

Verfahren zur Reparatur von Gasturbinenbauteilen aus kerami-
schen Verbundwerkstoffen und Vorrichtung zur Durchführung des
Verfahrens

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reparatur
von Gasturbinenbauteilen aus keramischen Verbundwerkstoff mit
den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1, und eine Vor-
richtung zur Durchführung des Verfahrens mit den Merkmalen des
Oberbegriffs von Anspruch 8.

In Gasturbinen werden zukünftig vermehrt Keramikbauteile ein-
gesetzt. Diese Bauteile machen mit höheren Gas- oder Bauteil-
temperaturen bessere Effizienzen der Triebwerke möglich. Ein
generelles Problem von keramischen Bauteilen ist jedoch, dass
ihre Duktilität geringer als die von vergleichbaren Metallbau-
teilen ist. Damit einher geht eine geringe Risszähigkeit und
dementsprechend eine hohe Bruchgefahr. Um diesem Problem ent-
gegen zu wirken, können Keramiken verstärkt werden, beispiels-
weise durch Fasern oder Teilchen. Solche keramischen Verbund-
werkstoffe, insbesondere Faserverbundwerkstoffe, auch CMC oder
Faserkeramiken genannt, haben eine Reihe von Vorteilen. Gegen-
über konventionellen technischen Keramiken weisen sie eine
deutlich höhere Bruchdehnung, einen höheren Risswiderstand und
eine sehr hohe Thermoschockbeständigkeit auf. Zusätzlich zu
Fasern können alternativ auch Teilchen oder Partikel im Ver-
bund mit Keramiken eingesetzt werden, um die z.B. Abrasions-
festigkeit, Thermoschockfestigkeit oder Bruchfestigkeit zu er-
höhen. Generell sind sie aufgrund ihrer hohen Temperaturfes-
tigkeit und ihrer geringen Dichte für diverse Anwendungen in
der Luft- und Raumfahrt gut geeignet. Als Beispiele für ver-
breitete keramische Faserverbundwerkstoffe und Partikelver-

bundwerkstoffe können Kombinationen von Faser-/ Partikel-/ Matrixwerkstoffen aus folgenden Materialien und Kombinationen hiervon angeführt werden: Siliziumcarbid/Silizium, Siliziumcarbid/Siliziumnitrid, Siliziumcarbid/Kohlenstoff, Kohlenstoff/Kohlenstoff, Aluminiumoxid/Aluminium.

Problematisch ist die Reparatur von Bauteilen oder Bauteilbereichen aus keramischen Verbundwerkstoffen, da bisherige Reparaturverfahren viele Prozessschritte und aufwendige Offenbehandlungen der zu reparierenden Bauteile erfordern.

Ein Reparaturverfahren für keramische Faserverbundwerkstoffe wird in der Patentschrift US 6 820 334 B2 vorgestellt. Um die Bauteile zu reparieren, werden zugeschnittene Streifen aus keramischen Faserverbundwerkstoffen neben einer vorbehandelten Reparaturstelle positioniert, das gesamte Bauteil anschließend in einem Vakuumbbeutel autoklaviert und dann anschließend einer ersten Wärmebehandlung bei ca. 750°C und einer zweiten Wärmebehandlung bei ca. 1425°C in einem Vakuumofen unterzogen.

Ein anderer Ansatz ist aus EP 1 559 499 A1 bekannt. Hier wird das Bauteil aus einem keramischen Faserverbundwerkstoff erst mechanisch bearbeitet, um eine Mulde zu erzeugen oder die Matrix des Verbundwerkstoffs auszulaugen, um dann durch lokalen Wiederaufbau der keramischen Matrix plus Sintern und/oder Neuinfiltration durch CVD (Chemical Vapour Deposition) Verfahren bei 700°C bis 1100°C das Bauteil zu reparieren.

