverfahren nach Anspruch 2, in dem das Korrigieren der Beschichtung erfolgt, in dem nach dem Beenden des Spritzprozesses, für den die Bahndaten und die Prozessdaten zeitaufgelöst erfasst wurden, mittels eines weiteren Spritzprozesses eine Korrekturbeschichtung aufgebracht wird, wobei die Bahndaten und die Prozessdaten für den weiteren Spritzprozess aus der Abweichung der mit dem simulierten Spritzprozess gewonnenen simulierten Beschichtung von der gewünschten Beschichtung ermittelt werden.

4. Beschichtungsverfahren nach Anspruch 1, in dem die Bahndaten und/oder die Prozessdaten

- des aktuellen Spritzprozesses mittels Korrekturdaten korrigiert werden, wobei die Korrekturdaten aus der Abweichung der mit dem simulierten Spritzprozess gewonnenen simulierten Beschichtung von der gewünschten Beschichtung ermittelt werden. 5
5. Beschichtungsverfahren nach Anspruch 4, in dem die Korrekturdaten innerhalb einer Zeitspanne im Bereich von weniger als 5 Sekunden ermittelt werden. 10
6. Beschichtungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, in dem die Abweichung der mit dem simulierten Spritzprozess gewonnenen simulierten Beschichtung von der gewünschten Beschichtung visuell dargestellt wird. 15
7. Beschichtungsverfahren nach Anspruch 6, in dem die grafische Darstellung innerhalb einer Zeitspanne im Bereich von weniger als 5 Sekunden generiert wird. 20
8. Beschichtungsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, in dem die Bahndaten und/oder die Prozessdaten für den nächsten, für ein Bauteil (7) mit derselben Geometrie der zu beschichtenden Oberfläche durchzuführenden Spritzprozess aktualisiert werden, wobei die aktualisierten Bahndaten und/oder die aktualisierten Prozessdaten aus der Abweichung der mit dem simulierten Spritzprozess gewonnenen simulierten Beschichtung von der gewünschten Beschichtung ermittelt werden. 25 30
9. Beschichtungsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, in dem die Prozessdaten relativ zu der zu beschichtenden Bauteilfläche zeitaufgelöst erfasst werden. 35
10. Beschichtungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, in dem die erfassten Prozessdaten an die erfassten Bahndaten gekoppelt werden. 40
11. Überwachungsvorrichtung (14) zum Überwachen eines automatisierten Aufbringens einer Spritzbeschichtung auf eine zu beschichtende Bauteilfläche eines Bauteils (7), insbesondere eines Turbinenbauteils, mittels einer Spritzvorrichtung (1) mit einer im Rahmen eines Spritzprozesses entlang einer bestimmten Bahn relativ zu der zu beschichtenden Bauteilfläche verfahrbaren Spritzdüse (3) und mit einer Steuereinheit (5) zum Steuern des Spritzprozesses, umfassend: 45 50
- eine Eingabeschnittstelle (15) zum Eingeben von die Geometrie der zu beschichtenden Bauteilfläche des Bauteils (7) repräsentierenden Geometriedaten, 55
 - eine Bahndatenerfassungseinrichtung (17) zum zeitaufgelösten Erfassen der Bahndaten der Spritzdüse (3) relativ zu der zu beschichtenden Bauteilfläche;
 - eine Prozessdatenerfassungseinrichtung (19) zum zeitaufgelösten Erfassen der Prozessdaten des unter Verwendung der Spritzdüse (3) durchgeführten Beschichtungsprozesses;
 - eine mit der Eingabeschnittstelle (15) zum Empfang der Geometriedaten, mit der Bahndatenerfassungseinrichtung (17) zum Empfangen der zeitaufgelöst erfassten Bahndaten und mit der Prozessdatenerfassungseinrichtung (19) zum Empfangen der zeitaufgelöst erfassten Prozessdaten verbundene Simulationseinheit (21), die dazu ausgelegt ist, das Aufbringen der Spritzbeschichtung auf die zu beschichtende Bauteilfläche anhand der zeitaufgelöst erfassten Bahndaten, der zeitaufgelöst erfassten Prozessdaten und der Geometrie der zu beschichtenden Bauteilfläche zu simulieren und in Form von Simulationsdaten einer simulierten Beschichtung zur Ausgabe bereit zu halten, wobei das Simulieren des Spritzprozesses während der Durchführung des Spritzprozesses, bei dem die Bahndaten und die Prozessdaten zeitaufgelöst erfasst werden, erfolgt; und
 - eine mit der Simulationseinheit (21) zum Empfang der Simulationsdaten verbundene Abweichungsberechnungseinheit (23) zum Berechnen einer Abweichung der simulierten Beschichtung von der gewünschten Beschichtung.
12. Überwachungsvorrichtung (14) nach Anspruch 11, die außerdem eine Korrekturdatenberechnungseinheit (29) umfasst, die mit der Abweichungsberechnungseinheit (23) zum Empfang der berechneten Abweichung verbunden ist und die Korrekturdaten zum Korrigieren der Beschichtung auf der zu beschichtenden Bauteilfläche berechnet, wenn die berechnete Abweichung eine zulässige Abweichung überschreitet.
13. Überwachungsvorrichtung (14) nach Anspruch 11 oder Anspruch 12, die außerdem eine Darstellungseinheit (25) umfasst, die mit der Abweichungsberechnungseinheit (23) zum Empfang der berechneten Abweichung verbunden ist und die ein Darstellungssignal zum visuellen Darstellen der Abweichung generiert.
14. Beschichtungsvorrichtung mit einer Spritzvorrichtung (1), die eine im Rahmen eines Spritzprozesses entlang einer bestimmten Bahn relativ zu einer zu beschichtenden Bauteilfläche eines Bauteils (7) verfahrbare Spritzdüse (3) und eine Steuereinheit (5) zum Steuern des Spritzprozesses umfasst, und mit einer

