



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 204 493.7**

(22) Anmeldetag: **23.03.2018**

(43) Offenlegungstag: **26.09.2019**

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

**F01D 5/18 (2006.01)**

**B22F 3/105 (2006.01)**

**B22C 9/04 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Lammers, Heiko, 10789 Berlin, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 10 2006 049 219 A1**

**DE 11 2014 003 523 T5**

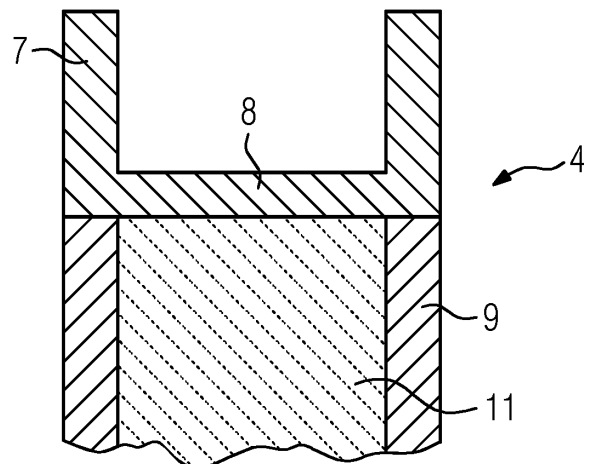
**EP 2 366 476 B1**

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Reparatur von Turbinenschaufeln**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Reparieren einer Turbinenschaufel bereitgestellt, die im Bereich der Anstreifkante der Schaufelblattspitze einschließlich des Kronenbodens beschädigt ist, wobei der beschädigte Bereich der Schaufelblattspitze einschließlich des Kronenbodens abgetragen wird, ein durch Kronenboden und Umfangswandung der Schaufel gebildeter Hohlraum mit einer keramischen Masse verfüllt wird und nach Aushärten der Keramik der Kronenboden und die Anstreifkante mittels eines additiven Verfahrens neu auf die restliche Schaufelblattspitze aufgebracht werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Reparieren einer Turbinenschaufel einer Gasturbine, die im Bereich der Schaufelblattspitze einschließlich des Kronenbodens beschädigt ist.

**[0002]** In Gasturbinenanlagen wird thermische Energie und/oder Strömungsenergie eines durch Verbrennung eines Brennstoffs, z.B. eines Gases, erzeugten Heißgases in kinetische Energie (Rotationsenergie) einer Welle (Turbinenläufer) umgewandelt. Dazu ist in der Gasturbine ein Strömungskanal ausgebildet, in dessen axialer Richtung die Welle gelagert ist. Die Welle weist eine Anzahl von Radscheiben auf, an deren radial äußeren Stirnflächen eine Anzahl von Laufschaufeln in Form eines Schaufelkranzes angeordnet ist. Die Laufschaufeln sind mittels ihrer Schaufelfüße in Nuten der Stirnflächen eingesetzt. In radialer Richtung von einem Schaufelfuß einer Schaufel erstrecken sich eine Schaufelplattform und ein Schaufelblatt.

**[0003]** Die Schaufelblätter ragen in den Strömungskanal hinein. Wird der Strömungskanal von einem Heißgas durchströmt, werden die Laufschaufeln mit einer Kraft beaufschlagt, die in ein auf die Welle wirkendes Drehmoment umgewandelt wird, das den Turbinenläufer rotierend antreibt, wobei die Rotationsenergie z.B. zum Betrieb eines Generators genutzt werden kann.

**[0004]** Herkömmliche Schaufelblätter von Laufschaufeln umfassen jeweils einen hohlen Schaufelblattkörper, der im Bereich der Schaufelblattspitze durch einen sogenannten Kronenboden verschlossen ist. An der Außenseite der Schaufelblattspitze ist eine Anstreifkante ausgebildet. Zwischen der Anstreifkante und einer den Strömungskanal der Gasturbine begrenzenden Wandung verbleibt ein Radialspalt vorgegebener Breite, um einerseits ein reibungsarmes Rotieren des Turbinenläufers zu ermöglichen, andererseits aber nur einen geringen Teil des Heißgases ungenutzt durch den Radialspalt durchströmen zu lassen.