Beiden Verfahren ist gemein, dass ein Bauteilbereich mit einer Vielzahl von Prozessschritten bearbeitet werden muss. Dabei muss teilweise aufwendig Material vordeponiert werden, außerdem liegen in der Verarbeitung von Fasern und Zuschlagstoffen in einem Ofen, einer Form oder durch ein vordeponiertes Tape

mehrere grundlegende Probleme: Das erste Problem ist, dass bei größeren Bauteilen auch entsprechend große Öfen vorhanden sein müssen, um eine Reparatur überhaupt zu ermöglichen. Bei kleinen Bauteilen ist die Ofengröße insofern ein Problem, da die kleinen Bauteile oft in großer Zahl vorhanden sind und dementsprechend zur Reparatur der vielen kleinen Bauteile in der Regel auch viele Ofenzyklen durchlaufen werden müssen, wobei dabei kaum auf individuelle Anforderungen (bspw. Temperaturen, Drücke, etc.) von allen Bauteilen eingegangen werden kann. Das zweite Problem ist, dass aufgrund der langen Wärmeeinflüsse von Schmelze oder Ofenwärme eine Gefahr der Zersetzung von Fasern und/oder Schädigung des zu reparierenden Bauteils und/oder Schädigung der Reparaturstelle besteht. Zusätzlich muss bei großflächigen Behandlungen eine erhebliche Spannung durch den thermischen Einfluss und die aufgebrachten Werkstoffe kompensiert werden. Des Weiteren sind Verfahren, die eine Gussform benötigen, insbesondere bei Freiformflächen des Gasturbinenbereichs, wie z.B. Airfoils, nur sehr bedingt einsetzbar, da individuelle Schädigungsmechanismen und individuelle Verformungen durch Herstellung und Betrieb eine extreme Menge an unterschiedlichen Vorformen nach sich ziehen. Da Gasturbinenbauteile einer Vielzahl von Einwirkungen durch korrosive Medien, oxidierende Atmosphären, hohe Temperaturen oder auch Fremdkörper ausgesetzt sind, sind Schädigungen der Bauteile nahezu unvermeidlich, was insbesondere im Hinblick auf die hohen Kosten der Neuteile, den Bedarf von wirtschaftlichen Reparaturverfahren begründet.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein kostengünstiges Verfahren zur Reparatur von gattungsgemäßen Gasturbinenbauteilen und eine entsprechende Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens bereitzustellen.

Die Erfindung löst die Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 10. Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind den Unteransprüchen und den zugehörigen Beschreibungen und Zeichnungen zu entnehmen.

Erfindungsgemäß wird zur Lösung der Aufgabe ein Verfahren zur Reparatur eines Gasturbinenbauteils vorgeschlagen, wobei das Gasturbinenbauteil zumindest an der zu reparierenden Stelle aus einem keramischen Verbundwerkstoff besteht, und bei dem durch einen Energiestrahle das Gasturbinenbauteil an einer Zone lokal erwärmt wird, und an dieser Zone ein oder mehrere Zusatzstoffe und wahlweise Fasern und/oder Partikel zugeführt werden, wobei durch diesen Zusatzstoff bzw. diese Zusatzstoffe eine Keramik in der Schmelzzone geschaffen wird, die zusammen mit den zugeführten Fasern und/oder Partikeln einen keramischen Faserverbundwerkstoff bildet. Der erfindungsgemäße Anbindungsprozess von erzeugter zur im Bauteil vorliegenden Keramik ist dabei im Wesentlichen durch zwei Wege möglich, bei denen das Bauteil jeweils thermisch aktiviert wird. Der erste Weg umfasst das Anschmelzen der vorliegenden Keramik und Verbindung mit den zugeführten Werkstoffen. Dieser Weg ist aufgrund von möglicherweise auftretenden Schrumpfungen nur bei bestimmten Bauteilen geeignet. Der zweite Weg erfolgt über eine Erwärmungs-Benetzungs-Reaktion. Dabei umfasst die Verbindung an der Grenzfläche von vorliegendem Material zu zugeführtem Material drei Schritte. Im ersten Schritt wird eine Zone des Bauteils durch einen Energiestrahle oder die Schmelze der zugeführten Werkstoffe erwärmt. Im zweiten Schritt erfolgt die Benetzung der vorliegenden Keramikgrenzfläche durch die zugeführten Werkstoffe, beispielsweise durch schmelzflüssiges Silizium oder Aluminium. Im dritten Schritt erfolgt eine teilweise oder vollständige Reaktion der Metallschmelzen zu Me-

tall-Nichtmetall-Verbindungen (Keramik).

