

Gasturbinenschaufel für ein Flugzeugtriebwerk und Verfahren
zur Beschichtung einer Gasturbinenschaufel

Die Erfindung betrifft eine Gasturbinenschaufel für ein Flugzeugtriebwerk mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1 und ein Verfahren zur Beschichtung einer Gasturbinenschaufel mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 12.

Gasturbinenschaufeln, insbesondere in Flugzeugtriebwerken eingesetzte Gasturbinenschaufeln, erleiden im Betrieb durch Sand, Staub, Tropfen und andere abrasiv wirkende Stoffe Verschleiß.

Insbesondere im Falle der Strömungseintrittskanten von Kompressorschaukeln eines Flugzeugtriebwerks führt dieser Verschleiß zum Teil schon nach 1000 Flugstunden nach Inbetriebnahme zu einer aerodynamisch ungünstigen Abnutzung des Schaufelprofils.

Zudem lagern sich adhäsive Partikel, beispielsweise Schmutz, auf den Saug- und/oder Druckseiten von Gasturbinenschaufeln ab, welches zu einer Verdickung der Grenzschicht auf der Saugseite der Schaufel und somit zu einer ungünstigen Beeinflussung der Strömungsverhältnisse führen kann.

Um einem Verschleiß entgegenzuwirken, ist es aus dem Stand der Technik, beispielsweise aus den Druckschriften EP 2 072 176 A1, DE 10 2009 032 564 A1 oder EP 2 343 394 A1, bekannt, Gasturbinenschaufeln durch spezielle Beschichtungsverfahren mit Verschleißschutzschichten zu versehen.

Problematischerweise werden diese (zum Teil dünnen) Schichten durch anfliegende Partikel, beispielsweise Sandkörner, abgetragen, wobei die Partikel und/oder Sandkörner zum Teil durch Auftreffen auf der Eintrittskante und/oder anschließendes Auftreffen auf der Saugseitenfläche der Gasturbinenschaufel eine etwaige Beschichtung und/oder das Grundmaterial der Schaufel abtragen.

Nach einem Abtrag der Verschleißschuttschichten ist die Gasturbinenschaufel ungeschützt und unterliegt dann einem stärkeren Verschleiß.

Darüber hinaus sind dicke harte Schichten oft mit dem Problem verbunden, dass heranfliegende Hartstoffe, wie beispielsweise Sandkörner, an der harten Schicht abprallen, wenig ihrer kinetischen Energie verlieren und in andere Bauteil- oder Triebwerksbereiche einschlagen und zum Teil an vergleichsweise ungeschützten Stellen starken Verschleiß induzieren.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, eine Gasturbinenschaufel für ein Flugzeugtriebwerk mit verbesserten Verschleißigenschaften und ein entsprechendes Verfahren zur Beschichtung einer Gasturbinenschaufel bereitzustellen.

Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche.

Zur Lösung der Aufgabe wird somit eine Gasturbinenschaufel für ein Flugzeugtriebwerk vorgeschlagen, wobei die Gasturbinenschaufel eine Strömungseintritts- und eine Strömungsaustrittskante und eine dazwischen liegende Saugseite und Druckseite aufweist, wobei die Gasturbinenschaufel an der Strömungseintrittskante eine Dämpfungsschicht aufweist und wobei die Dämpfungsschicht eine Dämpfungsschicht aufweist.

fungsschicht mindestens einen Matrixwerkstoff und in diesem Matrixwerkstoff zumindest zum Teil eingefasste Partikel umfasst.

5 Durch die erfindungsgemäß vorgesehene Dämpfungsschicht können die Verschleißeigenschaften der Gasturbinenschaufel verbessert werden. Die Dämpfungsschicht verleiht der Gasturbinenschaufel durch den Partikelverbundwerkstoff verbesserte Verschleißei-
10 genschaften. Der Partikelverbundwerkstoff umfasst eine Matrix, dessen Werkstoff bspw. dem Grundwerkstoff der Gasturbinenschaufel entsprechen kann, sowie in diesen Matrixwerkstoff eingefasste Partikel.

