



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 049 219 A1** 2008.04.30

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 049 219.6**

(22) Anmeldetag: **18.10.2006**

(43) Offenlegungstag: **30.04.2008**

(51) Int Cl.⁸: **B23P 6/00** (2006.01)

F01D 5/12 (2006.01)

B22F 3/105 (2006.01)

(71) Anmelder:

MTU Aero Engines GmbH, 80995 München, DE

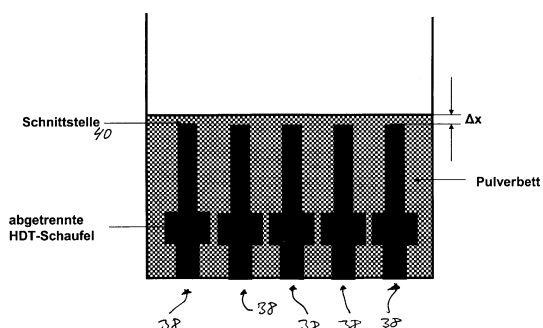
(72) Erfinder:

Richter, Karl-Hermann, Dr., 85229 Markt Indersdorf, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Hochdruckturbinen-Schaufel und Verfahren zur Reparatur von Hochdruckturbinen-Schaufeln**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reparatur von Hochdruckturbinen-Schaufeln eines Flugtriebwerks, mit den Schritten: - Abtrennen eines mit einer Beschädigung versehenen Abschnitts der Hochdruckturbinen-Schaufel (1) und - Erzeugen eines Ersatzabschnitts für den abgetrennten Abschnitt an bzw. auf der Hochdruckturbinen-Schaufel (1) mittels Laserstrahlgenerierens aus dem Pulverbett, sowie eine Hochdruckturbinen-Schaufel (1).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Hochdruckturbinen-Schaufel sowie ein Verfahren zur Reparatur einer Hochdruckturbinen-Schaufel (HDT-Schaufel).

[0002] HDT-Schaufeln verfügen in ihrem Inneren über ein verhältnismäßig kompliziertes Kanalsystem für eine Luftkühlung. Zum Fertigen derartiger mit einem solchen Kanalsystem versehenen HDT-Schaufeln werden diese beispielsweise gegossen, wobei beim Gießen ein aufwendiges Kernsystem zur Ausbildung des Kanalsystems eingebracht wird.

[0003] Nicht zuletzt aufgrund dieses aufwendigen Herstellungsprozesses sind derartige Hochdruckturbinenschaufeln sehr teuer, so dass eine einzige Schaufel Kosten in Höhe eines fünfstelligen Eurobetrages bewirken kann.

[0004] Vor diesem Hintergrund ist es wünschenswert, beschädigte Hochdruckturbinenschaufeln zu reparieren und zwar kostengünstiger als es einer Neuteilfertigung entspräche.

[0005] Ein beispielhaftes Verfahren zur Reparatur einer Turbinenschaufel ist in der US 2005/0091848 A1 offenbart. Auch die DE 10 2005 002 609.5 der Anmelderin offenbart ein Verfahren zur Reparatur von Turbinenschaufeln.

[0006] Die Probleme, die sich bei der Reparatur von Hochdruckturbinen-Schaufeln stellen sind deutlich größer als bei Verdichterschaufeln. Dies ist nicht zuletzt auf das angesprochene aufwendige Kanalsystem innerhalb der Hochdruckturbinen-Schaufeln zurückzuführen, welches Kanalsystem bei Verdichterschaufeln fehlt. Schäden an Hochdruckturbinen-Schaufeln, die unterhalb des Tip-Bereichs auftreten, lassen sich bislang – soweit der Anmelderin bekannt – allenfalls mit äußerst mäßigem Erfolg reparieren, wobei insbesondere Einschränkungen bezüglich der gesamten Risslänge und der Risslage existieren. Beim Fügen eines Ersatzteils, was beispielsweise durch Diffusionsverbinden bzw. Diffusionstößen oder durch Strahlschweißen (LB-Schweißen oder EB-Schweißen) erfolgen kann, besteht das Problem, ein (gießtechnisch hergestelltes) Ersatzteil auf die Ist-Kontur des restlichen Schaufelblatts zu fügen. Diese kann jedoch erheblich von der Soll-Kontur abweichen.

[0007] Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung nun die Aufgabe zugrunde, ein Reparaturverfahren für Hochdruckturbinen-Schaufeln zu schaffen, das betriebssicher ist und eine gute Wiederherstellung bzw. Wiedererzeugung bzw. Aufrechterhaltung eines inneren Kanalsystems ermöglicht.