**[0005]** Moderne Gasturbinen sind Gegenstand stetiger Verbesserung, um ihre Effizienz zu steigern. Dies führt allerdings unter anderem zu immer höheren Temperaturen im Heißgaspfad. Die metallischen Materialien für Laufschaufeln, insbesondere in den ersten Stufen, wurden in den letzten Jahren hinsichtlich ihrer Festigkeit bei hohen Temperaturen (Kriechbelastung, thermomechanische Ermüdung) verbessert. Die hohen Temperaturen verursachen für Turbinenschaufelblattspitzen jedoch auch ein gesteigertes Befundbild in der Reparatur. Es kommt nicht nur zum Verlust der Anstreifkante, sondern auch zum totalen oder teilweisen Abbrand des Kronenbodens. Damit

muss der gesamte obere Teil einer entsprechend beschädigten Schaufel neu aufgebaut werden.

**[0006]** Im Stand der Technik werden Schaufelblattspitzen inklusive des Kronenbodens durch teure und zeitaufwändige Verfahren ersetzt. Zum Reparieren bzw. Ersetzen von Schaufelblattspitzen sind zwar additive Verfahren bekannt (DE 10 2006 049 219 A1, EP 2 366 476 B1), jedoch ist eine Reparatur des Kronenbodens mittels additiver Verfahren nicht möglich. Der Kronenboden kann nur als vorgefertigtes Teil durch ein manuelles Hot-Box-Schweißen in die Schaufelblattspitze eingefügt werden. Dieses Verfahren ist jedoch kostenaufwändig, nicht reproduzierbar, rissanfällig und bedingt einen hohen Aufwand an Nacharbeit, da zum Erreichen der Endkontur viel überflüssiges Material abgefräst werden muss. Es besteht die Aufgabe, den Stand der Technik zu verbessern.

**[0007]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Neben- und Unteransprüchen, den Figuren und den Ausführungsbeispielen. Besagte Ausführungsformen der Erfindung sind in vorteilhafter Weise miteinander kombinierbar.

**[0008]** Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Reparieren einer Turbinenschaufel mit einer Schaufelblattspitze, die im Bereich der Anstreifkante einschließlich des Kronenbodens beschädigt ist, mit den Schritten:

- Bereitstellen der Schaufel,
- Entfernen der Schaufelblattspitze im Bereich der Anstreifkante bis einschließlich des Bereichs des Kronenbodens,
- Verfüllen eines Hohlraums im Körper des Schaufelblattes, der durch die Umfangswandung der Schaufel und den Kronenboden gebildet wird, mit einem keramischen Material, wobei das keramische Material bündig mit der durch das Entfernen der Schaufelblattspitze gebildeten Bauteiloberkante abschließt,
- Aushärten des keramischen Materials,
- Erzeugen einer neuen Schaufelblattspitze mit Anstreifkante und einschließlich eines neuen Kronenbodens durch ein additives Verfahren.
- Entfernen des keramischen Materials.

**[0009]** Durch das Verfüllen des Hohlraums bis zu dem Bereich, in dem die zum Schaufelfuß gerichtete Fläche des Kronenbodens hergestellt werden soll, entsteht nach dem Verfestigen des keramischen Materials eine gerade Oberfläche, auf der sich pulverförmiges Material durch einen energiereichen Strahl

verschweißen lässt. Auf diese Weise wird vorteilhaft ermöglicht, dass sich der Kronenboden durch ein additives Verfahren herstellen lässt. Das Verfahren ist reproduzierbar, da additive Verfahren computergesteuert werden, die Schaufelblattspitze ist weniger rissanfällig und erfordert keine oder wenig Nacharbeit, und dementsprechend ist das erfindungsgemäße Verfahren gegenüber herkömmlichen Verfahren zeit- und kostengünstiger.

**[0010]** Vorzugsweise wird in dem Verfahren die Schaufel in einer Vorrichtung zum Ausführen eines additiven Verfahrens angeordnet, die für das Ausführen des additiven Verfahrens ausgebildet ist. Eine entsprechende Vorrichtung umfasst eine Bauplattform und/oder eine Einrichtung zum Einspannen mindestens einer Schaufel, eine Einrichtung zum Zuführen von pulverförmigen Material, aus dem die neue Schaufelblattspitze hergestellt werden soll, sowie eine Quelle energiereicher Strahlung.