15 Eingefasst bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Partikel in ihrer Position von dem Matrixwerkstoff gehalten und fixiert werden. Sie können völlig vom Matrixwerkstoff umgeben sein, oder mit einem Teil ihrer Oberfläche außerhalb des Matrixwerkstoffs freiliegen.

20 Vorzugsweise sind zumindest einige wenige Partikel nur zum Teil von dem Matrixwerkstoff umgeben und ragen aus dem Matrixwerkstoff heraus, so dass beispielsweise ein heranfliegendes Sandkorn direkt auf den Partikel - und nicht auf den den Partikel umgebenden Matrixwerkstoff - trifft. In diesem bevorzug-
25 ten Fall bilden zumindest einige wenige Partikel die vordersten Anströmungspunkte der Strömungseintrittskante.

Eine solche vorderste Front aus Partikeln bildet sich durch die erfindungsgemäße Schicht im Prinzip automatisch aus, da
30 der Matrixwerkstoff vergleichsweise schnell verschleißt und so die darunterliegenden Partikel freigelegt werden. Somit wird ohne besondere Maßnahmen eine vorteilhafte Eintrittskante ausgebildet.

Ein Zusammenspiel der Partikel und des Matrixwerkstoffs führt zu verbesserten Dämpfungs- und Verschleißeigenschaften. Wenn ein Sandkorn auf den Partikel trifft, wird ein Teil der kinetischen Energie auf den Partikel übertragen. Jedoch „federt“ der Matrixwerkstoff den eingefassten Partikel. Die Matrix verformt sich elastisch und absorbiert einen Teil der kinetischen Energie, die von dem Sandkorn auf den Partikel übertragen wurde. Nachdem das Sandkorn den Kontakt zum Partikel verliert, federt der Partikel durch die elastische Rückbewegung des Matrixwerkstoffs zurück in seine vorherige Position.

Auf diese Weise wird die Verschleiß induzierende kinetische Energie des Sandkorns vorteilhaft durch die Matrix absorbiert und zusätzlich fällt der Verschleiß der Strömungseintrittskante weniger stark aus, da die vom Sandkorn getroffenen Partikel wenig Verschleiß unterliegen.

Durch die beschriebene Federwirkung des Matrixwerkstoffs tritt nicht das Problem wie bei Hartschichten auf, dass das Sandkorn abprallt und wenig kinetische Energie verliert, sondern die verhältnismäßig weiche elastische Matrix kann die kinetische Energie absorbieren und im Volumen dissipieren bzw. die Energie durch innere Reibung umwandeln. Durch die Partikel wird der Matrixwerkstoff vor einem Verschleiß durch harte Verschleißstoffe geschützt, welcher bei einem weichen Matrixwerkstoff verhältnismäßig schnell und stark auftreten würde. Somit können durch die erfindungsgemäße Dämpfungsschicht mit Partikelverbundwerkstoff die vorteilhaften Eigenschaften von weichem Matrixwerkstoff mit vergleichsweise festen Partikeln kombiniert werden.

Zudem kann durch diesen Dämpfungseffekt auch die Flugbahn des Sandkorns vorteilhaft beeinflusst werden. Nach Abprallen an der Eintrittskante kann verhindert werden, dass das Sandkorn - wie es im Stand der Technik der Fall sein kann - auf die Saugseite der benachbarten Gasturbinenschaufel aufschlägt und dort zusätzlichen Verschleiß induziert, der wiederum zu verschlechterten aerodynamischen Bauteileigenschaften führt. Wie später anhand der Figur 1 verdeutlicht wird, kann durch die erfindungsgemäße Dämpfungsschicht somit auch eine vorteilhaftere Flugbahn der heranfliegenden Sandkörner (und anderen heranfliegenden Stoffen) erreicht werden.

Die Dämpfungsschicht weist vorzugsweise eine für das Verschleißverhalten vorteilhafte Dicke in einem Bereich zwischen 0,3 und 10 mm, weiter bevorzugt in einem Bereich zwischen 1 bis 5 mm auf.