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Reparatur des Gasturbinenbauteils ermöglicht es, einen keramischen Verbundwerkstoff lokal zu erzeugen, ohne dass aufwendige Ofenbehandlungen notwendig sind. Zwar kann bei besonderem Bedarf das Bauteil einer Ofenbehandlung, bspw. einem Spannungsarmglühen, unterzogen werden, dies ist jedoch in der Regel nicht notwendig, da sich kleine Spannungen in den erfindungsgemäß reparierten Bauteilen durch die sehr hohen Temperaturen im Betrieb ohnehin schnell abbauen können. Ein besonderer Vorteil des entwickelten Verfahrens ist, dass Schrumpfspannungen reduziert werden können, die bei Standardverfahren (bspw. Sintern) zur Erzeugung von keramischen Verbundwerkstoffen nahezu unvermeidlich sind. Generell ist das erfindungsgemäße Verfahren einfach durchzuführen, da tatsächlich nur der beschädigte Bereich repariert wird und nicht das ganze Bauteil einem Sinter- oder Gießprozess unterworfen werden muss. Auch muss das Bauteil nicht neu infiltriert werden, sondern durch erfindungsgemäßes Zuführen der Fasern in die Schmelzzone, in der die Keramik gebildet wird, kann der keramische Verbundwerkstoff lokal direkt erzeugt werden.

Vorzugsweise reagieren der eingebrachte Zusatzstoff bzw. die eingebrachten Zusatzstoffe in der Schmelzzone vollständig oder zum Teil in einer chemischen Reaktion zu einer Keramik. Die dazu benötigten Komponenten, beispielsweise ein Metall wie Silizium und ein Nichtmetall wie Kohlenstoff, werden in einem stöchiometrischen Verhältnis als Zusatzstoffe in die Schmelzzone eingebracht und reagieren dann zu der gewünschten Keramik, in diesem Fall Siliziumcarbid. Dabei wird vorzugsweise ein um 20-40% höherer Anteil des Metalls vorgesehen, als stöchiometrisch nötig wäre, um alles Nichtmetall vollständig rea-

gieren zu lassen. Der Grund hierfür ist, dass erreicht werden soll, dass der Kohlenstoff vollständig reagiert und nicht aufgrund von lokalem Siliziummangel elementar in der Fügezone verbleibt. Ein Überbleiben von Silizium wird dabei billiger in Kauf genommen, da es sogar positive Auswirkungen auf die Werkstoffeigenschaften haben kann, da viele klein verteilte Siliziumeinschlüsse in der Keramikmatrix die Duktilität und Risszähigkeit der Fügezone positiv beeinflussen können. Während die Zusatzstoffe reagieren, umschließen sie idealer Weise die in der Schmelze freiliegenden nicht aufgeschmolzenen Fasern und/oder Partikel des Grundwerkstoffmaterials und die zusätzlich eingebrachten Fasern und/oder Partikel gleichermaßen, so dass nach der chemischen Reaktion das neue Material fest mit dem Grundwerkstoff verbunden ist. Von besonderem Vorteil ist dabei, dass nicht nur eine Verbindung zwischen zwei Matrixwerkstoffen erreicht wird, sondern dass alte und neue Fasern und/oder Partikel in das zu Keramik reagierende Schmelzbad hineinragen, wodurch erfindungsgemäß eine besonders hochwertige Verbindung geschaffen wird. Generell bezeichnet eine Matrix ein zusammenhängendes Material oder Phase, das nicht zusammenhängende andere Phasen und/oder Partikel und/oder Fasern des gleichen oder eines anderen Materials enthält.