**[0011]** Vorzugsweise umfasst in dem erfindungsgemäßen Verfahren das additive Verfahren die Schritte:

- Bereitstellen der Schaufel auf einer Bauplattform in einer Vorrichtung zum Ausführen eines additiven Verfahrens,
- Aufbringen und Verteilen eines pulverförmigen Materials auf der durch Bauteiloberkante und Keramik gebildeten Oberfläche,
- Lokales Verschmelzen des pulverförmigen Materials durch Wirkung eines energiereichen Strahls,
- Absenken der Bauplattform.

**[0012]** Die Schritte des Aufbringens und Verschmelzens des pulverförmigen Materials sowie des Absenkens der Bauplattform werden dabei in einer Anzahl wiederholt, wie zum Fertigstellen des Spitze des Schaufelblattes notwendig sind. Das pulverförmige Material ist artgleich oder artfremd mit dem Material, aus dem die ursprüngliche Schaufelblattspitze der zur reparierenden Schaufel bestand.

**[0013]** Vorzugsweise werden mehrere Schaufeln synchron in einer Vorrichtung repariert. Damit können vorteilhaft zeitsparend Schaufelblattspitzen einer Anzahl von beschädigten Schaufelblättern repariert werden.

**[0014]** Vorzugsweise wird das keramische Material nach Fertigstellung der Turbinenschaufel durch Behandlung mit einer Säure oder einer Lauge herausgelöst. Dazu ist es erforderlich, dass eine säure- bzw. basenlösliche Keramik verwendet wird.

**[0015]** Das additive Verfahren umfasst Laserauftragsschweißen, selektives Laserschmelzen und selektives Elektronenstrahlschmelzen. Vorzugsweise

wird als additives Verfahren das selektive Laserschmelzen durchgeführt.

**[0016]** Vorzugweise wird in dem Verfahren eine Laufschaufel repariert.

**[0017]** Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel, die gemäß einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens repariert worden ist.

**[0018]** Die Erfindung wird anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen

**Fig. 1** eine Ansicht einer herkömmlichen Laufschaufel.

**Fig. 2** ein Fließdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**Fig. 3** ein Fließdiagramm von Teilschritten des Verfahrens gemäß **Fig. 2**.

**Fig. 4** eine schematische Darstellung der Schaufelblattspitze der Laufschaufel gemäß **Fig. 1**.

**Fig. 5** eine schematische Darstellung der Schaufelblattspitze gemäß **Fig. 4** mit Beschädigungen.

**Fig. 6** eine schematische Darstellung des Turbinenschaufelblattes gemäß **Fig. 5** mit einschließlich des Kronenbodens abgetragener Spitze.

**Fig. 7** eine schematische Darstellung des Turbinenschaufelblattes gemäß **Fig. 6** mit verfülltem Hohlraum.

**Fig. 8** eine schematische Darstellung des Turbinenschaufelblattes gemäß **Fig. 7** mit neu hergestellter Spitze mit Kronenboden.

**[0019]** In **Fig. 1** ist eine Laufschaufel **1** für eine Gasturbine dargestellt. Die Laufschaufel **1** umfasst gemäß der Darstellung ein sich in radialer Richtung erstreckendes Schaufelblatt **2** mit einem Schaufelblattgrundkörper **3** und einer Schaufelblattspitze **4**. Weiterhin umfasst die Laufschaufel **1** eine Schaufelplattform **5** und einen Schaufelfuß **6** in tannenbaumförmiger Ausbildung.

**[0020]** An dem in radialer Richtung den Abschluss des Schaufelblattes **2** und damit der Schaufelblattspitze **4** bildenden Ende weist die Schaufelblattspitze **4** eine Anstreifkante **7** auf. Die Anstreifkante **7** erstreckt sich entlang der Umfangswandung und fluchtet außenseitig mit dieser.