Die Partikel in der Dämpfungsschicht verschleissen weniger stark als der Matrixwerkstoff, insbesondere wenn sie härter ausgeführt sind als der Matrixwerkstoff. Demnach ist es bevorzugt, dass die Partikel als Hartstoffpartikel mit einer größeren Härte als der Matrixwerkstoff ausgeführt sind. Dabei müssen nicht alle Partikel eine gleich hohe Härte aufweisen, vorzugsweise ist jedoch zumindest ein Teil der Partikel als Hartstoffpartikel mit einer größeren Härte als der Matrixwerkstoff ausgeführt. Die Partikel umfassen vorzugsweise Karbide, Nitride und/oder Oxyde, da diese aufgrund ihrer hohen Härte für einen solchen Zweck vorteilhaft sind.

Beispielsweise sind Partikel bevorzugt, die Vanadiumkarbid, Titankarbid und/oder Wolframkarbid umfassen.

Für das Dämpfungsverhalten vorteilhafte und bevorzugte Volumenanteile der Partikel an der Dämpfungsschicht liegen in einem Bereich zwischen 8% und 95%. Weiter bevorzugt liegt der Volumenanteil der Partikel an der Dämpfungsschicht in einem Bereich zwischen 20% und 60%. Demnach ist der Volumenanteil der Partikel vorzugsweise höher als der Volumenanteil des Matrixwerkstoffes. Es kann jedoch für manche Anwendungen auch bevorzugt sein, dass der Volumenanteil des Matrixwerkstoffes höher als der Volumenanteil der Partikel ist.

Wie bereits beschrieben, ist der Matrixwerkstoff vorzugsweise artgleich zum Basiswerkstoff der Schaufel, besteht also vorzugsweise aus demselben Material wie der Rest der Schaufel. Es kann jedoch auch für manche Anwendung bevorzugt sein, dass der Matrixwerkstoff artfremde, beispielsweise Kobaltbasis- und/oder Nickelbasiswerkstoffe umfasst. Dabei sind die ggf. unterschiedlichen Wärmeausdehnungen der Werkstoffe zu beachten, so dass im Betrieb auch die gewünschte Schaufelkontur vorliegt.

Vorzugsweise weist die Saugseite der Gasturbinenschaufel zumindest in einem Teilbereich eine Antihafschicht auf. Diese Antihafschicht dient dazu, das Anhaften von Schmutz und anderen Stoffen auf der Saugseite der Gasturbinenschaufel zu verhindern. Die gewünschte aerodynamische vorteilhafte Geometrie kann so besser beibehalten werden, wodurch Verschlechterungen im Wirkungsgrad des Triebwerks und damit Treibstoff eingespart werden kann. Die Antihafschicht ist vorzugsweise eine keramische Schicht und besteht beispielsweise aus Nitriden oder Oxiden. Vorteilhafte Antihafbeschichtungen ergeben sich beispielsweise aus Titannitrid, Siliziumnitrid, Chromnitrid, Titanoxid, Siliziumoxid und Chromoxid. Weiterhin kann die Antihafbeschichtung eine diamantähnliche Kohlenstoffschicht oder

eine modifizierte wasserstoffhaltige amorphe Kohlenstoffschicht umfassen.

Insgesamt sind zwei Erosionsbereiche zu unterscheiden. Ein
5 Erosionsbereich befindet sich im Bereich der Eintrittskante
bzw. der Dämpfungsschicht und ein zweiter auf der Saugseite
der Gasturbinenschaufel. Die Antihafschicht wird in diesem
zweiten Erosionsbereich vorgesehen, vorzugsweise in einem Ab-
stand von 30 % bis 70 % der Sehnenlängen von der Vorderkante
10 entfernt.

Vorzugsweise weist die Antihafbeschichtung eine Dicke in ei-
nem Bereich zwischen 100 nm und 900 nm auf. Sie ist demnach
bevorzugt kleiner als 1 µm und um ein Vielfaches dünner als die
15 Dämpfungsschicht.

