



(10) **DE 10 2011 011 495 B4** 2013.05.08

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 011 495.5**
(22) Anmeldetag: **17.02.2011**
(43) Offenlegungstag: **23.08.2012**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **08.05.2013**

(51) Int Cl.: **B23P 6/00** (2006.01)
B23Q 3/00 (2006.01)
B23K 20/00 (2006.01)
F01D 5/00 (2006.01)
F01D 5/28 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Lufthansa Technik AG, 22335, Hamburg, DE

(74) Vertreter:
**GLAWE DELFS MOLL - Partnerschaft von Patent-
und Rechtsanwälten, 80538, München, DE**

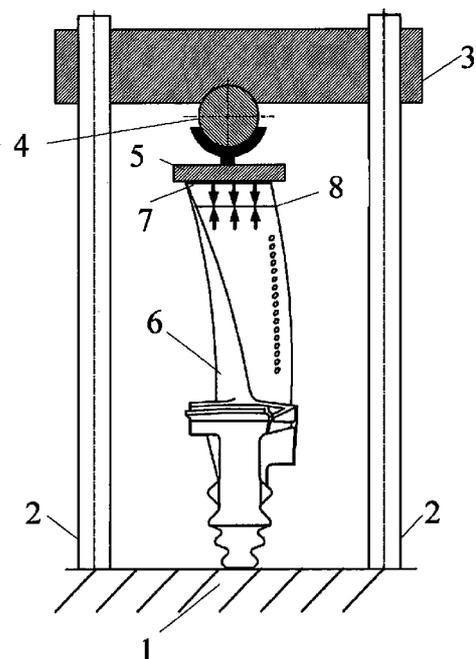
(72) Erfinder:
**Vogel, Christian, 22889, Tangstedt, DE; Berend,
Olaf, 24568, Kaltenkirchen, DE; Prenzel, Gerhard,
22889, Tangstedt, DE; Gartner, Thomas, Dr.-Ing.,
22087, Hamburg, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	198 31 736	C2
DE	10 2006 005 364	A1
DE	10 2006 008 836	A1
DE	10 2006 012 675	A1

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zum Reparieren von Gasturbinenschaufeln**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zum Reparieren von Gasturbinenschaufeln aus einer Superlegierung mittels Diffusionsschweißens, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:
a) wenigstens ein Kraftbeaufschlagungsorgan zur unidirektionalen Kraftbeaufschlagung, das wenigstens eine im linear elastischen Bereich betriebene Feder und/oder wenigstens ein Gewicht als Kraftquelle aufweist,
b) das Kraftbeaufschlagungsorgan weist eine 3D-Gelenkigkeit relativ zur Kraftquelle auf,
c) die Vorrichtung ist hochtemperaturfest und kann bei einer Umgebungstemperatur von wenigstens 900°C, vorzugsweise wenigstens 1.000°C, weiter vorzugsweise wenigstens 1.100°C, weiter vorzugsweise wenigstens 1.250°C betrieben werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Reparieren von Gasturbinenschaufeln aus einer Superlegierung mittels Diffusionsschweißens.

[0002] Gasturbinenschaufeln unterliegen im Betrieb einem Verschleiß. Insbesondere die Laufschaufeln von Hochdruckturbinen (HPT Blades) verschleißen im Bereich der Schaufelspitze durch die thermische Beanspruchung sowie mechanisch durch ein Einlaufen in die Gegendichtflächen. Aus offenkundiger Vorbenutzung ist es bekannt, verschlissene und/oder mit Rissen behaftete Bereiche im Bereich der Schaufelspitze mechanisch lokal abzutragen und durch ein Auftragsschweißen mit einem Schmelzschweißverfahren wieder herzustellen.

[0003] DE 10 2006 012 675 A1 beschreibt eine Vorrichtung zum induktiven Hochfrequenzschweißen von Rotorschaufeln einer Gasturbine, die eine automatische Zufuhr der zu schweißenden Schaufelblätter aus einem Magazin durchführt.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine Vorrichtung der Eingangs genannten Art zu schaffen, die eine kostengünstige und qualitativ hochwertige Reparatur ermöglicht.

[0005] Gegenstand der Erfindung ist eine eingangs genannte Vorrichtung mit folgenden Merkmalen:

- a) wenigstens ein Kraftbeaufschlagungsorgan zur unidirektionalen Kraftbeaufschlagung, das wenigstens eine im linear elastischen Bereich betriebene Feder und/oder wenigstens ein Gewicht als Kraftquelle aufweist,
- b) das Kraftbeaufschlagungsorgan weist eine 3D-Gelenkigkeit relativ zur Kraftquelle auf,
- c) die Vorrichtung ist hochtemperaturfest und kann bei einer Umgebungstemperatur von wenigstens 900°C, vorzugsweise wenigstens 1.000°C, weiter vorzugsweise wenigstens 1.100°C, weiter vorzugsweise wenigstens 1.250°C betrieben werden.

