(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH 708 638 B1**

(51) Int. Cl.: ***C23C 24/08*** *(2006.01)*

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

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00101/15

(22) Anmeldedatum: 28.06.2013

(43) Anmeldung veröffentlicht: 06.02.2014

(30) Priorität: 30.07.2012 US 13/561,445

(24) Patent erteilt: 15.03.2018

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.03.2018

(73) Inhaber:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:
Rupak Das, Greenville, South Carolina 29615 (US)
John McConnell Delvaux,
Greenville, South Carolina 29615 (US)
Andres Jose Garcia-Crespo,
Greenville, South Carolina 29615 (US)

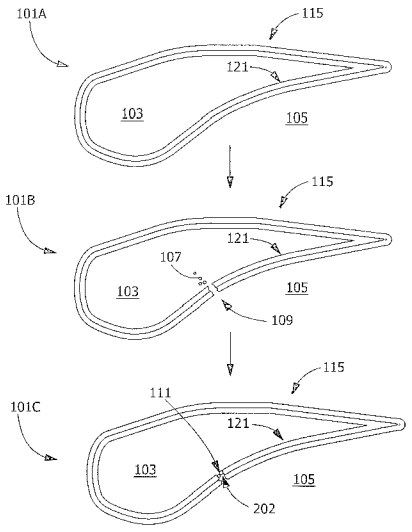
(74) Vertreter:
General Electric Technology GmbH Global Patent Operations – Europe, Brown-Boveri-Strasse 7
5400 Baden (CH)

(86) Internationale Anmeldung:
PCT/US 2013/048404

(87) Internationale Veröffentlichung:
WO 2014/022040

(54) Verfahren zur Reparatur eines Bauteils einer Turbine und Turbinenbauteil.

(57) Ein Turbinen-Reparaturverfahren schliesst das Bereitstellen eines beschädigten Turbinenbauteils (101A, B, C), wobei das Turbinenbauteil einen Hohlraum aufweist, der von einer oder mehreren Schächten umgeben ist, wobei in deren Hohlraum während des Betriebes ein höherer Druck als in der Region ausserhalb des einen oder mehrerer Schächte ist, wobei aufgrund der Beschädigung sich eine Öffnung zwischen der Region höheren Druckes und der Region geringeren Druckes gebildet hat, das Einführen von Teilchen in die Region höheren Druckes und das mindestens teilweise Reparieren der Öffnung zwischen der Region höheren Druckes und der Region geringeren Druckes mit mindestens einem der Teilchen ein, um ein repariertes Turbinenbauteil (101A, B, C) zu bilden. Das reparierte Turbinenbauteil (101A, B, C) hat eine Keramikmatrix-Verbundmaterialschicht und im Bereich einer Öffnung zwischen einem Hohlraum mit während des Betriebs der Turbine höherem Druck und einer Region mit während des Betriebs der Turbine geringerem Druck ausserhalb des Turbinenbauteils (101A–C) ist Siliciummaterial abgeschieden und von dem Keramikmatrix-Verbundmaterial umgeben.



Beschreibung

Erklärung hinsichtlich vom Bund gesponserter Forschung oder Entwicklung

[0001] Die Regierung der Vereinigten Staaten behält Lizenzrechte an dieser Erfindung und das Recht, unter beschränkten Umständen zu verlangen, dass der Patentinhaber anderen zu vernünftigen Bedingungen gemäss den Bestimmungen des Regierungskontraktes Nr. DE-FC26-05N T42 643, der vom United Stated Department of Energy gewährt wurde, eine Lizenz erteilt.

Gebiet der Erfindung

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft gemäss den unabhängigen Ansprüchen ein Verfahren zur Reparatur eines Turbinenbauteils sowie ein durch das Verfahren repariertes Turbinenbauteil.

Hintergrund der Erfindung

[0003] Gasturbinen-Bauteile sind sowohl thermisch, mechanisch als auch chemisch feindlichen Umgebungen ausgesetzt. So wird z.B. im Verdichterteil einer Gasturbine atmosphärische Luft auf z.B. das 10- bis 25-Fache des Atmosphärendruckes komprimiert und adiabatisch erhitzt, während des Betriebs z.B. auf zwischen 427 °C bis 677 °C (800 °F und 1250 °F). Diese erhitzte und komprimierte Luft wird in einen Brenner geleitet, wo sie mit Brennstoff vermischt wird. Der Brennstoff wird gezündet und das Verbrennungsverfahren erhitzt die Gase auf sehr hohe Temperaturen, z.B. auf mehr als 1650 °C (3000 °F). Diese heissen Gase strömen durch die Turbine, wo Schaufeln, die an rotierenden Turbinenscheiben fixiert sind, Energie extrahieren, um den Bläser und Verdichter der Turbine anzutreiben, und durch das Auslasssystem, wo die Gase genügend Energie bereitstellen, um einen Generatorrotor rotieren zu lassen, um Elektrizität zu erzeugen.