Überwachungsvorrichtung (14) nach einem der Ansprüche 11 bis 13.

15. Beschichtungsvorrichtung nach Anspruch 14, in der die Steuereinheit (5) der Spritzvorrichtung (1) mit der Korrekturdatenberechnungseinheit (29) zum Empfang der Korrekturdaten verbunden ist.

Claims

1. Coating method for the automated application of a spray coating to a component surface to be coated of a component (7), in particular a turbine component, with the steps of:

comprises the steps of:

- coating the component surface to be coated by using a spraying process, a spray nozzle (3) being moved along a specific path in relation to the component surface to be coated during the coating;
- recording in a time-resolved form the path data of the spray nozzle (3) in relation to the component surface to be coated;
- recording in a time-resolved form the process data of the coating process;
- simulating the spraying process on the basis of the time-resolved path data recorded, the time-resolved process data recorded and the geometry of the component surface to be coated, in order to obtain a simulated coating;
- calculating a deviation of the simulated coating from a desired coating,

in which the simulation of the spraying process takes place while carrying out the spraying process in which the path data and the process data are recorded in a time-resolved form.

2. Coating method according to Claim 1, in which a correction of the coating on the component surface to be coated takes place if the calculation of the deviation produces a deviation of the simulated coating from the desired coating that exceeds a permissible deviation.
3. Coating method according to Claim 2, in which the correction of the coating takes place in that, after the ending of the spraying process for which the path data and the process data have been recorded in a time-resolved form, a correction coating is applied by means of a further spraying process, the path data and the process data for the further spraying process being determined from the deviation of the simulated coating, obtained with the sim-

ulated spraying process, from the desired coating.