[0006] Die Hochtemperaturfestigkeit der Vorrichtung ermöglicht einen Betrieb in heißer Umgebung, also unmittelbar im Ofen.

[0007] Der erfindungsgemäß mögliche Betrieb der gesamten Vorrichtung im Ofen erlaubt eine einfachere Handhabung und insbesondere Batchverarbeitung durch gleichzeitiges Diffusionsschweißen mehrerer Bauteile in einem Ofen, stellt aber andererseits besondere Anforderungen an die Standfestigkeit der Vorrichtung, da diese in aller Regel nicht fest auf eine Grundfläche montiert werden kann. Es ist hier vorteilhaft, wenn die Vorrichtung wenigstens zwei Kraftbeaufschlagungsorgane mit wenigstens zwei Gewichten als Kraftquellen aufweist, wobei diese Gewichte

im Wesentlichen symmetrisch zum Gewichtsschwerpunkt der Vorrichtung angeordnet sind.

[0008] Ein weiterer Gesichtspunkt bei Anordnung der gesamten Vorrichtung in einem Ofen ist, dass thermische Energie für die Erwärmung der gesamten Masse der Vorrichtung benötigt wird.

[0009] Es ist daher von Vorteil, die Gesamtmasse der Vorrichtungen gering zu halten. Zu diesem Zweck ist es von Vorteil, wenn Gewichte als Kraftquellen über einem Hebelarm auf das Kraftbeaufschlagungsorgan wirken. Diese Vorgehensweise erlaubt es, einen erforderlichen Fügedruck mit einer vergleichsweise geringen Masse, insbesondere einer geringen Masse der als Kraftquellen verwendeten Gewichte, aufzubringen. Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung weist die Vorrichtung eine Mehrzahl von Kraftbeaufschlagungsorganen mit jeweils zugeordneten Gewichten als Kraftquellen auf. Ein Teil der Kraftbeaufschlagungsorgane ist dergestalt oberhalb von anderen Kraftbeaufschlagungsorganen angeordnet, dass die Gewichtskraft der oberhalb angeordneten Kraftbeaufschlagungsorgane (einschließlich darin befindlicher Bauteile) ganz oder teilweise als Kraftquelle für die unterhalb angeordneten Kraftbeaufschlagungsorgane dient. Eine solche „kaskadenförmige“ Konstruktion der Vorrichtung minimiert die Gesamtmasse weiter, indem die Masse von oberhalb angeordneten Kraftbeaufschlagungsorganen gleichzeitig als Gewicht und damit Kraftquelle für unterhalb angeordnete Kraftbeaufschlagungsorgane dient. Ein Ausgleich der resultierenden Gewichtskräfte erfolgt über die zu nutzende Hebelarmlänge.

[0010] Diese Ausführungsform der Erfindung nutzt auf besonders effiziente Art und Weise die Masse der Kraftbeaufschlagungsorgane als Kraftquelle für die Beaufschlagung unterhalb angeordneter Kraftbeaufschlagungsorgane und ermöglicht die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens im Batchbetrieb bei einer sehr geringen Masse der Gesamtvorrichtung, das heißt bei einer geringen Masse im Verhältnis zur Zahl der in einem Batchlauf zu schweißenden Gasturbinenschaufeln.

[0011] Diese erfindungsgemäße Vorrichtung ist so gestaltet, dass sie während des Diffusionsschweißprozesses eine im wesentlichen zwangskräftefreie Normalkraft auf die zusammenzufügenden Teile ausüben kann. Durch diese Normalkraft wird der den Diffusionsschweißprozess unterstützende Fügedruck in der Fügefläche erreicht.

[0012] Anstelle der vorstehend beschriebenen Kraftbeaufschlagung mittels Gewichten ist auch eine Kraftbeaufschlagung mittels Federn möglich. Die Kraftbeaufschlagung mittels Federn kann den Vorteil haben, dass die Vorrichtung eine insgesamt ge-

ringere Masse aufweist. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn während des Diffusionsschweißvorgangs die gesamte Vorrichtung in die Warmbehandlungsanlage verbracht wird. Bei der Aufbringung der Fügekraft mittels einer Feder ist es bevorzugt, diese Feder so auszugestalten, dass während des gesamten Diffusionsschweißvorgangs eine konstante oder im Wesentlichen konstante Kraft aufgebracht wird.