Vorzugsweise kann der eingebrachte Zusatzstoff bzw. die eingebrachten Zusatzstoffe die zu schaffende Keramik bereits enthalten. Der der Schmelzzone zugeführte Zusatzstoff bzw. die Zusatzstoffe werden durch den Energiestrahle vollständig oder zum Teil über den Schmelzpunkt hinaus erhitzt. Das dabei entstehende Schmelzbad ist durch seine flüssige Natur in der Lage, die Fasern und/oder Partikel des Grundwerkstoffs und die neu eingebrachten Fasern und/oder Partikel zu umfließen und nach seinem Erstarren den Grundwerkstoff mit den zusätzlich eingebrachten Werkstoffen zu verbinden. Vorzugsweise sind der

eingebraachte Zusatzstoff und die zusätzlich eingebrachten Fasern und/oder Partikel dabei aus der gleichen Materialkombination wie der Grundwerkstoff, das heißt der Zusatzstoff bzw. die Zusatzstoffe und/oder die Fasern und/oder die Partikel werden so ausgewählt, dass sie den gleichen keramischen Verbundwerkstoff schaffen, aus der auch das Gasturbinenbauteil vorwiegend besteht. Durch die Artgleichheit der Verbindungspartner ist die entstehende Verbindung besonders einfach zu realisieren (gleiche Eigenschaften wie z.B. der Schmelzpunkt erleichtern den Prozess), und außerdem ist die Qualität der Verbindung besonders hoch. So sind beispielsweise die gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten sehr vorteilhaft, um thermische Spannungen der Verbindung zu minimieren, was besonders bei Anwendungen im Turbinenbereich von übergeordneter Bedeutung ist.

Vorzugsweise werden der eingebrachte Zusatzstoff bzw. die eingebrachten Zusatzstoffe und/oder die Fasern und/oder die Partikel vordeponiert und/oder über eine oder mehrere Zuführungen der Reaktionsenergie zugeführt. Ein Vordeponieren der Zusatzstoffe und/oder der Fasern und/oder der Partikel an der Reparaturstelle kann in manchen Fällen Vorteile aufweisen, in der Regel werden die Zusatzstoffe und/oder die Fasern und/oder die Partikel aber bevorzugt über eine Zuführung coaxial oder seitlich zum Energiestrahle zugeführt. Dies hat den Vorteil, dass in allen Lagen gearbeitet werden kann und bei einer geregelten Zuführung die Zusatzstoffe und/oder Fasern und/oder Partikel definiert in die Fügezone eingebracht werden können. Besonders definiert und geregelt kann dies geschehen, wenn zur Zuführung der Zusatzstoffe und/oder der Fasern und/oder der Partikel ein Fülldraht vorgesehen ist. Dieser Fülldraht enthält die notwendigen Materialien in geeigneter Menge und Zusammensetzung. Ein Fülldraht hat den Vorteil, dass die Zuführung von allen benötigten Komponenten über eine einzige Zuführung erreicht werden

kann. Je nach Bedarf enthält der Fülldraht beispielsweise Silizium und Kohlenstoff sowie Siliziumcarbidfasern, und wird eingesetzt, um ein Bauteil aus einem keramischen Siliziumcarbidverbundwerkstoff zu reparieren. Dabei können auch sehr
5 kleine Fasern einfach zugeführt werden, deren Zuführung sonst aufgrund ihrer Lungengängigkeit problematisch und mit Aufwand verbunden ist, aber auch Endlosfasern können problemlos zugeführt werden, da der Fülldraht in seiner Länge nicht beschränkt ist. Eine solche definierte Zuführung von Fasern in
10 beliebiger Länge und Durchmesser zum Reparieren von keramischen Faserverbundwerkstoffen über reagierende Zusatzwerkstoffe ermöglicht vielseitige Reparaturmöglichkeiten. So ist es auch möglich, Risse in Gasturbinenbauteilen aus keramischen Faserverbundwerkstoffen mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zu
15 schließen und eine solche Schwachstelle, z.B. durch mehrere Lagen übereinander, zu verstärken. Auch ist es möglich, zwei Bauteile miteinander zu verbinden, indem bspw. die Schmelzzone und damit der Fügebereich genau in den Bereich gelegt wird, in dem sich die Bauteile berühren.