4. Coating method according to Claim 1, in which the path data and/or the process data of the spraying process at the time are corrected by means of correction data, the correction data being determined from the deviation of the simulated coating, obtained with the simulated spraying process, from the desired coating.
5. Coating method according to Claim 4, in which the correction data are determined within a time period in the range of less than 5 seconds.
6. Coating method according to one of Claims 1 to 5, in which the deviation of the simulated coating, obtained with the simulated spraying process, from the desired coating is visually displayed.
7. Coating method according to Claim 6, in which the graphic display is generated within a time period in the range of less than 5 seconds.
8. Coating method according to one of the preceding claims, in which the path data and/or the process data are updated for the next spraying process to be carried out for a component (7) with the same geometry of the surface to be coated, the updated path data and/or the updated process data being determined from the deviation of the simulated coating, obtained with the simulated spraying process, from the desired coating.
9. Coating method according to one of the preceding claims, in which the process data are recorded in a time-resolved form in relation to the component surface to be coated.
10. Coating method according to one of Claims 1 to 9, in which the process data recorded are coupled to the path data recorded.
11. Monitoring device (14) for monitoring an automated application of a spray coating to a component surface to be coated of a component (7), in particular a turbine component, by means of a spraying device (1) with a spray nozzle (3), which can be moved along a specific path in relation to the component surface to be coated in the course of a spraying process, and with a control unit (5) for controlling the spraying process, comprising:
- an input interface (15) for inputting geometry data representative of the geometry of the component surface to be coated of the component (7),

- a path data recording device (17) for the time-resolved recording of the path data of the spray nozzle (3) in relation to the component surface to be coated;
 - a process data recording device (19) for the time-resolved recording of the process data of the coating process carried out using the spray nozzle (3);
 - a simulation unit (21) connected to the input interface (15) for receiving the geometry data, to the path data recording device (17) for receiving the path data recorded in a time-resolved form and to the process data recording device (19) for receiving the process data recorded in a time-resolved form and designed for simulating the application of the spray coating to the component surface to be coated on the basis of the path data recorded in a time-resolved form, the process data recorded in a time-resolved form and the geometry of the component surface to be coated and keeping it ready for output in the form of simulation data of a simulated coating, wherein the simulation of the spraying process takes place while carrying out the spraying process in which the path data and the process data are recorded in a time-resolved form; and
 - a deviation calculation unit (23), connected to the simulation unit (21) for receiving the simulation data, for calculating a deviation of the simulated coating from the desired coating.
12. Monitoring device (14) according to Claim 11, which also comprises a correction data calculation unit (29), which is connected to the deviation calculation unit (23) for receiving the calculated deviation and which calculates correction data for correcting the coating on the component surface to be coated when the calculated deviation exceeds a permissible deviation.
13. Monitoring device (14) according to Claim 11 or Claim 12, which also comprises a display unit (25), which is connected to the deviation calculation unit (23) for receiving the calculated deviation and which generates a display signal for the visual display of the deviation.
14. Coating device with a spraying device (1), which comprises a spray nozzle (3), which can be moved along a specific path in relation to a component surface to be coated in the course of a spraying process of a component (7), and a control unit (5) for controlling the spraying process, and with a monitoring device (14) according to one of Claims 11 to 13.
15. Coating device according to Claim 14, in which the control unit (5) of the spraying device

(1) is connected to the correction data calculation unit (29) for receiving the correction data.

5 Revendications

1. Procédé de revêtement pour le dépôt automatisé d'un revêtement par pulvérisation sur une surface à revêtir d'une pièce (7), notamment d'une pièce de turbine, comprenant les stades :

- revêtement de la surface à revêtir de la pièce, en utilisant une opération de pulvérisation, une buse (3) de pulvérisation étant, lors du revêtement, déplacée suivant un trajet déterminé par rapport à la surface à revêtir de la pièce ;
- détection avec résolution dans le temps des données de trajectoire de la buse (3) de pulvérisation par rapport à la surface à revêtir de la pièce ;
- détection avec résolution dans le temps des données opératoires de l'opération de revêtement ;
- simulation de l'opération de pulvérisation à l'aide des données de trajectoire détectées avec résolution dans le temps, des données opératoires détectées avec résolution dans le temps et de la géométrie de la surface à revêtir de la pièce, afin d'obtenir un revêtement simulé ;
- Calcul d'un écart du revêtement simulé à un revêtement souhaité,

dans lequel la simulation de l'opération de pulvérisation s'effectue pendant que l'on effectue l'opération de pulvérisation, pour laquelle on détecte avec résolution dans le temps les données de trajectoire et les données opératoires.