[0004] Der Betrieb unter diesen Bedingungen kann eine Anfälligkeit auf Beschädigungen hervorrufen, z.B. durch Fremdgegenstände, die Turbinenbauteile, wie Laufschaufeln, treffen. Eine Beschädigung an Schaufeln kann zu einer verminderten Betriebswirksamkeit von Turbinen, häufigeren Reparaturen, kürzerer Dauer zwischen vorgesehenen Reparaturen und/oder Kostenineffizienz führen.

[0005] Ein Verfahren zur Turbinenreparatur an Ort und Stelle, eine reparierte Beschichtung und ein repariertes Turbinenbauteil, die nicht an einem oder mehreren der obigen Nachteile leiden, wäre im Stande der Technik erwünscht.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0006] Ein erfindungsgemässes Verfahren zur Reparatur eines Bauteils einer Turbine schliesst das Bereitstellen eines beschädigten Turbinenbauteils mit einem Hohlraum ein, der von einer oder mehreren Schichten umgeben ist, die ein Keramikmatrix-Verbundmaterial einschliessen und sich um das Turbinenbauteil erstrecken, wobei im Hohlraum während des Betriebs der Turbine ein höherer Druck vorherrscht als in einer Region ausserhalb der einen oder mehreren Schichten, und wobei aufgrund einer Beschädigung des Turbinenbauteils sich eine Öffnung zwischen dem Hohlraum und der Region ausserhalb des Turbinenbauteils bildet und der Druckunterschied zwischen dem Hohlraum und der Region ausserhalb des Turbinenbauteils abgenommen hat, und zudem das Einführen von Teilchen während des Betriebs der Turbine durch den Hohlraum, die zur Öffnung wandern, und das mindestens teilweise Reparieren der Öffnung zwischen dem Hohlraum und der Region ausserhalb des Turbinenbauteils, indem mindestens eines der Teilchen die Öffnung zumindest teilweise füllt und sich der Druckunterschied zwischen dem Hohlraum und der Region ausserhalb des Turbinenbauteils wieder erhöht.

[0007] Ein Turbinenbauteil, das durch das erfindungsgemässe Verfahren repariert worden ist, indem bei der Reparatur eine Öffnung zwischen einem Hohlraum mit während des Betriebs der Turbine höherem Druck und einer Region mit während des Betriebs der Turbine geringerem Druck ausserhalb des Turbinenbauteils zumindest teilweise gefüllt wurde, umfasst eine Keramikmatrix-Verbundmaterialschicht, und im Bereich der Öffnung ist ein Siliciummaterial abgeschieden und von dem Keramikmatrix-Verbundmaterial umgeben.

[0008] Andere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden detaillierteren Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform in Verbindung mit der beigefügten Zeichnung deutlich, die beispielhaft die Prinzipien der Erfindung veranschaulicht.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0009]

Fig. 1 zeigt schematisch ein beispielhaftes Turbinen-Reparaturverfahren eines beispielhaften Turbinenbauteils gemäss der Offenbarung.

Fig. 2 zeigt schematisch ein beispielhaftes Turbinen-Reparaturverfahren einer beispielhaften Beschichtung gemäss der Offenbarung.

[0010] Wo immer möglich, werden die gleichen Bezugsziffern in den Figuren gezeigt, um darin die gleichen Teile zu repräsentieren.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0011] Bereitgestellt wird ein beispielhaftes Turbinen-Reparaturverfahren und ein repariertes Turbinenbauteil. Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung verlängern die brauchbare Lebensdauer von Turbinenbauteilen, gestatten die Reparatur von Beschichtungen und/oder Turbinenbauteilen an Ort und Stelle, verhindern Beschädigung aufgrund von Oxidation, verhindern die Verschmutzung von Triebwerksbauteilen oder Kombinationen davon. Eine Ausführungsform gestattet es, Siliciummolekülen durch einen Kühldurchgang zu wandern und an Wänden von Öffnungen zu haften, die durch eine Beschädigung durch fremde und/oder eigene Gegenstände gebildet wurden, z.B., durch Braun'sche Bewegung und/oder thermische Energie, die sie aufweisen. Die Moleküle werden schliesslich zu Siliciumdioxid oxidiert und vermindern die Rezessionsraten von Keramikmatrix-Verbundmaterialsubstraten aufgrund erhöhter lokaler Menge von SiO_2-Molekülen in der Nähe des beschädigten Abschnittes.