Die Partikelverteilung in der Dämpfungsschicht kann gezielt
dazu eingesetzt werden, die durch den Verschleiß verursachte
Geometrieänderung der Strömungseintrittskante zu steuern. Üb-
20 licherweise flacht die Strömungseintrittskante zu einer im We-
sentlichen planaren Stirnfläche ab. Im Wesentlichen planar ist
dabei so zu verstehen, dass die Kante zwar flach bzw. planar
ist, jedoch eine hohe Rauhtiefe aufweist. Eine derart ver-
schlissene Eintrittskante ist hinsichtlich der aerodynamischen
25 Eigenschaften deutlich schlechter als eine runde Eintrittskan-
te.

Da ein Verschleiß der Gasturbinenschaufeln durch die erfin-
dungsgemäße Dämpfungsschicht zwar reduziert, jedoch nicht völ-
30 lig verhindert werden kann, wird der Verlauf des Verschleißes
vorzugsweise so gesteuert, dass er aerodynamisch vorteilhafter
verläuft.

Dadurch, dass die Dämpfungsschicht in ihrem Druckseitenbereich vorzugsweise eine höhere Partikelkonzentration aufweist als in ihrem Saugseitenbereich, verschleißt der Saugseitenbereich etwas mehr als der Druckseitenbereich. Die höhere Partikelkonzentration im Druckseitenbereich der Strömungskante führt zu langsamerem Verschleiß. Somit bildet sich im Betrieb insgesamt keine im Wesentlichen planare Stirnfläche aus, sondern der untere (Druckseiten-)Bereich der Strömungseintrittskante bleibt relativ gut bestehen und der obere (Saugseiten-) Bereich der Strömungseintrittskante wird stärker abgetragen.

Insgesamt wird demnach ein unterschiedlicher Abtrag erreicht, wodurch sich eine vorteilhaftere Verschleißkontur der Strömungseintrittskante ausbildet, als dies bei gleich verteilten (oder gar keinen) Partikeln der Fall wäre. Der Saugseitenbereich der Strömungseintrittskante flacht stärker ab als der Druckseitenbereich der Strömungseintrittskante, wodurch die sich ausbildende Verschleißkontur der aerodynamisch optimierten Neuteilkontur zumindest vergleichsweise ähnlicher ist.

Zur Lösung der Aufgabe wird weiterhin ein Verfahren zur Beschichtung einer Gasturbinenschaufel für ein Flugzeugtriebwerk vorgeschlagen, wobei das Gasturbinenbauteil mit einer wie zuvor beschriebenen Dämpfungsschicht versehen wird. Durch das Verfahren kann ein Gasturbinenbauteil nachträglich oder im Zuge des Neuteilherstellungsprozesses mit der beschriebenen vorteilhaften Dämpfungsschicht ausgestattet und so hinsichtlich des Verschleißverhaltens verbessert werden.

Vorzugsweise wird zur Beschichtung ein Auftragsschweißverfahren eingesetzt. Weiter bevorzugt ist ein Auftragsschweißverfahren unter Lasereinsatz. Auftragsschweißverfahren sind für Gasturbinenschaufeln etabliert und können - soweit entspre-

chend eingerichtet - zur Applikation der Dämpfungsschicht eingesetzt werden.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand bevorzugter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung von zwei erfindungsgemäßen Gasturbinenschaufeln.

In der Figur 1 sind zwei Gasturbinenschaufeln 1 dargestellt. In diesem Ausführungsbeispiel handelt es sich um zwei nebeneinander angeordnete Kompressorschaufeln eines Flugzeugtriebwerks. Nebeneinander bedeutet dabei, dass sie benachbart in derselben Stufe des Kompressors, beispielsweise der zweiten Kompressorstufe, auf demselben Laufschaufelkranz angeordnet sind.

Naturgemäß weisen die Gasturbinenschaufeln 1 jeweils eine Strömungseintrittskante 10 und eine Strömungsaustrittskante 11 auf.

Zwischen diesen beiden Kanten erstrecken sich die Saugseite 8 und die Druckseite 9.