2. Procédé de revêtement suivant la revendication 1, dans lequel une correction du revêtement sur la surface à revêtir de la pièce a lieu, si le calcul de l'écart donne un écart du revêtement simulé au revêtement souhaité, qui dépasse un écart admissible.
3. Procédé de revêtement suivant la revendication 2, dans lequel la correction du revêtement s'effectue en déposant, après la fin de l'opération de pulvérisation, pour laquelle on a détecté avec résolution dans le temps les données de trajectoire et les données opératoires, un revêtement de correction, les données de trajectoire et les données opératoires, pour l'autre opération de pulvérisation, étant déterminées à partir de l'écart du revêtement simulé, obtenu par l'opération de pulvérisation simulée, au revêtement souhaité.
4. Procédé de revêtement suivant la revendication 1, dans lequel on corrige les données de trajectoire

- et/ou les données opératoires de l'opération de pulvérisation instantanée au moyen de données de correction, les données de correction étant déterminées à partir de l'écart du revêtement simulé, obtenu par l'opération de pulvérisation simulée, au revêtement souhaité. 5
5. Procédé de revêtement suivant la revendication 4, dans lequel on détermine les données de correction dans un laps de temps dans la plage de moins de 5 secondes. 10
6. Procédé de revêtement suivant l'une des revendications 1 à 5, dans lequel on représente visuellement l'écart du revêtement simulé, obtenu par l'opération de pulvérisation simulée, au revêtement souhaité. 15
7. Procédé de revêtement suivant la revendication 6, dans lequel on produit la représentation graphique dans un laps de temps dans la plage de moins de 5 secondes. 20
8. Procédé de revêtement suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel on met à jour les données de trajectoire et/ou les données opératoires pour l'opération de pulvérisation à effectuer ensuite, pour une pièce (7) ayant la même géométrie de la surface à revêtir, les données de trajectoires mises à jour et/ou les données opératoires mises à jour étant déterminées à partir de l'écart du revêtement simulé, obtenu par l'opération de pulvérisation simulée, au revêtement souhaité. 25 30 35
9. Procédé de revêtement suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel on détecte avec résolution dans le temps les données opératoires par rapport à la surface à revêtir de la pièce. 40
10. Procédé de revêtement suivant l'une des revendications 1 à 9, dans lequel on couple les données opératoires détectées aux données de trajectoire détectées. 45
11. Système (14) de contrôle pour contrôler un dépôt automatisé d'un revêtement par pulvérisation sur une surface à revêtir d'une pièce (7), notamment d'une pièce de turbine, au moyen d'un système (1) de pulvérisation ayant une buse (3) de pulvérisation se déplaçant dans le cadre d'une opération de pulvérisation suivant une trajectoire déterminée par rapport à la surface à revêtir de la pièce et comprenant une unité (5) de commande pour commander l'opération de pulvérisation, comprenant : 50 55
- une interface (15) d'entrée, pour l'entrée de
- donnée de géométrie représentant la surface à revêtir de la pièce (7),
- un dispositif (17) de détection de données de trajectoire, pour la détection avec résolution dans le temps des données de la trajectoire de la buse (3) de pulvérisation par rapport à la surface à revêtir de la pièce ;
 - un dispositif (19) de détection de données opératoires, pour la détection avec résolution dans le temps des données opératoires de l'opération de revêtement effectuée en utilisant la buse (3) de pulvérisation ;
 - une unité (21) de simulation reliée à l'interface (15) d'entrée, pour la réception des données de géométrie au dispositif (17) de détection de données de trajectoire, pour la réception des données de trajectoire détectées avec résolution dans le temps, et au dispositif (19) de détection de données opératoires, pour la réception des données opératoires détectées avec résolution dans le temps, laquelle unité (21) est conçue pour simuler le dépôt du revêtement par pulvérisation sur la surface à revêtir de la pièce, à l'aide des données de trajectoire détectées avec résolution dans le temps, des données opératoires détectées avec résolution dans le temps et de la géométrie de la surface à revêtir de la pièce et pour les conserver en vue de les sortir sous la forme de données de simulation d'un revêtement simulé, la simulation de l'opération de pulvérisation s'effectuant pendant que l'on effectue l'opération de pulvérisation pour laquelle on a détecté avec résolution dans le temps les données de trajectoire et les données opératoires et
 - une unité (23) de calcul d'écart, qui est reliée à l'unité (21) de simulation pour la réception des données de simulation et qui est destinée à calculer un écart du revêtement simulé au revêtement souhaité.
12. Système (14) de contrôle suivant la revendication 11, qui comprend, en outre, une unité (29) de calcul de données de correction, qui est reliée à l'unité (23) de calcul d'écart pour la réception de l'écart calculé et qui calcule les données de correction pour corriger le revêtement sur la surface à revêtir de la pièce, si l'écart calculé dépasse un écart admissible.
13. Système (14) de contrôle suivant la revendication 11 ou la revendication 12, qui comprend, en outre, une unité (25) de représentation, qui, pour la réception de l'écart calculé, est reliée à l'unité (23) de calcul d'écart et qui produit un signal de représentation pour la représentation visuelle de l'écart.