[0012] Fig. 1 und 2 zeigen schematisch ein beispielhaftes Turbinen-Reparaturverfahren. Jede der Fig. 1 und 2 zeigt ein Turbinenbauteil 101A, gefolgt von dem Turbinenbauteil 101B nach dem Auftreten der Beschädigung, und dem Turbinenbauteil 101C nach der Reparatur gemäss einer Ausführungsform des Verfahrens. Fig. 2 zeigt Schnittansichten entsprechend Fig. 1 entlang Linien A–A, B–B und C–C. Das Turbinen-Reparaturverfahren ist bei einem geeigneten Turbinenbauteil 101 benutzbar. Wie in Fig. 1 gezeigt, ist in einer Ausführungsform das Turbinenbauteil eine Turbinenlaufschaufel 100 oder eine Turbinenschaufel. Andere geeignete Turbinenbauteile schliessen einen Schwalbenschwanz, eine Welle, eine Plattform, einen Flügel, eine Spitzenkappe, einen Dendriten oder ein sonstiges geeignetes Bauteil mit einer Druckdifferenz ein.

[0013] Wie in Fig. 2 gezeigt, schliesst das Turbinenbauteil 101 eine Region höheren Druckes 103 und eine Region geringeren Druckes 105 ein. Die Region höheren Druckes 103 der Turbinenkomponente 101 ist durch eine oder mehrere Schichten gebunden, die ein Keramikmatrix-Verbundmaterial 121 einschliessen. In einer Ausführungsform begrenzt das Keramikmatrix-Verbundmaterial 121 einen Hohlraum innerhalb des Turbinenbauteils 101 wie einen Kern der Turbinenlaufschaufel 100. Bei einer Ausführungsform ist der Kern in zwei oder mehr Hohlräume gebrochen.

[0014] Nahe der Region geringeren Druckes 105 schliesst das Turbinenbauteil 101 bei einer Ausführungsform eine Beschichtung ein, wie eine Umgebungssperrbeschichtung (EBC) 115 auf dem Turbinenbauteil 101. Bei einer Ausführungsform erstreckt sich die EBC 115 um das Turbinenbauteil 101 herum, wie durch eine Ansaugseite und durch eine Druckseite. Die EBC 115 schliesst eine geeignete Anzahl von Schichten oder Materialien ein, die unter den Bedingungen der Region geringeren Druckes 105 zu arbeiten in der Lage sind. Die Schicht(en) der EBC 115 ist/sind mittels eines geeigneten Verfahrens aufgebracht, das in der Lage ist, Material auf Keramikmatrix-Verbundmaterialien aufzubringen. So schliessen, z.B., geeignete Verfahren atmosphärisches Plasmaspritzen, Implantieren reaktionsfähiger Ionen, chemische Dampfabscheidung, plasmageförderte chemische Dampfabscheidung, Eintauchüberziehen, elektrophoretische Abscheidung oder eine Kombination davon ein. Geeignete Schichten sind solche auf Siliciumgrundlage und/oder sie schliessen Siliciumdioxid ein, wie einen Bindeüberzug, der eine chemische Verträglichkeit mit Keramikmatrix-Verbundmaterialien ergibt. Eine andere geeignete Schicht ist eine Übergangsschicht, wie Bariumstrontiumaluminosilicat (BSAS), $(Yb, Y)_2Si_2O_7$, Mullit mit Bariumstrontiumaluminosilicat oder eine Kombination davon, die Beständigkeit gegen das Eindringen von Wasserdampf, chemische Verträglichkeit mit dem Bindeüberzug, einen Koeffizienten der thermischen Ausdehnung, der mit Keramikmatrix-Verbundmaterialien verträglich ist oder eine Kombination davon verleihen. Eine andere geeignete Schicht ist eine obere Beschichtung, wie Y_2SiO_5 oder Bariumstrontiumaluminosilicat, der Wasserdampfrezession und/oder einen Koeffizienten der thermischen Ausdehnung ergibt, der mit Keramikmatrix-Verbundmaterialien verträglich ist. Bei weiteren Ausführungsformen schliesst die EBC 115 eine thermisch gewachsene Oxidschicht ein.