[0013] Erfindungsgemäß ist es bevorzugt, wenn die Feder einen hohen Ausnutzungsgrad aufweist, also eine hohe nutzbare Federenergie pro Federvolumen. Die Feder kann erfindungsgemäß vorzugsweise als Blattfeder oder Ringfeder ausgebildet sein.

[0014] Die Federkennlinie ist erfindungsgemäß vorzugsweise derart gestaltet, dass während des gesamten Fügeprozesses eine konstante oder hinreichend konstante Kraft wirkt. Zu diesem Zweck weist die Feder bevorzugt eine degressive Federkennlinie auf.

[0015] Der Werkstoff der Feder wird vorzugsweise so gewählt, dass bei den verwendeten hohen Füge Temperaturen und den jeweiligen Fügekräften die Fließspannungen des Federmaterials nicht überschritten werden. Geeignete Materialien sind beispielsweise Graphit oder mit Kohlefaser verstärkter Kohlenstoff (carbon fiber reinforced carbon, CFC). CFC weist eine geringe spezifische Masse, geringen Verzug und eine gute Thermoschockbeständigkeit auf. Dies ermöglicht eine schnelle Abkühlung nach der Haltezeit. CFC weist ferner eine mit der Temperatur steigende Festigkeit sowie eine geringe Kriechneigung auf. Typische Eigenschaften von CFC-Materialien sind wie folgt: Hohe thermische Stabilität (kein Verspröden, kein Verziehen), hohe mechanische Belastbarkeit, zunehmende Festigkeit bei steigender Temperatur bis etwa 2500°C, Zugfestigkeit in der Größenordnung 190 MPa, Druckfestigkeit in der Größenordnung 270 MPa, Biegebruchfestigkeit in der Größenordnung 170 MPa. Die niedrige Dichte von etwa 1,6 g/cm³ ermöglicht die Fertigung von erfindungsgemäßen Vorrichtungen mit geringem Gewicht.

[0016] Bei Kraftbeaufschlagung mittels Federn wird die erfindungsgemäße Vorrichtung vorzugsweise aus so wenigen Teilen wie möglich gefertigt, um erforderliche Fügestellen zwischen Teilen der Vorrichtung so weit als möglich zu verringern. Besonders bevorzugt ist eine monolithische Konstruktion, bei der die Vorrichtung beispielsweise durch bekannte und gut automatisierbare Verfahren (zum Beispiel Wasserstrahlschneiden) kostengünstig hergestellt werden kann. Die in einer solchen monolithischen Konstruktion integrierte monolithische Feder erlaubt auch bei etwas unterschiedlichen Abmessungen der Bauteile

und hohen Temperaturen die präzise Einstellung einer gewünschten Spannkraft.

[0017] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann in einem Verfahren zum Reparieren von Gasturbinenschaufeln aus einer Superlegierung mittels Diffusionsschweißens mit folgenden Schritten eingesetzt werden:

- a) Abtrennen eines zu ersetzenden Teilbereichs der Schaufel,
- b) Einstellen einer Oberflächenrauigkeit von $\leq 1,5 \mu\text{m}$, vorzugsweise $\leq 1 \mu\text{m}$, der Fügefläche,
- c) Aufsetzen eines Ersatzteils aus einer artgleichen Superlegierung auf die Fügefläche,
- d) unidirektionale Kraftbeaufschlagung des Ersatzteils gegen die Fügefläche mit einem Druck von 0,5 bis 100 MPa,
- e) Durchführen eines Diffusionsschweißprozesses bei einer Temperatur von 900 bis 1.250°C in Inertgasatmosphäre und/oder unter vermindertem Druck.

[0018] Superlegierungen sind Werkstoffe auf Nickel- oder Kobaltbasis mit Zusätzen beispielsweise der Elemente Kobalt, Nickel, Eisen, Chrom, Molybdän, Wolfram, Rhenium, Osetium, Tantal, Niob, Aluminium, Titan, Mangan, Zirkonium, Kohlenstoff oder Bor für Hochtemperaturanwendungen. Polykristalline Superlegierungen erreichen Einsatztemperaturen von etwa 80% des Schmelzpunktes, die bevorzugten einkristallinen Superlegierungen ungefähr 90% des Schmelzpunktes. Bevorzugt ist das Verfahren bei Gasturbinenschaufeln aus Nickelbasis-Superlegierungen.

[0019] Der abzutrennende und zu ersetzende Teilbereich der Schaufel wird im Regelfall die radial nach außen weisende Schaufelspitze sein.

[0020] Die Fügefläche ist die Trennfläche des Restbauteils, auf die das Ersatzteil mit einer entsprechend passenden Gegenfläche aufgesetzt werden soll.