20 Der Aufbau des Fülldrahtes ist vorzugsweise so gewählt, dass der Fülldraht einen Außenmantel umfasst, wobei der Werkstoff des Außenmantels selbst einen oder mehrere Zusatzstoffe umfassen kann, und der Außenmantel einen Innenbereich umgibt, wobei
25 im Innenbereich Zusatzstoffe und/oder Fasern und/oder Partikel vorgesehen sind. Ein solcher Fülldraht hat den Vorteil, dass der Außenmantel nicht nur als strukturelles Element dient, sondern auch gleichzeitig die Rolle der Zusatzstoffe übernehmen kann. Dadurch wird Material eingespart und es verbleiben
30 keine Verunreinigungen im Bauteil, die durch einen Fülldraht ohne Zusatzwerkstoffaußenmantel entstanden wären. Der Innenbereich des Fülldrahtes ist mit den verschiedenen Zusatzstoffen und Fasern gefüllt, wobei die Zusatzstoffe beispielsweise in

Form von Blech, Pulver, Paste oder Fasern vorliegen. Dabei ist die Menge und Art der Zusatzwerkstoffe auf den jeweiligen Bedarf abgestimmt und es ist gewährleistet, dass immer eine kontinuierliche Menge an Zusatzwerkstoffen und/oder Fasern und/oder Partikeln der Schmelzzone zugeführt wird, was bspw. durch Vordeponieren nicht immer sichergestellt werden kann, da dort die Komponenten nicht immer in dem gewünschten Verhältnis lokal vorhanden sind. Die Zuführung von vordeponiertem Material in das Schmelzbad erfolgt dadurch, dass das durch den Energiestrahle erzeugte Schmelzbad zusammen mit dem Energiestrahle auf einem definierten Pfad über das Gasturbinenbauteil geführt wird und auf diesem Pfad Material vordeponiert ist, welches durch den Energiestrahle aufgeschmolzen wird und dadurch dem Schmelzbad zugeführt wird. Bei so einer Vordeponierung kann es passieren, dass Fasern und/oder Partikel in dem vordeponierten Faser/Pulver Gemisch, nicht gleichmäßig verteilt vorliegen, sondern sich in einem Bereich anhäufen (bspw. durch Dichteunterschiede oder Agglomerationseffekte), und der aus einem solchen Gemisch gebildete keramische Verbundwerkstoff dann entsprechend nicht überall die gewünschten Materialeigenschaften hat, also Schwachstellen aufweisen könnte.

Vorzugsweise ist im Innenbereich des Fülldrahtes ein Gasstrom vorgesehen, der vorzugsweise dazu genutzt wird, ein Schutzgas und/oder Reaktionsgas für das Reparaturverfahren bereitzustellen. Je nach Bauteilwerkstoff und der zu schaffenden Keramik kann es nötig oder hilfreich sein, ein Schutzgas oder ein Reaktionsgas bereitzustellen. Beispielsweise könnte Argon als Schutzgas die Fügezone vom Luftsauerstoff abschirmen oder, in einem anderen Fall, zusammen mit Methan zum Deponieren von Kohlenstoff verwendet werden.

Vorzugsweise ist der Energiestrahle als Laserstrahl ausgeführt.