[0015] Während des Betriebes einer Turbine unter Einsatz des Turbinenbauteils 101 befinden sich die Region 103 höheren Druckes und die Region 105 geringeren Druckes unter verschiedenen Bedingungen. Während des Betriebes befindet sich, z.B., die Region 103 höheren Druckes bei einem höheren Druck als die Region 105 geringeren Druckes, was zu dem Druckunterschied führt. Der Druckunterschied vermindert sich, nachdem ein Teil der EBC 115 und des Keramikmatrix-Verbundmaterials 121 entfernt worden ist, z.B. durch Beschädigung durch Fremdgegenstände an der Region 105 geringeren Druckes. Eine solche Beschädigung bildet eine Öffnung 109 zwischen der Region 103 höheren Druckes und der Region 105 geringeren Druckes.

[0016] Bei einer Ausführungsform arbeitet das Turbinenbauteil 101A vor der Beschädigung durch den Fremdgegenstand bei einem vorbestimmten Bereich des Druckunterschiedes, z.B. zwischen etwa 3% und 10% mehr als eine äussere Zone (wie ein Heissgaspfad) und/oder grösser als etwa 0.21 bar (3 psi), grösser als etwa 0.34 bar (5 psi), bei etwa 0.34 bar (5 psi), zwischen etwa 0.21 bar (3 psi) und etwa 0.48 bar (7 psi) oder zwischen etwa 0.34 bar (5 psi) und etwa 0.48 bar (7 psi). Nachdem die Beschädigung durch einen Fremdgegenstand aufgetreten ist, nimmt der Druckunterschied zwischen der Region 103 höheren Druckes und der Region 105 geringeren Druckes des Turbinenbauteils 101B ab. Bei einer Ausführungsform wird der verminderte Druckunterschied identifiziert, was die Identifikation der Beschädigung ohne visuelle Inspektion gestattet. Aufgrund des Auftretens der Beschädigung durch den Fremdgegenstand wird das Turbinen-Reparaturverfahren angewendet.

[0017] Zusätzlich oder alternativ ist eine solche Identifikation einer Beschädigung durch einen Fremdgegenstand in der Lage, auf der Überwachung eines vorbestimmten Druckbereiches für die Region 103 höheren Druckes und/oder eines vorbestimmten Druckbereiches für die Region 105 geringeren Druckes zu basieren. Bei einer Ausführungsform beträgt der vorbestimmte Druckbereich für die Region 103 höheren Druckes zwischen etwa 3% und etwa 10% mehr als eine

Aussenzone (wie ein Heissgaspfad und/oder die Region 105 geringeren Druckes). Nach der Beschädigung durch einen Fremdgegenstand ist der Druck innerhalb der Region 103 höheren Druckes vermindert.

[0018] Die Region 103 höheren Druckes und die Region 105 geringeren Druckes können auch unter Temperaturunterschieden arbeiten, was eine Temperaturdifferenz ergibt. So arbeitet, z.B., bei einer Ausführungsform die Region 103 höheren Druckes bei einer tieferen Temperatur, wie zwischen etwa 471 °C (700 °F) und etwa 816 °C (1500 °F), und die Region 105 geringeren Druckes arbeitet bei einer höheren Temperatur, wie zwischen 649 °C (1200 °F) und etwa 1371 °C (2500 °F).

[0019] Die Öffnung 109 kann durch die Beschädigung durch den Fremdgegenstand zwischen der Region 103 höheren Druckes und der Region 105 geringeren Druckes gebildet werden, was zu einem Abfall in der Druckdifferenz zwischen der Region 103 höheren Druckes und der Region 105 geringeren Druckes führt. Der Fremdgegenstand hat eine regellose Grösse auf der Grundlage strukturierter Teilchen und/oder Agglomerate, die aus Abschnitten stromaufwärts kommen. Bei einer Ausführungsform entspricht die Beschädigung durch den Fremdgegenstand einem Fremdteilchen mit einer Abmessung von mehr als etwa 1,4 mm, mehr als etwa 1,6 mm, mehr als etwa 1,8 mm, mehr als etwa 2,0 mm oder mehr als etwa 2,2 mm. Die Öffnung 109 hat eine Hohlraumgeometrie, die durch die EBC 115 und das Keramikmatrix-Verbundmaterial 121 hindurch gebildet ist. In einer Ausführungsform ist die Öffnung 109, z.B., ein Kanal, eine zylindrische Ausnehmung oder ein solches Loch, eine konische Ausnehmung oder ein solches Loch, eine kegelstumpfförmige Ausnehmung oder ein solches Loch, ein Spalt/Riss oder irgendeine Kombination davon.