[0008] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Re-

paratur von Hochdruckturbinen-Schaufeln gemäß Anspruch 1 vorgeschlagen. Eine erfindungsgemäße Hochdruckturbinen-Schaufel ist Gegenstand des Anspruchs 7. Bevorzugte Gestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0009] Gemäß der Erfindung wird nun ein Verfahren zur Reparatur von Hochdruckturbinen-Schaufeln, und zwar insbesondere zur Reparatur von Hochdruckturbinen-Schaufeln eines Flugtriebwerks, vorgeschlagen, bei dem zunächst ein mit einer Beschädigung versehener Abschnitt der Hochdruckturbinenschaufel abgetrennt wird und anschließend ein Ersatzabschnitt für den abgetrennten Abschnitt an bzw. auf der Hochdruckturbinen-Schaufel mittels Laserstrahlgenerieren aus dem Pulverbett erzeugt wird. Im Folgenden sollen nun Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Figuren näher erläutert werden, ohne dass die Erfindung hierdurch durch die Ausführungsbeispiele eingeschränkt sein soll. Dabei zeigt:

[0010] [Fig. 1](#) einen schematischen Ablauf eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0011] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung einer beschädigten HDT-Schaufel, die im Rahmen eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens verwendet werden kann;

[0012] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung eines Ausschnitts (mit Schnittebene) einer abgetrennten HDT-Schaufel aus [Fig. 2](#); und

[0013] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung der Reparatur von HDT-Schaufeln durch SLM.

[0014] [Fig. 1](#) zeigt die Schritte eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens in schematischer Darstellung.

[0015] Bei diesem Verfahren handelt es sich um ein Verfahren zur Reparatur von Hochdruckturbinen-Schaufeln von Gasturbinen durch – insbesondere – Laserstrahlgenerieren aus dem Pulverbett.

[0016] Im Schritt **10** wird ein beschädigter Bereich der HDT-Schaufel abgetrennt. Dieses erfolgt hier durch eine standardisierte, ebene Schnittebene. Anzumerken ist, dass die Schnittebene beispielsweise gerade – wie es in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigt ist – oder schräg – was in den fig. nicht gezeigt ist – verlaufen kann. Wie bereits oben angesprochen, ist eine beispielhafte beschädigte HDT-Schaufel in schematischer Darstellung in [Fig. 2](#) gezeigt. Bei dieser beschädigten HDT-Schaufel gemäß [Fig. 2](#) sind Risse im Schaufelblatt gegeben. Die Risse treten typischerweise bzw. beispielsweise unterhalb der Schaufelspitze auf. Dort ist auch schematisch eine Vielzahl von Kühlöffnungen **30** angedeutet, die in die Oberfläche

der HDT-Schaukel eingebracht sind und sich in dessen Inneres erstrecken. Die HDT-Schaukel weist einen Schaufelfuß **32** sowie eine Plattform **34** auf. Ferner weist die HDT-Schaukel **1** ein Schaufelblatt auf, in das die angesprochenen Kühlöffnungen **30** eingebracht sind. Die bzw. eine Beschädigung ist in der Gestaltung gemäß [Fig. 2](#) nicht gesondert hervorgehoben.

[0017] In der Darstellung gemäß [Fig. 3](#) ist ein Ausschnitt der HDT-Schaukel gemäß [Fig. 2](#) gezeigt, wobei ein beschädigter Abschnitt bereits abgetrennt ist bzw. wobei in [Fig. 3](#) in einem Ausschnitt das restliche Schaufelblatt nach dem Abtrennen eines standardisierten Bereiches gezeigt ist. Damit ist eine Kanalstruktur bzw. ein Kanalsystem **36** erkennbar, das im Inneren der HDT-Schaukel **1** vorgesehen ist, und in welches die Kühlöffnungen münden.