Der Vorteil eines Laserstrahls ist, dass der Prozess nicht unter Vakuum durchgeführt werden muss und die Schmelzzone durch die geringe Streuung des Laserstrahls sehr definiert gebildet werden kann. Der Energiestrahл kann bevorzugt auch als Elektronenstrahl ausgeführt sein, welches für bestimmte Anwendungen vorteilhaft sein kann. Des Weiteren kann der Energiestrahл auch bevorzugt als Induktionsfeld ausgeführt sein. In diesem Fall wird der Energiestrahл im Bauteil durch das Induktionsfeld induziert, was sich besonders für keramische Verbundwerkstoffe eignet, die leitende Fasern oder Partikel enthalten.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von konkreten Ausführungsbeispielen unter Zuhilfenahme von Figuren näher erläutert. In den Figuren ist im Einzelnen zu erkennen:

Fig. 1: Schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Fig. 2: Darstellung einer erfindungsgemäßen Reparatur eines Gasturbinenbauteils aus keramischem Faserverbundwerkstoff.

Fig. 3: Schnitt AA des Gasturbinenbauteils aus der Fig. 2.

Fig. 4: Schematischer Aufbau des erfindungsgemäßen Fülldrahtaufbaus.

Fig. 5: Schnitt BB des Fülldrahtes aus Fig. 4.

In der Fig. 1 ist die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens dargestellt. Es ist ein Energiestrahл zu erkennen, welcher auf eine zu bearbeitende Grundwerkstoffoberfläche 5 gerichtet ist. Dadurch wird der Grundwerkstoff

5 lokal in einer Zone, die hier als Schmelzzone 4 ausgeführt ist, thermisch aktiviert, also erwärmt und/oder aufgeschmolzen, so dass eine Benetzung durch Schmelzen oder Schmelzprodukte erfolgen kann. In diese Schmelzzone 4 wird über eine
10 seitliche Zuführung 3 und/oder über eine symmetrische oder ko-axiale Zuführung 2 Material zugeführt. Wahlweise kann der Schmelzzone 4 dieses Material auch ergänzend oder ausschließlich über eine Vordeponierung 16 zugeführt werden. Der
15 Schmelzzone 4 kann dabei auch ein Prozessgas 15 (z.B. Sauerstoff, Methan, Argon) zugeführt werden, wahlweise kann auch die vorhandene Umgebungsatmosphäre (z.B. Luftsauerstoff und/oder -stickstoff) prozessfördernd (z.B. zur Oxid-/Nitridbildung) genutzt werden. Ziel ist es, durch die Materialzufuhr, wahlweise in Verbindung mit Gaszufuhr, einen keramischen Faserverbundwerkstoff 6 zu schaffen, um bspw. das in der
Fig. 2 dargestellte Gasturbinenbauteil 7 zu reparieren.

Das in der Fig. 2 dargestellte Gasturbinenbauteil 7 kann beispielsweise eine Einzelschaufel mit Schaufelfuß oder auch eine
20 Schaufel auf einem integralen Bauteil (Blisk oder Vane Cluster) sein. Das Gasturbinenbauteil 7 ist durch den Betrieb an der Strömungseintrittsseite verschlissen und beschädigt, so dass durch das erfindungsgemäße Reparaturverfahren ein keramischer Faserverbundwerkstoff 6 zur Verstärkung auf den Grundkörper 8 des Gasturbinenbauteils 7 aufgetragen wurde, um die
25 Ausgangsschaufelgeometrie wiederherzustellen. Zur Verdeutlichung ist ein Schnitt AA durch das Gasturbinenbauteil 7 in der Fig. 3 dargestellt.

30 In der Fig. 3 ist besonders deutlich zu sehen, wie der vorhandene Grundkörper 8 an den neu aufgetragenen keramischen Faserverbundwerkstoff 6 angrenzt. Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist es möglich, verschlissene Gasturbinenbauteile, die