[0020] Um den Schaden zu reparieren, wird die Öffnung 109 zumindest teilweise durch eines oder mehrere der Teilchen 107 repariert, die durch die Region 103 höheren Druckes eingeführt werden. Bei einer Ausführungsform werden die Teilchen 107 durch eine Zuführung 123 eingeführt, die, z.B., im Schwalbenschwanzteil der Turbinenlaufschaufel 100 angeordnet ist. Die Teilchen 107 wandern zur Öffnung 109, z.B., auf der Grundlage des Druckunterschiedes, und treten mit dem Keramikmatrix-Verbundmaterial 121 in Kontakt. Ein Teil der Teilchen 107 tritt mit der EBC 115 in Kontakt und/oder wird in die Region 105 geringeren Druckes ausgestossen. Die Teilchen 107, die mit der EBC 115 in Kontakt treten, haften nicht wesentlich. Zumindest ein Teil der Teilchen 107, die mit dem Keramikmatrix-Verbundmaterial 121 in Kontakt treten, haften. Diese Teilchen 107 unterbrechen die Öffnung 109 und füllen dadurch zumindest teilweise den gesamten beschädigten Durchgang und gestatten, z.B., die Erhöhung des Druckunterschiedes derart, dass sich die Region 103 höheren Druckes und die Region 105 geringeren Druckes im Druck innerhalb des Betriebsbereiches unterscheiden, der vor der Beschädigung durch den Fremdgegenstand vorhanden war, und reparieren zumindest teilweise das Turbinenbauteil 101C. Bei einer Ausführungsform werden die Teilchen 107 durch die Anwesenheit von Wärme und/oder Sauerstoff in andere Materialien umgewandelt wie eine geschmolzene Keramik und/oder ein oxidiertes Material (z.B. Siliciumdioxid).

[0021] Die Teilchen 107 sind geeignete Teilchen, die in die Region 103 höheren Druckes eingeführt werden und zumindest teilweise die Öffnung 109 reparieren können. Bei einer Ausführungsform schliessen die Teilchen 107 elementares Silicium ein. Bei einer weiteren Ausführungsform oxidieren der Sauerstoff und/oder Feuchtigkeit der Region 103 höheren Druckes einen Teil oder im Wesentlichen alle der Teilchen 107 zu Siliciumdioxid.

[0022] Die Teilchen 107 sind von einer geeigneten Geometrie und Grösse, die die Einführung in die Region 103 höheren Druckes gestatten und zumindest teilweise die Öffnung 109 reparieren. In einer Ausführungsform sind ein oder mehrere der Teilchen 107 sphäroidisch, kugelförmig, kuboid, im Wesentlichen eben, komplexgestaltig oder eine Kombination davon. In einer Ausführungsform sind ein oder mehrere der Teilchen 107 von Nanogrösse, z.B. haben sie eine maximale Dimension innerhalb eines Nanometerbereiches wie zwischen etwa 2 nm und 10 nm, zwischen etwa 5 nm und etwa 6 nm, weniger als etwa 20 nm, weniger als etwa 10 nm oder weniger als 5 nm. In einer Ausführungsform haben ein oder mehrere der Teilchen 107 eine µm-Grösse, z.B. haben sie eine maximale Dimension innerhalb eines µm-Bereiches, wie weniger als etwa 2 µm, weniger als etwa 1 µm, zwischen etwa 1 µm und etwa 2 µm oder etwa 1 µm.

[0023] Die Teilchen 107 werden in einer geeigneten Weise eingeführt, so dass sie, z.B., den fortgesetzten Betrieb einer Turbine ohne Halt gestatten, die das Turbinenbauteil 101 benutzt. Bei einer Ausführungsform sind die Teilchen 107 in einem Strömungsmittel, wie einer Flüssigkeit und/oder einem Gas, suspendiert. Bei einer Ausführungsform werden die Teilchen 107 durch Injektion in die Zuführung 123 eingeführt, z.B. mit Luft und/oder anderen Gasen.

[0024] Bei einer Ausführungsform werden die Teilchen 107 mit Luft eingeführt. Bei einer Ausführungsform werden die Teilchen mit der Luft bei Gewichts-ppm Si zwischen etwa 0,07 und etwa 4, zwischen etwa 0,07 und etwa 0,2, zwischen etwa 1 und etwa 2, zwischen etwa 2 und etwa 3 oder zwischen etwa 3 und etwa 4 eingeführt.