[0018] Die angesprochenen standardisierten Schnittebenen können bereits vorbestimmt sein, und zwar für eine Vielzahl von individuellen HDT-Schaukeln. Eine geeignete Lage dieser standardisierten Schnittebene kann empirisch ermittelt sein und/oder mittels theoretischer Berechnungen bzw. theoretisch durch Berechnung der auftretenden Spannungen ermittelt sein. Die standardisierte Schnittebene kann beispielsweise anhand von Erfahrungswerten und/oder von statistischen Erfassungen oder dergleichen ermittelt sein und für verschiedene HDT-Schaukeln verwendet werden, und zwar vorzugsweise im Wesentlichen unabhängig vom konkreten Schadensbild. In zweckmäßiger Ausgestaltung wird die Schnittebene derart ermittelt bzw. festgelegt, dass sie im Bereich geringer Spannungen liegt bzw. in einem Bereich, in dem im Betrieb der Schaukel in einem Flugtriebwerk geringe Spannungen auftreten, wobei vorzugsweise bei der Ermittlung der Spannungen Eigenspannungen und/oder dynamische Spannungen und/oder Restspannungen berücksichtigt werden.

[0019] Im Schritt **12** wird die Ist-Kontur der zu reparierenden Schaukel **1** in der Schnittebene ermittelt bzw. gemessen. Wie angesprochen ist die Schnittebene in [Fig. 3](#) oben gezeigt.

[0020] Im Schritt **14** wird die abgetrennte HDT-Schaukel, also der Schaufelrest der stehen bleibt, wenn der beschädigte Abschnitt der HDT-Schaukel entfernt wurde, in einer Anlage bzw. Maschine zum – insbesondere direkten – Laserstrahlgenerieren aus dem Pulverbett eingebaut. In vorteilhafter Ausgestaltung wird dabei eine Maschine bzw. Anlage eingesetzt, in der gleichzeitig eine Vielzahl von Schaukeln bearbeitet werden können, wie beispielsweise ca. 50 Schaukeln).

[0021] Im Schritt **16** wird ein Ersatzteil bzw. ein Ersatzabschnitt auf der abgetrennten HDT-Schaukel durch Laserstrahlgenerieren aus dem Pulverbett auf-

gebaut. Es wird hier also ein Ersatzabschnitt für den abgetrennten Abschnitt an bzw. auf der Hochdruckturbinen-Schaukel mittels Laserstrahlgenerieren aus dem Pulverbett erzeugt. Das Laserstrahlgenerieren aus dem Pulverbett kann auch als "direktes Laserformen" oder als "Selective Laser Melting" (SLM) bezeichnet werden. Das Laserstrahlgenerieren aus dem Pulverbett kann zum Rapid Manufacturing verwendet werden. Für das Laserstrahlgenerieren aus dem Pulverbett werden die Bauteile bzw. der Ersatzabschnitt an der HDT-Schaukel schichtweise durch "Belichtung" mit einem Laser auf einer – vorzugsweise ebenen – Plattform aufgebaut. Danach werden sie bzw. es von der Plattform getrennt und es kann – wie im Folgenden noch angesprochen werden wird – ein "Finishing" des generierten Ersatzteils bzw. Ersatzabschnitts durchgeführt werden. Ein Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass auch die inneren Bauteilkonturen hergestellt werden können und dass der Prozess vollautomatisiert ablaufen kann.

[0022] Zunächst wird die abgetrennte HDT-Schaukel im Bearbeitungsraum positioniert und anschließend die Schnittebene messtechnisch (durch Bildverarbeitung) erfasst. Darauf abgestimmt wird der Verfahrweg des Laserstrahls zur Belichtung der zu generierenden Schichten des Ersatzteils durch Interpolation angepasst. In [Fig. 4](#) ist eine Reihe von fünf abgetrennten HDT-Schaukeln nach Auffüllung des Pulverbetts und vor der ersten Belichtung gezeigt, bzw. eine schematische Darstellung der Reparatur von HPT-Schaukelblättern durch SLM. In den Bereichen **38** sind dabei abgetrennte HDT-Schaukeln gezeigt. Der Bereich **40** zeigt eine Schnittstelle. Die Angabe " Δx " deutet die einer Schicht entsprechenden "Pulverhöhe" an. Es ist insbesondere vorgesehen, dass mit geringerer "Pulverhöhe" die Korngröße kleiner und damit die Genauigkeit größer werden kann.