[0021] Das Ersatzteil ist aus einer artgleichen Superlegierung (Polykristallin-, gerichtet erstarrte- oder monokristalline Mikrostruktur). Es handelt sich somit um eine identische oder hinreichend ähnliche Superlegierung, die der reparierten Schaufel insgesamt die gewünschten Materialeigenschaften verleiht.

[0022] Die Kraftbeaufschlagung erfolgt unidirektional, das heißt das Kraftbeaufschlagungsorgan übt eine Kraft nur in einer Raumrichtung aus, die bevorzugt im Wesentlichen senkrecht zur Fügefläche liegt. Beim Diffusionsschweißens erfolgt der Verbindungsvorgang durch Diffusionsprozesse von Metalatomen bei einer Temperatur, die typischerweise etwas unterhalb der Solidustemperatur des Werkstoffes liegt. Der Anpressdruck der Bauteile ist vorzugsweise so bemessen, dass ein guter (ebener) Kon-

takt der Schweißflächen gewährleistet ist und dass es gegebenenfalls zu einem leichten Fließen der Oberflächenrauigkeiten (Rauigkeit Spitzen und Täler) kommt, ohne jedoch zu einer plastischen Verformung des Werkstücks zu führen. Das Verfahren hat eine Reihe von Vorteilen. Das vollständige Abtrennen eines zu ersetzenden Teilbereichs der Schaufel ermöglicht eine Vereinheitlichung der Verfahrensvorbereitung unabhängig vom Umfang des Schadensbildes der einzelnen Schaufel. Beispielsweise ist es möglich, verhältnismäßig großzügig den Bereich der Schaufelspitze abzutrennen, in dem im Betrieb Erosionen oder Risse auftreten können.

[0023] Damit verbunden ist der besondere Vorteil, dass alle Schritte des Verfahrens automatisierbar oder zumindest mechanisierbar sind und keines manuellen Eingriffs bedürfen. Es ist möglich und besonders bevorzugt, in einem Schritt parallel (zeitgleich) jeweils eine größere Zahl von Schaufeln zu bearbeiten, beispielsweise 10 bis 100 Schaufeln parallel zu bearbeiten.

[0024] Das Diffusionsschweißen macht eine Einstellung praktisch gleichwertiger mechanisch-physikalischer Eigenschaften der Schweißverbindung im Vergleich zum Grundwerkstoff möglich, da im Zuge des Schweißvorgangs kein Schmelzen des Grundwerkstoffs eintritt. Durch entsprechende Vorbereitung der Schaufel und des vorgeformten Ersatzteils erhält man eine endkonturnahe Fügeverbindung, eine Bearbeitung nach dem Diffusionsschweißen zur Herstellung der Endkontur (beispielsweise Schleifen) entfällt oder kann minimiert werden. Die hergestellte Schweißverbindung ist eigenspannungs- und verzugsfrei, so dass das Risspotential durch Materialeigenspannungen minimiert wird.

[0025] Das Abtrennen eines zu ersetzenden Teilbereichs der Schaufel kann durch Erodieren, beispielsweise Drahterodieren, oder durch andere Trennverfahren wie beispielsweise Fräsen erfolgen.

[0026] Die Oberflächenrauigkeit der Fügefläche wird auf $\leq 1,5 \mu\text{m}$, vorzugsweise $\leq 1 \mu\text{m}$ eingestellt, ein typischer Wert liegt bei etwa $0,8 \mu\text{m}$. Dies kann beispielsweise durch Läppen erfolgen. Bevorzugt liegt auch die Ebenheit der Fügeflächen im gleichen Bereich. Ebenheit ist die Angabe über die Formtoleranz, in der sich eine generierte ebene Fläche befinden muss. Die Toleranzgrenzen ergeben sich durch zwei gedachte planparallele Flächen zu der Idealfäche. Wenn die reale Fläche durch eine der planparallelen Flächen durchsticht, ist die Toleranz für die Ebenheit überschritten.

[0027] Die unidirektionale Kraftbeaufschlagung erfolgt mittels eines erfindungsgemäßen Kraftbeaufschlagungsorgans, das eine 3-D-Gelenkigkeit relativ zur Kraftquelle aufweist. Diese dreidimensionale Be-

weglichkeit des Kraftbeaufschlagungsorgans erlaubt es, die vom Kraftbeaufschlagungsorgan ausgeübte Kraft weitestgehend gleichmäßig auf die Fügefläche zu verteilen, ohne dass es zu einem Verkanten oder einer ungleichmäßigen Kraftbeaufschlagung kommt. Insbesondere kann zwischen dem Kraftbeaufschlagungsorgan und der Kraftquelle ein 3-D-Kugelgelenk oder dergleichen vorgesehen sein.