14. Système de revêtement, comprenant un système (1) de pulvérisation, qui comprend une buse (3) de pulvérisation pouvant se déplacer dans le cadre d'une opération de pulvérisation suivant une trajectoire déterminée par rapport à une surface à revêtir d'une pièce (7) et une unité (5) de commande pour commander l'opération de pulvérisation et comprenant un système (14) de contrôle suivant l'une des revendications 11 à 13. 5
- 10
15. Système de revêtement suivant la revendication 14, dans lequel l'unité (5) de commande du système (1) de pulvérisation est, pour la réception des données de correction, reliée à l'unité (29) de calcul de données de correction. 15

20

25

30

35

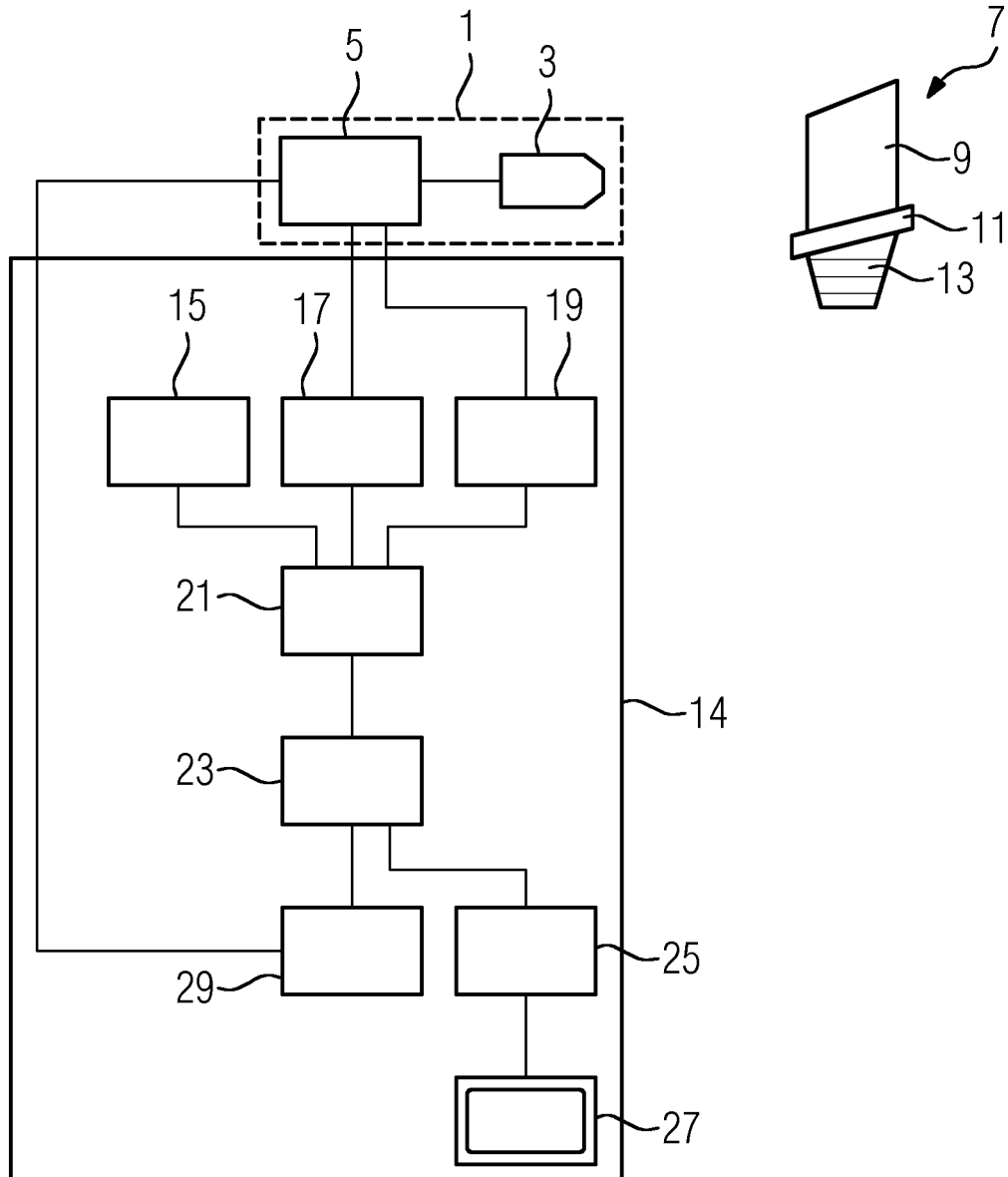
40

45

50

55

FIG 1



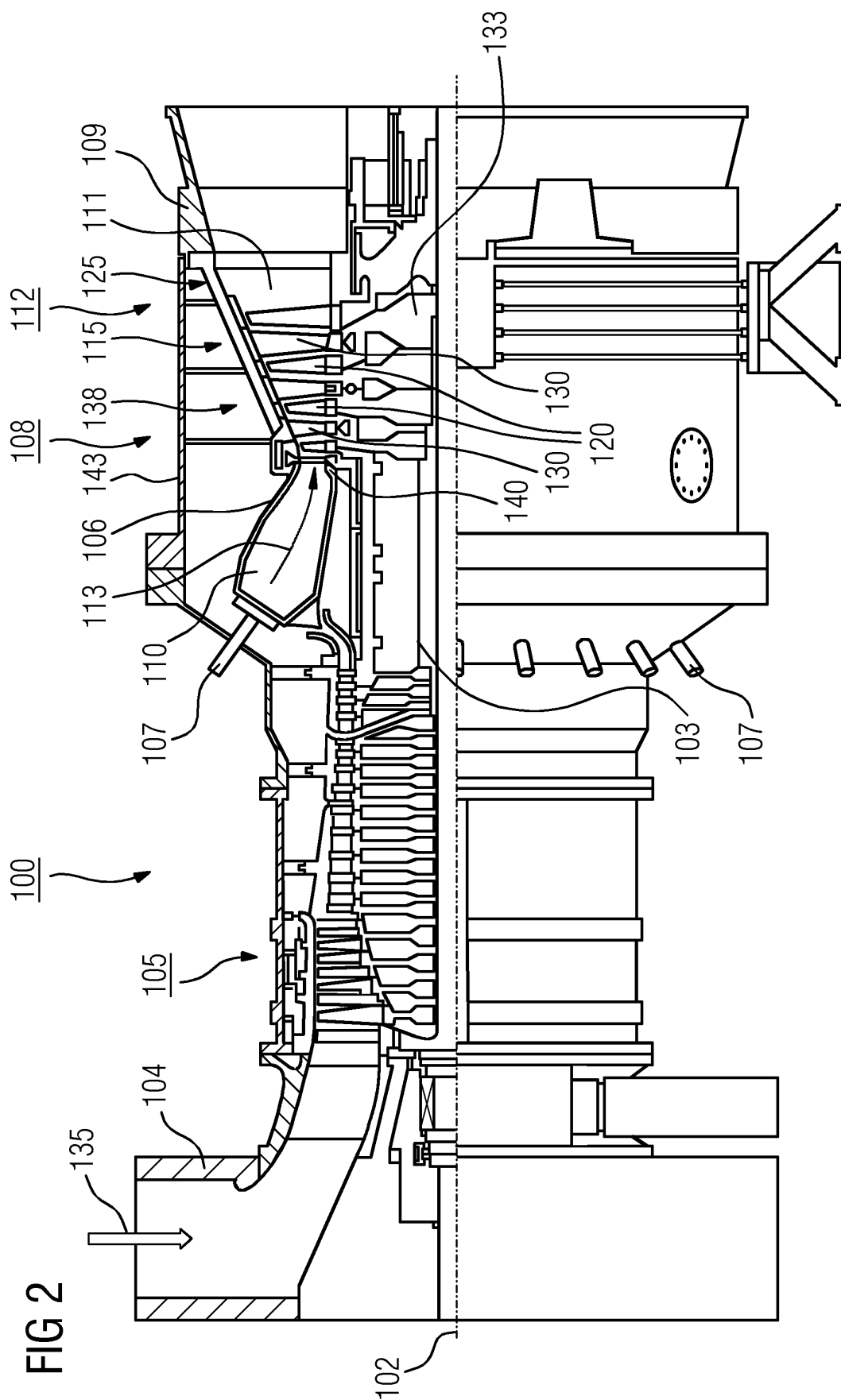


FIG 3

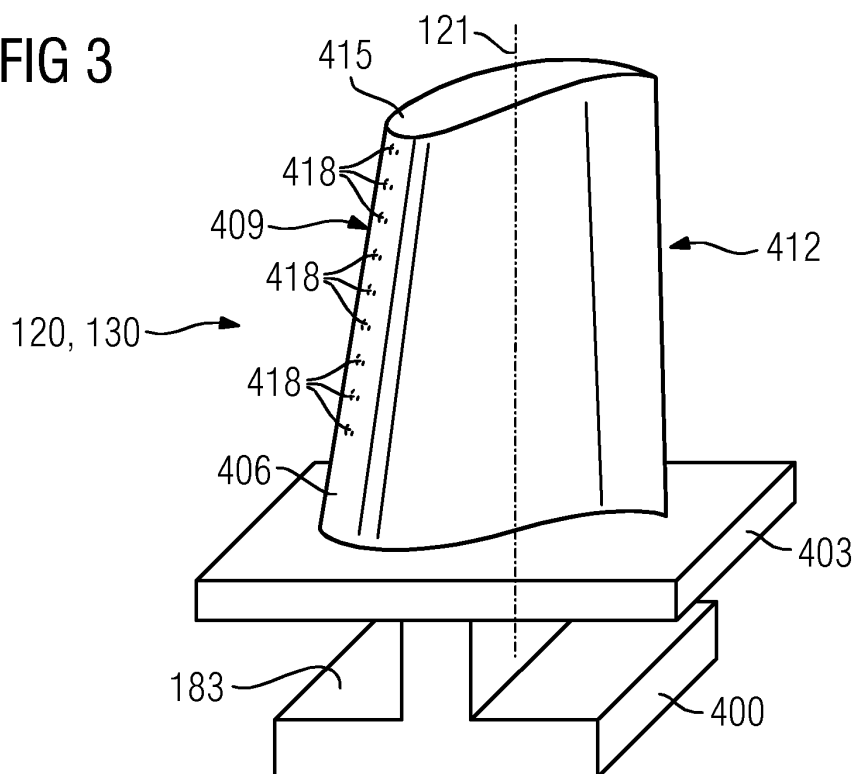
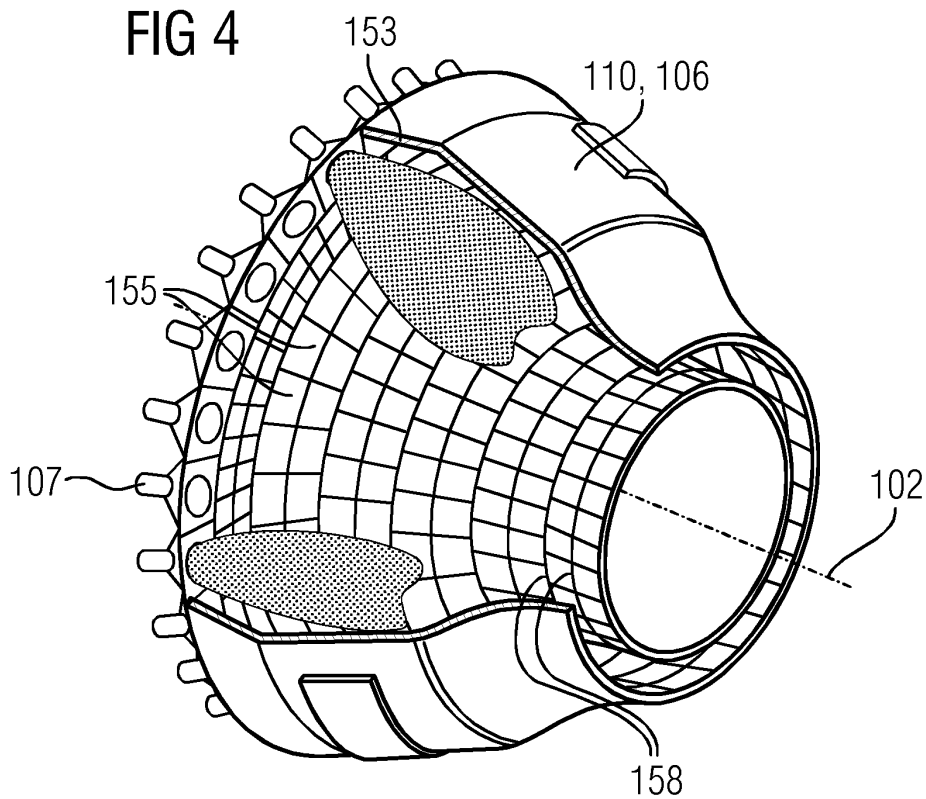


FIG 4



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1864719 A1 [0003]
- EP 2468463 A2 [0004]
- EP 1204776 B1 [0040] [0053]
- EP 1306454 A [0040] [0053]
- EP 1319729 A1 [0040] [0053]
- WO 9967435 A [0040] [0053]
- WO 0044949 A [0040] [0053]
- EP 0486489 B1 [0041] [0060] [0072]
- EP 0786017 B1 [0041] [0060] [0072]
- EP 0412397 B1 [0041] [0060] [0072]
- EP 1306454 A1 [0041] [0060] [0072]
- US 6024792 A [0059]
- EP 0892090 A1 [0059]