Die Strömungseintrittskante 10 beider Gasturbinenschaufeln 1 ist mit einer Dämpfungsschicht 2 versehen. Diese Dämpfungsschicht 2 umfasst einen Partikelverbundwerkstoff aus Matrixwerkstoff und darin eingefasste Partikel.

Die Dämpfungsschicht 2 bzw. die Strömungseintrittskante 10 kann in einen der Saugseite 8 und einen der Druckseite 9 zugeordneten Bereich unterteilt werden (in der unteren Gasturbi-

nenschaufel 1 durch eine gestrichelte Linie angedeutet). Somit gibt es einen Druckseitenbereich 6 der Dämpfungsschicht 2 sowie einen Saugseitenbereich 7 der Dämpfungsschicht 2.

5 Im Einsatz treffen diverse Fremdkörper auf die Strömungseintrittskante 10 auf. Neben verhältnismäßig weichen Stoffen können dies auch harte Stoffe, beispielsweise Sandkörner 4, sein. Aufgrund der schnellen Fortbewegung von Flugzeugen, der hohen Strömungsgeschwindigkeiten im Triebwerk und der mit mehreren
10 1000 Umdrehungen pro Minute um eine Mittenachse drehenden Kompressorschaukeln treffen die Sandkörner 4 mit hoher Relativgeschwindigkeit auf die Strömungseintrittskante 10 auf.

Die Dämpfungsschicht 2 ist in diesem Ausführungsbeispiel di-
15 cker als die anfliegenden abrasiven Sandkörner 4. Diese bevorzugte Ausgestaltung der Dämpfungsschicht 2 führt zu verbesserten Verschleißeigenschaften.

In der Figur 1 sind zwei Flugbahnen A und B dargestellt. Die
20 Flugbahn A entspricht der Flugbahn eines Sandkorns 4 vor und nach Auftreffen auf eine Strömungseintrittskante 10 ohne erfindungsgemäße Dämpfungsschicht 2. Die Flugbahn B entspricht der Flugbahn eines Sandkorns 4 vor und nach Auftreffen auf eine Strömungseintrittskante 10 mit erfindungsgemäßer Dämpfungsschicht 2.
25

Die Flugbahn des Sandkorns 4 ist zunächst direkt auf die Strömungseintrittskante 10 gerichtet. Das Sandkorn 4 würde im Falle einer harten Beschichtung auf der Strömungseintrittskante
30 10 der oberen Gasturbinenschaufel 1 gemäß Flugbahn A auf die Saugseite 8 der unteren Gasturbinenschaufel 1 auftreffen, wodurch sich hier ein Erosionsbereich 5 ausbildet, der die aero-

dynamischen Eigenschaften der Gasturbinenschaufel 1 verschlechtert.

Im Falle der Flugbahn B trifft das Sandkorn 4 nicht auf die Saugseite 8 der unteren Gasturbinenschaufel 1 auf. Der Grund hierfür liegt in dem Partikelverbundwerkstoff der Dämpfungsschicht 2. Die harten Partikel schützen vor Verschleiß, während die vergleichsweise weiche Matrix dämpfend wirkt. Auf diese Weise wird zwar kinetische Energie absorbiert, jedoch ist dabei der auftretende Verschleiß verringert.

Wie in der Figur 1 dargestellt prallt das Sandkorn 4 nicht auf die Saugseite 8 der unteren Gasturbinenschaufel 1, sondern fliegt zwischen beiden hindurch, um dann beispielsweise auf weitere Gasturbinenschaufeln 1 mit einer Dämpfungsschicht 2 zu treffen. Diese hintereinander angeordneten Gasturbinenschaufeln 1 nehmen die kinetische Energie des Sandkorns 4 somit vergleichsweise materialschonend auf.