[0025] Bei einer Ausführungsform werden die Teilchen 107 intermittierend eingeführt, z.B., um etwa 1 Tausendstel eines Zolls an Material in der Öffnung 109 pro Tag zu bilden, mit einer Rate von etwa 4 mol oder irgendeiner anderen geeigneten Rate, die es ermöglicht, dass das Turbinenbauteil 101 repariert wird. Bei einer Ausführungsform werden die Teilchen 107 während des Betriebes einer Turbine eingeführt, in die das Turbinenbauteil eingesetzt ist.

[0026] Nach dem Reparieren schliesst das Turbinenbauteil 101, wie die Laufschaufel 100, eine reparierte Region III der reparierten Beschichtung mit einem Siliciumdioxidmaterial 202 ein, das auf dem Keramikmatrix-Verbundmaterial 121 abgeschieden und von diesem umgeben ist, entsprechend einer Region der Beschädigung durch einen Fremdgegenstand wie der Öffnung 109. Bei einer Ausführungsform wird das Siliciumdioxidmaterial 202 auf einem Teil des Keramikmatrix-Verbundmaterials 121 und/oder der EBC 115 abgeschieden und vollkommen davon umgeben. Bei einer Ausführungsform

schliesst das Siliciumdioxidmaterial 202 eingelagertes elementares Silicium ein, das nicht oxidiert worden ist. Bei dieser Ausführungsform hat die reparierte Region eine Härte zwischen der Härte von Siliciumdioxid und von Silicium.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Reparatur eines Bauteils (101A, B, C) einer Turbine, umfassend:
Bereitstellen eines beschädigten Turbinenbauteils (101A, B, C), wobei das Turbinenbauteil (101A, B, C) einen Hohlraum (103) aufweist, der von einer oder mehreren Schichten (121) umgeben ist, die ein Keramikmatrix-Verbundmaterial einschliessen und sich um das Turbinenbauteil (101A–C) erstrecken, wobei in dem Hohlraum (103) während des Betriebs der Turbine ein höherer Druck vorherrscht als in einer Region (1.05) geringeren Drucks ausserhalb der einen oder mehreren Schichten (121),
wobei sich aufgrund einer Beschädigung des Turbinenbauteils (101A–C) eine Öffnung (103) zwischen dem Hohlraum (103) mit höherem Druck und der Region (105) mit geringerem Druck ausserhalb des Turbinenbauteils (101A–C) gebildet hat und der Druckunterschied zwischen dem Hohlraum (103) und der Region (105) ausserhalb des Turbinenbauteils (101A–C) abgenommen hat,
Einführen von Teilchen (107) während des Betriebs der Turbine durch den Hohlraum (103) höheren Druckes, die zur Öffnung (109) wandern und
zumindest teilweises Reparieren der Öffnung (109) zwischen dem Hohlraum (103) und der Region (105) geringeren Druckes ausserhalb des Turbinenbauteils (101A–C), indem mindestens eines der Teilchen (107) die Öffnung (109) zumindest teilweise füllt und sich der Druckunterschied zwischen dem Hohlraum (103) und der Region (105) ausserhalb des Turbinenbauteils (101A–C) wieder erhöht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, weiter umfassend das Identifizieren des Druckunterschiedes zwischen dem Hohlraum (103) und der Region (105) geringeren Drucks ausserhalb des Turbinenbauteils (101A–C) vor dem Einführen der Teilchen (107) in den Hohlraum (103).
3. Verfahren nach Anspruch 1, worin der Druck im Hohlraum (103) 3% höher ist als der Druck in der Region (105) ausserhalb des Turbinenbauteils (101A–C).
4. Verfahren nach Anspruch 1, worin der Druck im Hohlraum (103) 10% höher ist als der Druck in der Region (105) ausserhalb des Turbinenbauteils (101A–C).
5. Verfahren nach Anspruch 1, worin der Druck im Hohlraum (103) zwischen 3% und 10% höher ist als der Druck in der Region (105) ausserhalb des Turbinenbauteils (101A–C).
6. Verfahren nach Anspruch 1, worin die Teilchen (107) elementares Silicium einschliessen.
7. Verfahren nach Anspruch 1, worin sich die Region (105) ausserhalb des Turbinenbauteils (101A–C) bei einer Temperatur zwischen 649 °C, 1200 °F, und 1371 °C, 2500 °F befindet.
8. Verfahren nach Anspruch 1, worin sich der Hohlraum (103) bei einer Temperatur zwischen 371 °C, 700 °F, und 816 °C, 1500 °F, befindet.
9. Verfahren nach Anspruch 1, worin die Teilchen (107) kleiner sind als 20 nm.
10. Verfahren nach Anspruch 1, worin die Teilchen (107) kleiner sind als 2 µm.
11. Verfahren nach Anspruch 1, worin das Einführen der Teilchen (107) durch Injektion mit komprimierter Luft erfolgt.
12. Verfahren nach Anspruch 1, worin das zu reparierende Turbinenbauteil eine Turbinenlaufschaufel (100), ein Umhüllungsring oder eine Düse ist.
13. Verfahren nach Anspruch 1, worin das reparierte Turbinenbauteil (101A–C) im Bereich der Öffnung ein abgeschiedenes und von einem Keramikmatrix-Verbundmaterial (121) umgebenes Siliciummaterial aufweist.
14. Verfahren nach Anspruch 1, worin zumindest ein Teil der Teilchen (107), welche die Öffnung (109) zumindest teilweise füllen, oxidiert werden.
15. Verfahren nach Anspruch 1, worin mindestens ein Teil der Teilchen (107) nach dem zumindest teilweisen Reparieren der Öffnung (109) geschmolzen ist.
16. Turbinenbauteil (101A–C), repariert durch das Verfahren nach Anspruch 1, indem bei der Reparatur eine Öffnung (109) zwischen einem Hohlraum (103) mit während des Betriebs der Turbine höherem Druck und einer Region (105) mit während des Betriebs der Turbine geringerem Druck ausserhalb des Turbinenbauteils (101A–C) zumindest teilweise gefüllt wurde, wobei das Turbinenbauteil (101A–C) umfasst:
eine Keramikmatrix-Verbundmaterialschicht (121) und
wobei im Bereich der Öffnung ein Siliciummaterial abgeschieden und von dem Keramikmatrix-Verbundmaterial (121) umgeben ist.
17. Turbinenbauteil (101A–C) nach Anspruch 16, wobei das im Bereich der Öffnung abgeschiedene Siliciummaterial ein Siliciumdioxidmaterial umfasst.