[0023] Zur Erhöhung der Effizienz können bis zu 100 oder mehr zu reparierende HDT-Schaukeln im Bearbeitungsraum der Anlage positioniert werden. Schließlich wird das Pulverbett derart aufgefüllt, dass die Schnittebenen der zu reparierenden HDT-Schaukeln um den Wert Δx unterhalb der Oberfläche des Pulverbetts liegen (vergleiche [Fig. 4](#)). Dem Wert Δx entspricht die Dicke einer belichteten Schicht. Je kleiner Δx ist, desto höher ist die Genauigkeit des generierten Ersatzteils bzw. Ersatzabschnitts. Limitierend für den Wert Δx ist vor allem die Kornverteilung des Pulvers. Weiterhin verhalten sich Δx und die Bearbeitungszeit zueinander umgekehrt proportional. Bereits heute lässt sich eine Schichtdicke von beispielsweise 30 μm realisieren. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass die Schichtdicke Δx kleiner als 200 μm , bevorzugt kleiner als 100 μm , bevorzugt 50 μm oder kleiner gleich 50 μm , bevorzugt kleiner gleich 40 μm , bevorzugt kleiner gleich 30 μm ist, bevorzugt kleiner gleich 20 μm ist, bevorzugt kleiner gleich 10 μm ist.

[0024] Der Aufbau des Ersatzteils bzw. des Ersatzabschnitts umfasst im Ausführungsbeispiel auch die Herstellung von Kühlluftbohrungen, die ansonsten konventionell durch Laserbohren, EDM oder EC-Bohren hergestellt werden müssen.

[0025] Nach dem SLM-Prozeß bzw. dem Schritt **16** erfolgt ein Finishing der Außenkonturen bzw. der Außenkontur des generierten Ersatzteils bzw. Ersatzabschnitts im Schritt **18**.

[0026] Anschließend können im Schritt **20** weitere – gegebenenfalls notwendige – Arbeitsschritte erfolgen, wie z. B. Alitieren oder Laserbohren oder dergleichen.

[0027] Wie insbesondere die anhand der Fig. erläuterten Ausführungsbeispiele zeigen, legt die Erfindung die Basis für eine Vielzahl von Vorteilen, von denen einige, die alternativ oder in beliebiger Kombination kumulativ gegeben sein können, im Folgenden erwähnt werden sollten: so lässt sich das Ersatzteil automatisiert anpassen bzw. herstellen; ferner wird ein Reparaturverfahren für hochwertige bzw. kostenintensive Bauteile geschaffen. Überdies wird die Reparierbarkeit von beschädigten Blades bzw. Schaufelblättern signifikant erhöht; Weiter wird erstmalig ein Airfoil Replacement von HDT-Blades bzw. -Schaufeln bzw. – Schaufelblättern bereitgestellt, da ein solches bislang auf dem Weltmarkt und im Stand der Technik noch nicht angeboten wird, und auch im Übrigen noch nicht offenbart ist.

Bezugszeichenliste

1	HDT-Schaukel
10	Schritt
12	Schritt
14	Schritt
16	Schritt
18	Schritt
20	Schritt
30	Kühlöffnung
32	Schaukelfuß
34	Plattform
36	Kanalsystem
38	Bereich
40	Schnittstelle

Patentansprüche

1. Verfahren zur Reparatur von Hochdruckturbinen-Schaukeln, insbesondere zur Reparatur von Hochdruckturbinen-Schaukeln eines Flugtriebwerks, mit den Schritten:

- Abtrennen eines mit einer Beschädigung versehenen Abschnitts der Hochdruckturbinen-Schaukel (**1**); und
- Erzeugen eines Ersatzabschnitts für den abgetrennten Abschnitt an bzw. auf der Hochdruckturbi-

nen-Schaukel (**1**) mittels Laserstrahlgenerieren aus dem Pulverbett.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für das Abtrennen des mit einer Beschädigung versehenen Abschnitts der Hochdruckturbinen-Schaukel wenigstens eine standardisierte Schnittebene festgelegt ist, und das Abtrennen entsprechend dieser standardisierten Schnittebene erfolgt.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Erzeugen des Ersatzabschnitts und/oder nach dem Abtrennen des mit der Beschädigung versehenen Abschnitts der Hochdruckturbinen-Schaukel die Ist-Kontur des zu reparierenden Bauteils gemessen wird, und zwar insbesondere in der Schnittebene.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Hochdruckturbinen-Schaukel vor dem Erzeugen eines Ersatzabschnitts – und zwar insbesondere nach dem Abtrennen des mit der Beschädigung versehenen Abschnitts – in eine Anlage zum direkten Laserstrahlgenerieren aus dem Pulverbett eingebaut wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Erzeugen des Ersatzabschnitts mittels Laserstrahlgenerieren aus dem Pulverbett ein Finishing der Außenkontur dieses Ersatzabschnitts erfolgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Erzeugen des Ersatzabschnitts mittels Laserstrahlgenerieren aus dem Pulverbett und/oder nach dem Finishing der Außenkontur dieses Ersatzabschnitts ein Alitieren und/oder ein Laserbohren der Hochdruckturbinen-Schaukel erfolgt, und zwar insbesondere im Bereich des Ersatzabschnitts.