[0028] Das Kraftbeaufschlagungsorgan weist vorzugsweise eine im linear elastischen Bereich betriebene Feder und/oder wenigstens ein Gewicht auf. Dies ermöglicht es, die beaufschlagte Kraft unabhängig zu halten von etwaigen Variationen in Geometrie oder Maßhaltigkeit der Bauteile oder möglichen Positionsverschiebungen der Bauteile im Einspannzustand.

[0029] Die Kraftbeaufschlagung erfolgt bevorzugt im Wesentlichen senkrecht zur Fügefläche. Der bevorzugte Druck ist 0,5 bis 50 MPa, weiter vorzugsweise 0,5 bis 30 MPa.

[0030] Das Diffusionsschweißen wird bevorzugt bei einer Temperatur von 1000 bis 1200°C, weiter vorzugsweise 1050 bis 1150°C durchgeführt.

[0031] Es ist möglich und bevorzugt, die Fügeflächen der zu reparierenden Schaufel und des Ersatzteils unmittelbar und ohne jedwede Schweißhilfsmittel dem Diffusionsschweißen zu unterziehen. In diesem Fall muss der Druck beim Zusammenpressen der Teile so groß gewählt werden, dass ein guter Kontakt der Schweißfläche gewährleistet wird. Die zu verschweißenden Flächen müssen zu diesem Zweck eine hohe Oberflächengüte (Oberflächenrauigkeit wie im Anspruch 1 definiert) besitzen. Der Fügedruck bei dieser Verfahrensweise liegt bevorzugt zwischen 5 und 100 MPa, weiter vorzugsweise 5 und 30 MPa.

[0032] Es ist ebenfalls möglich, auf die Fügeflächen beider oder eines der zusammenzufügenden Teile eine dünne Zwischenschicht (wenige μm dick) aufzubringen, die einen geringeren Schmelzpunkt als der Grundwerkstoff der zu verbindenden Teile besitzt. Bei der Diffusionsschweißtemperatur bildet sich ein Metallflüssigkeitsfilm, der Oberflächenrauigkeiten überbrücken kann und daher das Arbeiten mit geringerem Fügedruck möglich macht. Bei dieser Vorgehensweise liegt der bevorzugte Fügedruck zwischen 0,5 und 10 MPa. Ein höherer Fügedruck ist hier in der Regel nicht erforderlich, allerdings auch so lange nicht schädlich, wie es nicht zu einer nicht reversiblen plastischen Verformung der behandelten Bauteile kommt.

[0033] Die optional einzusetzende Zwischenschicht kann verschiedene Zusammensetzungen aufweisen. Es können beispielsweise Nickelbasis-Legierungen ähnlich den zu verbindenden Grundwerkstoffen ver-

wendet werden, die einen Zusatz von schmelzpunktniedrigenden Elementen wie beispielsweise Bor, Phosphor oder Silizium aufweisen. Sie können beispielsweise in Form einer amorphen Lötfolie eingesetzt werden. Ferner können niedrig schmelzende binäre Legierungssysteme wie beispielsweise Ni-Ti, Ni-Al, Ni-Nb oder dergleichen eingesetzt werden, die einen geringeren Schmelzpunkt besitzen als der Grundwerkstoff der zusammenzufügenden Teile. Solche Systeme können beispielsweise als Folie eingesetzt werden oder durch PVD (Physical Vapor Deposition) oder galvanisch auf einer oder beiden Fügeflächen abgeschieden werden. Ferner können durch PVD-Elemente wie beispielsweise Titan, Aluminium, Niob, Bor, Phosphor oder Silizium auf eine oder beide Fügeflächen abgeschieden werden, die über Diffusionsvorgänge in der Grenzfügefläche die beiden zu verbindenden Grundwerkstoffe lokal begrenzt bei der Diffusionsschweißtemperatur anschmelzen lassen. Gegebenenfalls können auch die reinen niedrigschmelzenden Elemente verflüssigen die Fügeflächen benetzen und in dem Grundwerkstoff eindiffundieren. Beispielhaft genannt als niedrigschmelzende Legierungssysteme sind Ni-Ti, Ni-Al, Ni-Rein, und Standardnickelbasislote wie beispielsweise Ni-Cr-B (AMDRY 775), Ni-B-Si (AMS 4778) oder Ni-Cr-Si-B, etc.

[0034] Bevorzugt wird das Diffusionsschweißen über einen Zeitraum von bis zu 2 h durchgeführt. An den Schweißvorgang kann sich eine sogenannte Homogenisierungswärmebehandlung (Postbonding) bei niedrigerer Temperatur über bis zu 24 h anschließen.