**[0021]** In **Fig. 2** ist ein Fließdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. In **Fig. 3** ist ein Fließdiagramm mit Schritten zum selektiven Laserschmelzen dargestellt, das im Rahmen des Verfahrens gemäß **Fig. 2** durchgeführt

wird. Im Folgenden werden die Schritte des Verfahrens in Verbindung mit den **Fig. 4 - Fig. 8** erläutert.

**[0022]** In den **Fig. 4 - Fig. 8** ist die Schaufelblattspitze **4** schematisch dargestellt, um das Verfahren gemäß der Erfindung zu verdeutlichen. In **Fig. 4** ist dazu eine Schaufelblattspitze **4** ohne Beschädigungen dargestellt, wie sie in der Laufschaufel **1** vorhanden ist. Die Schaufelblattspitze **4** umfasst die Anstreifkante **7**, einen Kronenboden **8** und eine Umfangswandung **9**. Durch die Außenwandung **9** und den Kronenboden **8** wird ein Hohlraum **10** gebildet.

**[0023]** In **Fig. 5** ist die Schaufelblattspitze **4** gemäß **Fig. 2** dargestellt, wobei sie Beschädigungen aufweist. Die Anstreifkante **7** ist im Wesentlichen nicht mehr vorhanden. Der Kronenboden **8** ist teilweise beschädigt. Die Schaufelblattspitze **4** muss repariert bzw. erneuert werden, um eine effiziente Funktion der Schaufel zu gewährleisten. In Schritt **S1** des Verfahrens wird die Laufschaufel **1** zum Reparieren bereitgestellt. Dazu wird sie von der entsprechenden Turbine bzw. dem entsprechenden Turbinenläufer entfernt. Dem Fachmann ist dabei geläufig, wie eine entsprechende Schaufelblattspitze zumindest teilweise, d.h. unterhalb des beschädigten Kronenbodens **8**, abgetragen wird.

**[0024]** In **Fig. 6** wurde der obere Teil der Schaufelblattspitze **4** in einem zweiten Schritt **S2** des Verfahrens entfernt. Die Schaufelblattspitze **4** wurde damit bis einschließlich des Kronenbodens **8** abgetrennt. Es wird eine ebene Schnittfläche erzeugt. Das Abtrennen erfolgt durch ein standardisiertes Verfahren in einer entsprechenden Einrichtung.

**[0025]** In einem dritten Schritt **S3** wird der Hohlraum **10** mit einem keramischen Material verfüllt, wobei das keramische Material bündig mit der Bauteiloberkante abschließt. In **Fig. 7** ist dargestellt, dass der Hohlraum **10** mit einer keramischen Masse **11** verfüllt würde, und zwar bis in eine Höhe, die der Unterseite des zu herzustellenden Kronenbodens **8** entspricht. Die eingefüllte Keramik **11** und die Bauteiloberkante des Schaufelblattes **3** schließen dabei bündig miteinander ab. Das Keramikmaterial **11** umfasst z.B. Aluminiumoxid oder Siliziumdioxid, wobei es auch konkret aus diesen Materialien bestehen kann. In einem vierten Schritt **S4** härtet das keramische Material **11** aus. Das keramische Material **11** ist so temperaturstabil, dass nach seinem Aushärten pulverförmiges metallisches Material, das auf das keramische Material **11** aufgetragen wurde, mit einem energiereichen Strahl verschmolzen werden kann, ohne dass es Schaden nimmt. Als energiereicher Strahl wird ein Laserstrahl verwendet. Alternativ kann auch ein Elektronenstrahl verwendet werden.

**[0026]** Das Auftragen eines pulverförmigen Materials, das artgleich oder artfremd dem Material der

ursprünglichen Schaufelblattspitze **4** sein kann, und das selektive Verschmelzen durch Wirkung eines Laserstrahls entspricht einem fünften Schritt **S5**. Das in Schritt **S5** umfasste Erzeugen einer neuen Schaufelblattspitze **4** einschließlich eines neuen Kronenbodens **8** durch ein additives Verfahren wird in dem Fließdiagramm von **Fig. 3** in Unterschriften **S51 - S54** dargestellt.