7. Hochdruckturbinen-Schaukel, insbesondere Hochdruckturbinen-Schaukeln eines Flugtriebwerks, dadurch gekennzeichnet, dass die Hochdruckturbinen-Schaukel (**1**) einen mittels Laserstrahlgenerieren aus dem Pulverbett erzeugten Ersatzabschnitt aufweist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

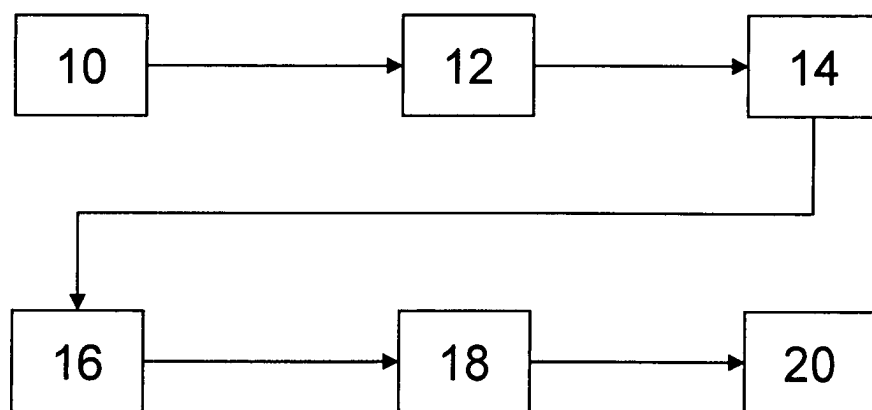


Fig. 2

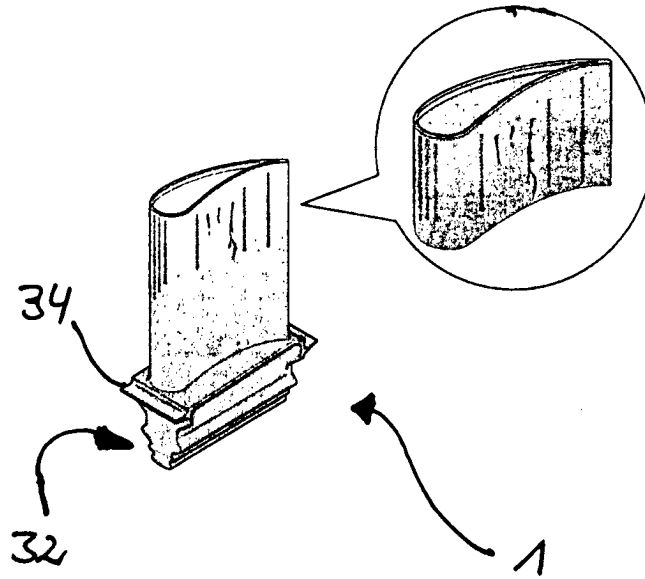


Fig. 3

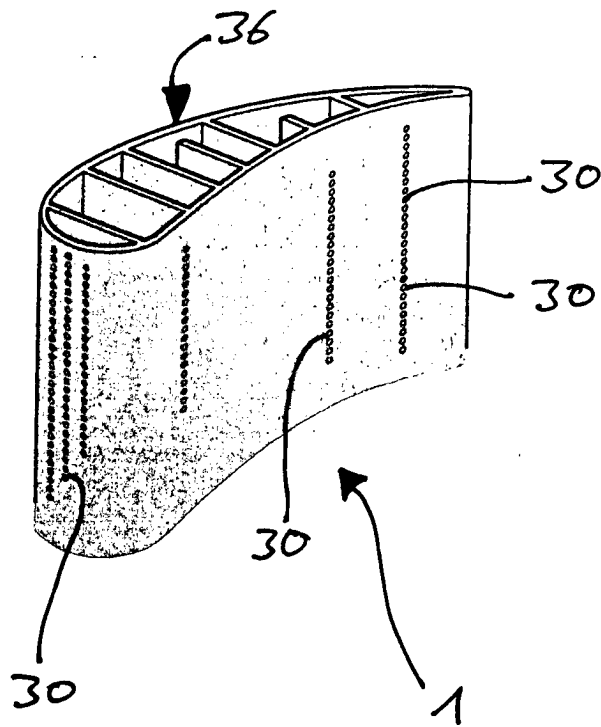


Fig. 4