[0035] Das Verfahren wird unter Inertgasatmosphäre und/oder vermindertem Druck durchgeführt, um unerwünschte Oxidationen der Fügeflächen zu vermeiden. Bevorzugt wird es bei einem Druck von 10^{-4} mbar oder weniger, beispielsweise etwa 10^{-5} mbar durchgeführt. Es ist möglich, lediglich lokal die Fügestelle auf die Diffusionsschweißtemperatur zu erwärmen, beispielsweise durch Induktion. Bei dieser Variante des Verfahrens kann die Vorrichtung zum Aneinanderpressen der zusammenzufügenden Teile im kalten Bereich liegen. Alternativ ist es möglich, dass die Erwärmung in einem Vakuum- oder Schutzgasofen erfolgt, wobei dann vorzugsweise die Kraftbeaufschlagungsvorrichtung ebenfalls in dem Ofen angeordnet ist. Bevorzugt ist es, dass bei einer Anordnung in einem Ofen eine Mehrzahl von Kraftbeaufschlagungsvorrichtungen (beispielsweise 10 bis 100) simultan in einem Ofen angeordnet sind, so dass eine Batchbearbeitung bzw. parallele Bearbeitung mehrerer Schaufeln möglich ist. Wenn die Kraftbeaufschlagungsvorrichtung im Ofen und damit im heißen Bereich angeordnet ist, umfasst sie vorzugsweise eine Presse, deren beim Pressvorgang auf Zug belastete Bereiche eine Streckgrenze von wenigstens $R_{p0,2} = 5$ bis 200 N/mm² – abhängig von den eingesetzten

Querschnitten der Vorrichtung, bei einer Temperatur von 1100°C aufweisen. Diese Materialparameter verhindern, dass sich die Presse selbst beim Fügevorgang verformt und dadurch den Diffusionsschweißprozess beeinträchtigt.

[0036] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung erläutert. Darin zeigen:

[0037] Fig. 1 schematisch eine erfindungsgemäße Vorrichtung;

[0038] Fig. 2 die Anordnung von zwei Kraftbeaufschlagungsorganen übereinander;

[0039] Fig. 3 schematisch eine zweite Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei der die Kraftbeaufschlagung über einen Hebelarm erfolgt;

[0040] Fig. 4 schematisch eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Batchbearbeitung von 18 Gasturbinschaufeln;

[0041] Fig. 5 schematisch die Vorgänge beim Diffusionsschweißen ohne niedrig schmelzende Zwischenschicht;

[0042] Fig. 6 schematisch die Vorgänge beim Diffusionsschweißen mit niedrig schmelzender Zwischenschicht;

[0043] Fig. 7 schematisch eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit einer Kraftbeaufschlagung durch Federn;

[0044] Fig. 8 schematisch eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit einer thermischen Gasdruckfeder;

[0045] Fig. 9 schematisch eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit einer Kraftbeaufschlagung durch eine Blattfeder mit degressiver Kennlinie;

[0046] Fig. 10 schematisch eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit einer Kraftbeaufschlagung durch eine Anzahl von in Reihe geschalteten Blattfedern.

[0047] Fig. 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Vorrichtung. Auf einer bei **1** angedeuteten Basis sind Führungen **2** für eine Kraftquelle in Form eines Gewichtes **3** angeordnet. Das Gewicht **3** ist vertikal verschieblich auf den Führungen **2**. Über ein Kugelgelenk **4** beaufschlagt das Gewicht **3** einen Stempel **5** mit seiner Gewichtskraft. Wie in Fig. 1 gezeigt, spannt die Vorrichtung eine Schaufel **6** ein, deren Schaufelspitze abgetrennt wurde. Ein als Schaufelspitze **7** ausgebildetes Ersatzteil ist auf die Schaufel **6** aufgesetzt. Der Stempel **5** beaufschlagt die Fügefläche **8** mit der Gewichtskraft der Kraftquelle **3**.

[0048] Fig. 2 zeigt eine Variante der Vorrichtung, bei der zwei Kraftbeaufschlagungsorgane übereinander angeordnet sind. Bei dieser Ausführungsform wirkt in Fügezone 8 der oberen Schaufel das Gewicht der Kraftquelle 3; in der Fügezone 8 der unteren Schaufel wirkt zusätzlich das Gewicht der oberen Laufschaufel und der Führungsplatte 9. Dieses zusätzliche Gewicht ist klein im Verhältnis zum Gewicht der Kraftquelle 3 und ändert die Kraftbeaufschlagung der unteren Fügezone in einer für den Vorgang nicht relevanten Weise.