**[0027]** In Schritt **S51** wird die zu reparierende Schaufel **1** auf einer Bauplattform einer Vorrichtung zum Ausführen eines additiven Verfahrens bereitgestellt. In der Vorrichtung wird eine Stickstoff- oder Edelgasatmosphäre, z.B. aus Argon, bereitgestellt. In Schritt **S52** wird das pulverförmige Material auf der Oberfläche, die durch Bauteiloberkante und Keramik gebildet wird, aufgebracht und auf der Oberfläche gleichmäßig verteilt. In Schritt **S53** wird das pulverförmige Material durch Wirkung eines Laserstrahls verschmolzen. Der Laserstrahl wird computergesteuert, und dabei entsprechend eines Musters geführt, das den herzustellenden Strukturen entspricht. In Schritt **S54** wird die Bauplattform abgesenkt.

**[0028]** Die Schritte **S52 - S54** werden in einer Anzahl wiederholt werden, wie zum Fertigstellen der Schaufelblattspitze **4** notwendig sind.

**[0029]** In **Fig. 8** ist die Schaufelblattspitze **4** mit erneuertem Kronenboden **8** und erneuerten Anstreifkante **7** dargestellt. In einem sechsten Schritt **S6** des Verfahrens gemäß **Fig. 2** wird das Keramikmaterial **11** von der reparierten Schaufel **1** entfernt. Dazu wird das Keramikmaterial **11** mittels einer Säure oder einer Lauge vom metallischen Material der Schaufel **1** abgelöst. Dazu kann die Säure oder Lauge auf Temperaturen im Bereich von 50 - 80°C erwärmt werden.

**[0030]** Nach dem Entfernen des Keramikmaterials **11** entspricht die Schaufelblattspitze **4** der Laufschaufel **1** dem Zustand von **Fig. 4**. Die Laufschaufel **1** ist wieder einsatzbereit.

**[0031]** Alternativ zum beschriebenen selektiven Laserschmelzen kann die Schaufelblattspitze **4** auch durch selektives Elektronenstrahlschmelzen oder Laserauftragsschweißen erneuert werden. Dem Fachmann ist dabei bekannt, welche Vorrichtungen er dazu bereitstellen und welche Verfahrensschritte er durchführen muss.

**[0032]** Für einen Fachmann naheliegende Abwandlungen und Änderungen der Erfindung fallen unter den Schutzzumfang der Patentansprüche.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102006049219 A1 [0006]
- EP 2366476 B1 [0006]

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Reparieren einer Turbinenschaufel (1) mit einer Schaufelblattspitze (4), die im Bereich der Anstreifkante (7) einschließlich des Kronenbodens (4) beschädigt ist, mit den Schritten:

- Bereitstellen der Schaufel (1),
- Entfernen der Schaufelblattspitze (4) im Bereich der Anstreifkante (7) bis einschließlich des Bereichs des Kronenbodens (4),
- Verfüllen eines Hohlraums (10) im Körper des Schaufelblattes (2), der durch die Umfangswandung der Schaufel (9) und den Kronenboden (8) gebildet wird, mit einem keramischen Material (11), wobei das keramische Material (11) bündig mit der durch das Entfernen der Schaufelblattspitze (4) gebildeten Bauteiloberkante abschließt,
- Aushärten des keramischen Materials (11),
- Erzeugen einer neuen Schaufelblattspitze (4) mit Anstreifkante (7) und einschließlich eines neuen Kronenbodens (8) durch ein additives Verfahren,
- Entfernen des keramischen Materials (11).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Schaufel (1) in einer für das additive Verfahren in einer Vorrichtung abgeordnet wird, die zum Ausführen des additiven Verfahrens ausgebildet ist.