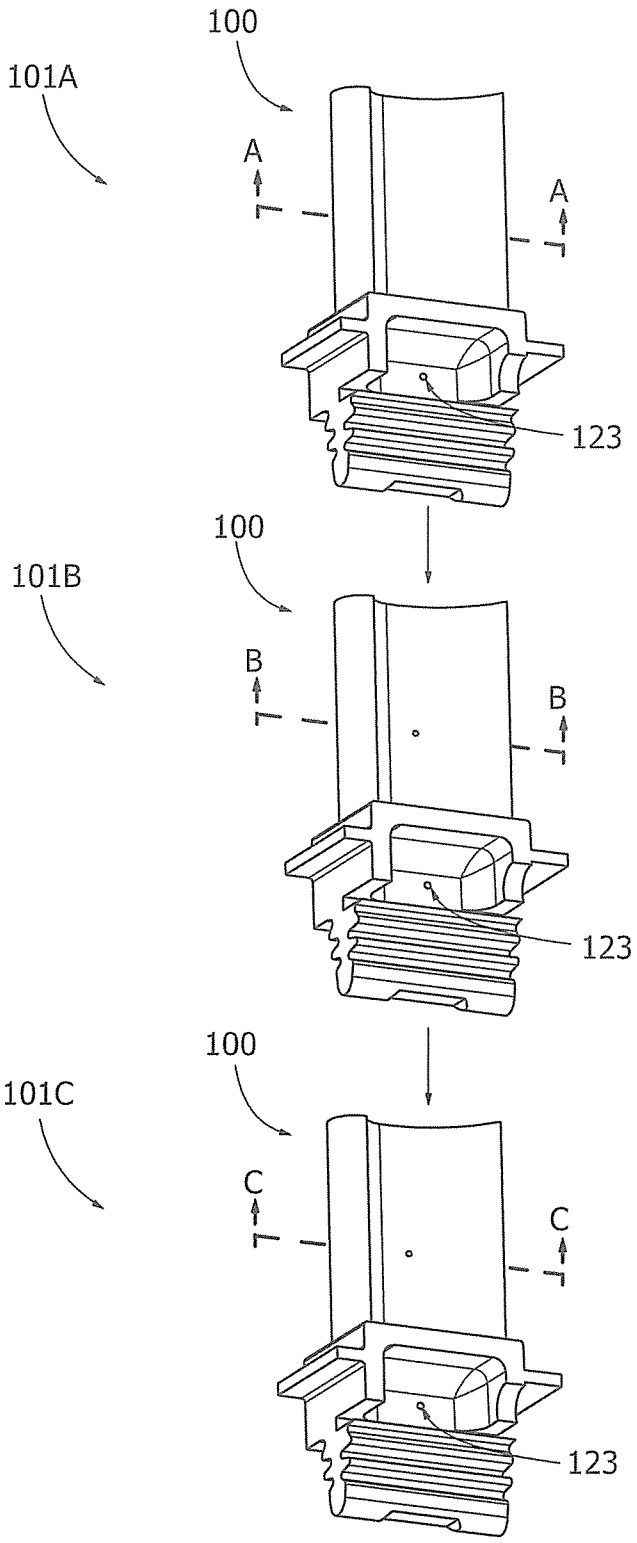


FIG. 1

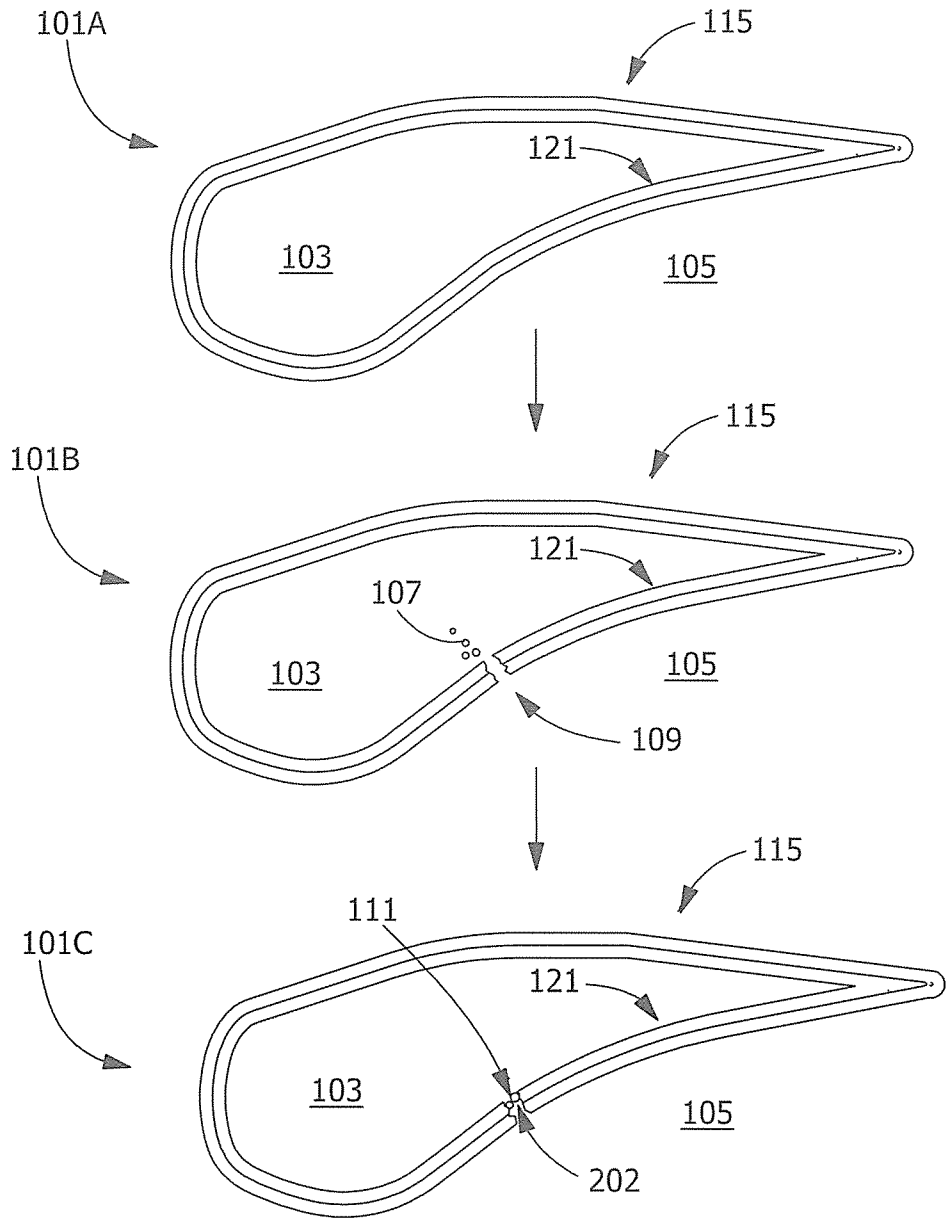

101A
115
121
103
105
101B
115
121
107
103
105
109
115
111
101C
121
103
105
202

FIG. 2