[0049] Durch die hier gezeigte Anordnung können die benötigten Massen für das Fügen und Diffusionsschweißen zweier oder mehrerer Schaufeln reduziert werden.

[0050] Fig. 3 zeigt eine Variante der Vorrichtung, bei der die Kraftbeaufschlagung auf den Stempel 5 über das Kugelgelenk 4 mittels eines Hebels 10 erfolgt, ein in der Zeichnung nicht dargestelltes Gewicht wirkt hier mittels des Hebelarms, so dass eine gewünschte Kraftbeaufschlagung mit einer geringeren Masse erzielt werden kann. Der Hebelarm 10 ist hier an einem Gelenk 11 eingesetzt oder angelegt.

[0051] Fig. 4 zeigt eine Ausführungsform der Vorrichtung, bei der in einem Batchprozess 18 Schaufeln gleichzeitig einem Diffusionsschweißvorgang unterzogen werden können. Bei dieser Ausführungsform der Erfindung gewissermaßen in drei Etagen wird die Gewichtskraft der zur oberst angeordneten vier Vorrichtungen zur Kraftbeaufschlagung darunter angeordneter Vorrichtungen mit eingesetzt. Die vier Vorrichtungen zu oberst bilden gewissermaßen zwei „ausbalancierte“ Paare bzw. Zwillingsvorrichtungen, bei denen die paarweise angeordneten Gewichte 3 die beiden zu einer Zwillingsvorrichtung zusammengefassten Vorrichtungen jeweils ausbalancieren. Bei den in der obersten Reihe angeordneten Vorrichtungen werden möglichst lange Hebelarme gewählt, um die benötigten Massen der Gewichte 3 zur Beaufschlagung mit der vorgesehenen Kraft in der Fügezone möglichst gering zu halten.

[0052] Bei dem in der zweitobersten bzw. untersten Reihe angeordneten Vorrichtungen werden außen jeweils Gewichte 3 angebracht, die über dem zugehörigen Hebelarm 10 wirken. Bei den weiter innen angeordneten Vorrichtungen werden die Hebelarme 10 jeweils mit der Gewichtskraft der darüber angeordneten Vorrichtungen bzw. einem Teil davon beaufschlagt. Zur Anpassung der auf die jeweiligen Fügeflächen wirkenden Kraft ist es möglich, bei den zu unterst oder in der Mitte angeordneten Vorrichtungen nur einen Teil der Länge der Hebelarme 10 zu nutzen. Diese Ausführungsform der Vorrichtung ermöglicht eine gleichzeitige Bearbeitung von 18 Schaufeln, dabei ist der Platzbedarf gering und ermöglicht eine Anordnung der gesamten Vorrichtung in einer Wärme-

behandlungsanlage bzw. einem entsprechend ausgerüsteten Ofen. Die kaskadenförmige Anordnung minimiert gleichzeitig die erforderlichen Massen zur Aufbringung der erforderlichen Fügekräfte auf die Fügezonen.

[0053] Fig. 5 zeigt schematisch die Vorgänge bei einem Diffusionsschweißen in der Fügezone 8, wenn keine niedrigschmelzende Zwischenschicht verwendet wird. Bei einer Schaufel 6 mit einer verschlossenen Schaufelspitze wird diese zunächst beispielsweise durch Drahterodieren abgetrennt. Mittels Läppen wird eine Oberflächenrauigkeit von $\leq 1,5 \mu\text{m}$, vorzugsweise $\leq 1 \mu\text{m}$ der Fügefläche eingestellt. Ein Ersatzteil 7 wird auf diese Fügezone aufgesetzt. Die Oberflächen sind bevorzugt frei von Oxiden und Nitriden. Anschließend wird der erforderliche Fügedruck mittels der beschriebenen Vorrichtung aufgebracht.

[0054] Fig. 5 zeigt links oben (Stufe 1) zunächst den anfänglichen, noch etwas unebenen Kontakt zwischen der Schaufel 6 und dem Ersatzteil 7 in der Fügezone 8. Anschließend wird der Bereich mit der Diffusionstemperatur von bevorzugt 1050 bis 1200°C beaufschlagt und dem Diffusionsschweißvorgang von bevorzugt 4 bis 24 Stundendauer unterzogen. Stufe 2 der Fig. 5 zeigt den zu Beginn des Diffusionsschweißvorgangs auftretenden Ausgleich der Oberflächenunebenheiten durch Druck (Deformation und Korngrenzflächenformation). Stufe 3 zeigt die auftretende grenzflächennahe Veränderung der Korngrenzen und die Beseitigung der Grenzflächenporen. Bei Stufe 4 ist eine Volumendiffusion erfolgt und die Poren sind vollständig beseitigt. Der Diffusionsschweißvorgang ist abgeschlossen.