3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das additive Verfahren umfasst:

- Bereitstellen der Schaufel (1) auf einer Bauplattform einer Vorrichtung zum Ausführen eines additiven Verfahrens,
- Aufbringen eines pulverförmigen Materials auf der durch Bauteiloberkante und Keramik (11) gebildeten Oberfläche,
- Verschmelzen des pulverförmigen Materials durch Wirkung eines energiereichen Strahls,
- Absenken der Bauplattform, wobei die Schritte des Aufbringens und Verschmelzens des pulverförmigen Materials sowie des Absenkens der Bauplattform in einer Anzahl wiederholt werden, wie zum Fertigstellen des Spitze des Schaufelblattes (4) notwendig sind.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei mehrere Schaufeln (1) parallel in einer Vorrichtung repariert werden.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das keramische Material (11) nach Fertigstellung der Turbinenschaufel (1) durch Behandlung mit einer Säure oder Lauge herausgelöst wird.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei als additive Methode ein selektives Laserschmelzen durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei als Turbinenschaufel (1) eine Laufschaufel (1) repariert wird.

8. Turbinenschaufel (1), die durch ein Verfahren gemäß einem der vorherigen Ansprüche repariert worden ist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

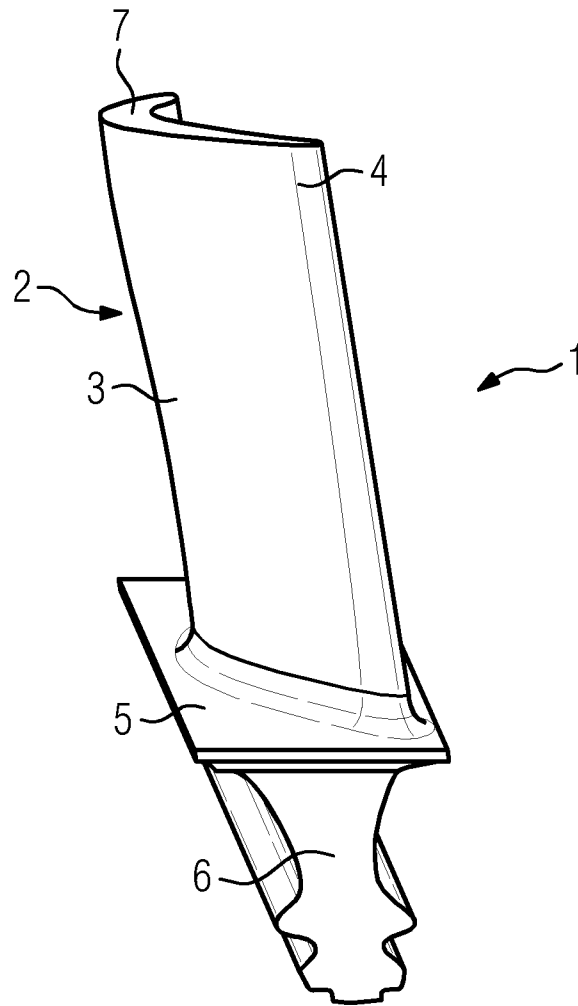


FIG 2

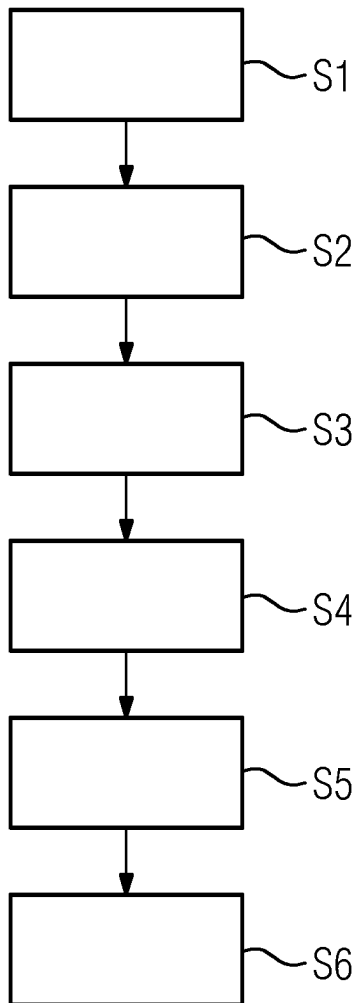


FIG 3

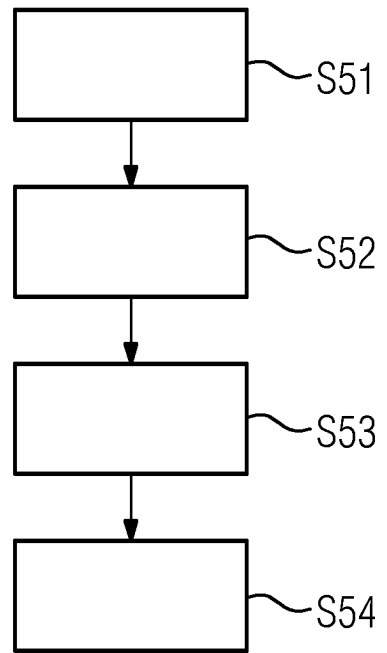




FIG 4

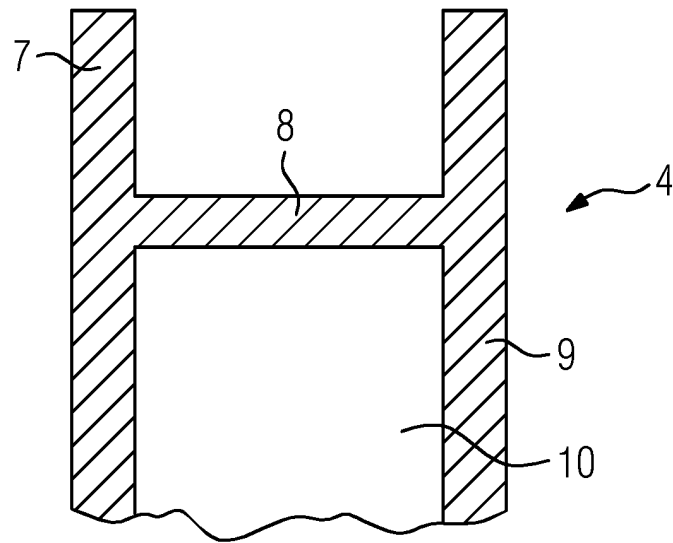


FIG 5

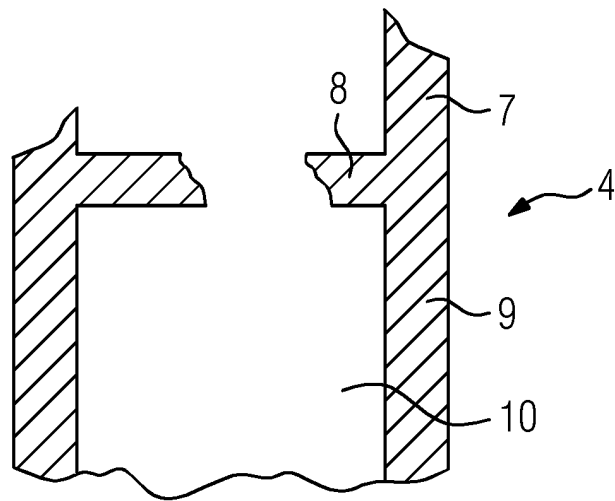


FIG 6

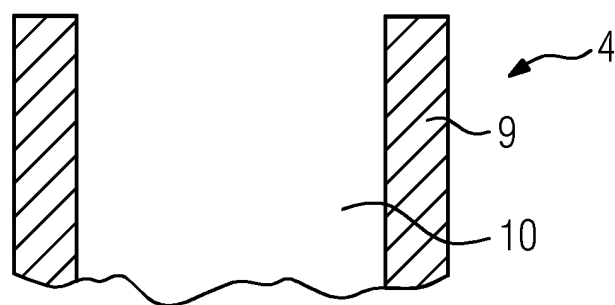


FIG 7

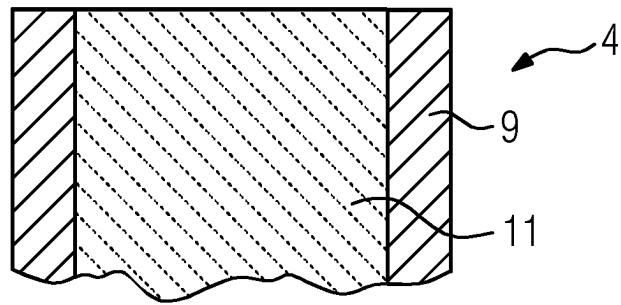


FIG 8