aus keramischen Faserverbundwerkstoffen bestehen, wieder zu reparieren. Der große Vorteil im erfindungsgemäßen Verfahren liegt darin begründet, dass es vergleichsweise einfach und kostengünstig ist, da tatsächlich nur der beschädigte Bereich repariert wird und nicht das ganze Gasturbinenbauteil 7 einem Sinter- oder Gießprozess unterworfen werden muss. Auch muss das Gasturbinenbauteil 7 nicht neu infiltriert werden. Vielmehr ist es möglich, durch das erfindungsgemäße Zuführen der Fasern 12 in die Schmelzzone 4 die Keramik in der ursprünglichen Zusammensetzung und Beschaffenheit oder in alternativen Ausführungen lokal neu zu bilden, so dass der keramische Faserverbundwerkstoff 6 lokal direkt erzeugt werden kann. Dadurch kann in bestimmten Fällen auch eine Reparatur „on-wing“ durchgeführt werden, also ohne dass Gasturbinenbauteile 7 aus der Gasturbine ausgebaut werden müssen. Durch diesen stark reduzierten Prozessaufwand ist das beschriebene Verfahren sehr viel wirtschaftlicher als bekannte Reparaturverfahren von keramischen Faserverbundwerkstoffen.

In der Fig. 4 ist der Aufbau des erfindungsgemäßen Fülldrahtes 14 zu sehen. Der eingezeichnete Schnitt BB ist in der Fig. 5 dargestellt. Der Fülldraht 14 enthält Fasern 12 und Zusatzstoffe 13, die in verschiedenen Formen, Größen und Mengen vorliegen können. Nicht dargestellt sind Partikel, die aber auch erfindungsgemäß im Fülldraht enthalten sein können, vorzugsweise dann, wenn ein partikelverstärkter keramischer Verbundwerkstoff repariert wird. Die Länge der Fasern 12 kann beispielsweise einige wenige Mikrometer betragen, oder aber auch beliebig lang sein (sog. Endlosfasern). Die Zusatzstoffe 13 können in Form von kleinen Blechen, als Pulver oder auch Pasten vorliegen. Umgeben wird der Innenbereich 9, in dem die meisten Fasern 12 und Zusatzstoffe 13 vorgesehen sind, von einem Außenmantel 10, der selbst auch als Zusatzstoff 13 ausge-

führt werden kann. Darüber hinaus kann im Innenbereich 9 auch ein Gasstrom 11 vorgesehen sein, über den Schutz- und/oder Prozessgase 15 über den Fülldraht 14 zur Reparaturstelle geleitet werden können.

5 Durch das Zuführen der Zusatzstoffe 13 in die vom Energiestrahl 1 erzeugte Schmelzzone 4 wird in der Schmelzzone eine Keramik geschaffen, die zusammen mit zusätzlich zugeführten Fasern 12 einen keramischen Faserverbundwerkstoff 6 bildet.

10 Die dazu benötigten Komponenten, beispielsweise ein Metall wie Silizium und ein Nichtmetall wie Kohlenstoff, werden in einem stöchiometrischen Verhältnis als Zusatzstoffe 13 in die Schmelzzone 4 eingebracht und reagieren dann zu der gewünschten Keramik, in diesem Fall Siliziumcarbid. Ein wahlweise erhöhter Siliziumanteil von 20-40% sorgt für eine vollständige

15 Reaktion des Kohlenstoffs, was bei einem rein stöchiometrischen Verhältnis nicht immer erreicht werden kann, da dort nicht davon auszugehen ist, dass allem Kohlenstoff in naher Umgebung auch Silizium zur Reaktion zur Verfügung steht. Das überschüssige Silizium verbleibt dabei idealer Weise in fein

20 verteilten Siliziumeinschlüssen und kann dem erzeugten keramischen Faserverbundwerkstoff 6 dadurch zusätzlich zu einer verbesserten Duktilität verhelfen.

25 Der erfindungsgemäße Fülldraht 14 eröffnet dabei eine ganze Reihe von Möglichkeiten zur Reparatur von Gasturbinenbauteilen. Der Fülldraht 14 kann je nach Bedarf individuell gestaltet sein, um so den verschiedenen Anforderungen der verschiedenen Faser- und Matrixkombinationen gerecht zu werden. Diese

30 Möglichkeit zur individuellen Komposition, zur Wahl der Menge der Zusatzstoffe 13, der Fasern und auch des Schutz- und Prozessgases 15 erlaubt die einfache Anwendung und Adaption des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vor-

richtung auf vorhandene und zukünftige Gasturbinenbauteile aus keramischen Faserverbundwerkstoffen.