Der Druckseitenbereich 6 der Dämpfungsschicht 2 weist vorzugsweise im Vergleich zu dem Saugseitenbereich 7 der Dämpfungsschicht 2 eine erhöhte Konzentration von Partikeln auf. Dies hat zur Folge, dass der Druckseitenbereich 6 weniger stark verschleißt als der Saugseitenbereich 7 der Dämpfungsschicht 2. Auf diese Weise ist die sich im Betrieb ausbildende Verschleißkontur, also die geometrische Gestalt der Strömungseintrittskante, hinsichtlich ihrer aerodynamischen Eigenschaften verbessert. Die Strömungseintrittskante 10 hat weniger eine planare Gestalt, sondern es bildet sich eine Kontur, die zumindest näher an der Neuteilkontur ist als eine üblicherweise auftretende Verschleißkontur.

Darüber hinaus weist die obere Gasturbinenschaufel 1 in diesem Ausführungsbeispiel auf einem Teil ihrer Saugseite 8 eine Antihafschicht 3 auf. Die Antihafschicht 3 verhindert bzw. reduziert die Anzahl von anhaftenden Fremdstoffen, die auch die aerodynamischen Eigenschaften der Gasturbinenschaufel 1 verschlechtern könnten.

Bezugszeichenliste:

	1	Gasturbinenschaufel
	2	Dämpfungsschicht
5	3	Antihafschicht
	4	Sandkorn
	5	Erosionsbereich
	6	Druckseitenbereich (der Dämpfungsschicht)
	7	Saugseitenbereich (der Dämpfungsschicht)
10	8	Saugseite
	9	Druckseite
	10	Strömungseintrittskante
	11	Strömungsaustrittskante

Ansprüche:

1. Gasturbinenschaufel (1) für ein Flugzeugtriebwerk, wobei
5 die Gasturbinenschaufel (1) eine Strömungseintritts- und eine Strömungsaustrittskante (10, 11) und eine dazwischen liegende Saugseite (8) und Druckseite (9) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasturbinenschaufel (1) an der Strömungseintrittskante (10) eine Dämpfungsschicht (2) auf-
10 weist, wobei die Dämpfungsschicht (2) mindestens einen Matrixwerkstoff und in diesem Matrixwerkstoff zumindest zum Teil eingefasste Partikel umfasst.
2. Gasturbinenschaufel (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dämpfungsschicht (2) eine Dicke in einem
15 Bereich zwischen 0,3 mm und 10 mm aufweist.
3. Gasturbinenschaufel (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Partikel zumindest zum Teil als
20 Hartstoffpartikel mit einer größeren Härte als der Matrixwerkstoff ausgeführt sind.
4. Gasturbinenschaufel (1) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Partikel Karbide,
25 Nitride und/oder Oxyde umfassen.
5. Gasturbinenschaufel (1) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Partikel Vanadiumkarbid, Titankarbid und/oder Wolframkarbid umfassen.
30
6. Gasturbinenschaufel (1) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Volumenanteil der

Partikel an der Dämpfungsschicht (2) in einem Bereich zwischen 8% und 95% liegt.

5 7. Gasturbinenschaufel (1) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Volumenanteil der Partikel an der Dämpfungsschicht (2) in einem Bereich zwischen 20% und 60% liegt.

10 8. Gasturbinenschaufel (1) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Matrixwerkstoff Nickelbasis- und/oder Kobaltbasiswerkstoff umfasst.

15 9. Gasturbinenschaufel (1) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Saugseite (8) der Gasturbinenschaufel (1) zumindest in einem Teilbereich eine Antihaftschicht (3) aufweist.

20 10. Gasturbinenschaufel (1) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Antihaftschicht (3) eine Dicke in einem Bereich zwischen 100 nm und 900 nm aufweist.

25 11. Gasturbinenschaufel (1) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dämpfungsschicht (2) in ihrem Druckseitenbereich (7) eine höhere Partikelkonzentration aufweist als in ihrem Saugseitenbereich (6).

30 12. Verfahren zur Beschichtung einer Gasturbinenschaufel (1) für ein Flugzeugtriebwerk, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasturbinenschaufel (1) mit einer Dämpfungsschicht (2) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 versehen wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass zur Beschichtung ein Auftragsschweißverfahren eingesetzt wird.