Bezugszeichenliste

- 1 Energiestrahl
- 5 2 Koaxiale Zuführung
- 3 Seitliche Zuführung
- 4 Schmelzzone
- 5 Grundwerkstoffoberfläche
- 6 Keramischer Faserverbundwerkstoff
- 10 7 Gasturbinenbauteil
- 8 Grundkörper
- 9 Innenbereich
- 10 Außenmantel
- 11 Gasstrom
- 15 12 Fasern
- 13 Zusatzstoffe
- 14 Fülldraht
- 15 Prozessgas
- 16 Vordeponierung

Ansprüche:

1. Verfahren zur Reparatur eines Gasturbinenbauteils (7),
welches zumindest an der zu reparierenden Stelle aus einem
keramischen Verbundwerkstoff besteht, dadurch gekennzeichnet,
dass ein Energiestahl (1) das Gasturbinenbauteil (7)
an einer Zone lokal erwärmt und dass an dieser Zone ein
oder mehrere Zusatzstoffe (13) und wahlweise Fasern (12)
und/oder Partikel zugeführt werden, wobei durch diesen Zu-
satzstoff (13) bzw. diese Zusatzstoffe (13) eine Keramik
in der Schmelzzone (4) geschaffen wird, die zusammen mit
den zugeführten Fasern (12) und/oder Partikeln einen kera-
mischen Verbundwerkstoff (6) bildet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
der eingebrachte Zusatzstoff (13) bzw. die eingebrachten
Zusatzstoffe (13) in der Zone vollständig oder zum Teil in
einer chemischen Reaktion zu einer Keramik reagieren.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass
die Zusatzstoffe (13) ein Metall und ein Nichtmetall um-
fassen, welche in der chemischen Reaktion zu einer Keramik
reagieren und wobei der Anteil des Metalls höher, vorzugs-
weise 20-40%, als der des Nichtmetalls ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
der eingebrachte Zusatzstoff (13) bzw. die eingebrachten
Zusatzstoffe (13) die zu schaffende Keramik enthalten.
5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, da-
durch gekennzeichnet, dass der Zusatzstoff (13) bzw. die
Zusatzstoffe (13) und/oder die Fasern (12) und/oder die
Partikel so ausgewählt werden, dass sie den gleichen kera-

mischen Verbundwerkstoff (6) schaffen, aus der auch das Gasturbinenbauteil (7) vorwiegend besteht.

- 5 6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der eingebrachte Zusatzstoff (13) bzw. die eingebrachten Zusatzstoffe (13) und/oder die Fasern (12) und/oder die Partikel vordeponiert, und/oder über eine oder mehrere Zuführungen (2,3), zugeführt werden.
- 10 7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Energiestrahle (1) als Laserstrahl ausgeführt ist.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Energiestrahle (1) als Elektronenstrahl ausgeführt ist.
- 20 9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Energiestrahle (1) als Induktionsfeld ausgeführt ist.
- 25 10. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Zuführung der Zusatzstoffe (13) und/oder der Fasern (12) ein Fülldraht (14) vorgesehen ist.
- 30 11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Fülldraht (14) einen Außenmantel (10) umfasst, wobei der Werkstoff des Außenmantels (10) selbst einen oder mehrere Zusatzstoffe (13) umfassen kann, und der Außenmantel (10) einen Innenbereich (9) umgibt, wobei im Innenbereich (9) Zusatzstoffe (13) und/oder Fasern (12) und/oder Parti-

kel vorgesehen sind.

- 5 12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass im Innenbereich (9) des Fülldrahtes (14) ein Gasstrom (11) vorgesehen ist, der vorzugsweise dazu genutzt wird, ein Schutzgas und/oder Reaktionsgas (15) für das Reparaturverfahren bereitzustellen.