[0055] Fig. 6 zeigt das Diffusionsschweißen unter Verwendung einer niedrigschmelzenden Zwischenschicht. Diese niedrigschmelzende Zwischenschicht wird zu Beginn des Diffusionsschweißvorgangs zunächst erschmolzen (Stufe 2 in Fig. 6). Es muss hier nur ein geringer Fügedruck aufgebracht werden, der im Wesentlichen nur dazu dient, um die Bauteilfügeflächen in Berührung zu halten. Wieder wird hier eine Diffusionstemperatur von 1050 bis 1200°C bei einer Behandlungszeit von 4 bis 24 Stunden verwendet.

[0056] Stufe 3 in Fig. 6 zeigt, wie die niedrigschmelzende Zwischenschicht eine heterogene Verbindung (Diffusionsbrücke) bildet. Der Diffusionsvorgang hat zu einer isothermen Erstarrung geführt.

[0057] Bevorzugt wird der gesamte Vorgang in einer Warmbehandlungsanlage (einem Ofen), bevorzugt einem Vakuumofen, durchgeführt. Man kann auf diese Weise ohne Unterbrechung des Wärmebehandlungszyklus den gesamten Diffusionsschweißvorgang gleichzeitig bei einer größeren Stückzahl an Bauteilen durchführen. Es ist nicht erforderlich, beispielsweise für ein an das Diffusionsschweißen an-

schließende sog. Homogenisierungswärmebehandlung (Postbonding) bei einer gegebenenfalls etwas niedrigeren Temperatur als die Diffusionsschweißtemperatur die Wärmebehandlungsanlage zu wechseln.

[0058] Die Fig. 7–Fig. 10 zeigen schematisch erfindungsgemäße Vorrichtungen, bei denen die Kraftbeaufschlagung durch Federn erfolgt. Wie in Fig. 7 gezeigt, spannt die Vorrichtung **16** eine Schaufel **6** ein, deren Schaufelspitze abgetrennt wurde. Ein als Schaufelspitze **7** ausgebildetes Ersatzteil ist auf die Schaufel **6** aufgesetzt. Die Vorrichtung **16** ist eine monolithische Spannvorrichtung, die im Ausführungsbeispiel mittels Wasserstrahlschneiden aus einem Stück CFC gefertigt ist. In Fig. 7 ist bei **12** eine in die monolithische Vorrichtung **16** integrierte Feder angedeutet, die unterschiedlich ausgestaltet sein kann, wie nachfolgend unter Bezugnahme auf die Fig. 8–Fig. 10 erläutert.

[0059] Fig. 8 zeigt eine Ausführungsform der Erfindung, bei der die Spannkraft durch eine thermische Gasdruckfeder aufgebracht wird. Ein Hohlraum **13** ist mit einem Schutzgas wie beispielsweise Argon oder Helium befüllt. Durch die thermische Ausdehnung des Gases im Hohlraum **13** wird auf die in der Vorrichtung **16** eingespannte Schaufel **6** und die Schaufelspitze **7** eine definierte Fügekraft aufgebracht.

[0060] In der Variante der Fig. 9 erfolgt die Kraftbeaufschlagung von Schaufel **6** und Schaufelspitze **7** durch eine monolithische, mit der Vorrichtung **16** verbundene Blattfeder **14** mit degressiver Kennlinie.

[0061] Bei der Ausführungsform der Fig. 10 sind in die monolithische Vorrichtung **16** bei **15** angedeutete, in Reihe geschaltete Blattfedern integriert. Diese üben auf die eingespannte Schaufel **6** und Schaufelspitze **7** die gewünschte definierte Fügekraft aus.

[0062] Gemeinsam ist den Ausführungsformen der Fig. 8–Fig. 10, dass ein als Stempel **17** ausgebildetes Kraftbeaufschlagungsorgan über eine Gelenkstelle **18** monolithisch mit der Vorrichtung **16** verbunden ist. Diese Gelenkstelle **18** stellt die gewünschte 3-D Gelenkigkeit des Kraftbeaufschlagungsorgans (Stempel **17**) relativ zur Kraftquelle (Federn **13**, **14**, oder **15**) her. Die von den Federn ausgeübte Kraft wird daher weitestgehend gleichmäßig auf die Fügeflächen verteilt. Ein Verkanten oder eine ungleichmäßige Kraftbeaufschlagung werden vermieden.

[0063] Die Vorrichtungen der Fig. 8–Fig. 10 sind hochtemperaturfest, so dass sie mitsamt der eingespannten Turbinenschaufel in eine Warmbehandlungsanlage eingebracht werden können.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Reparieren von Gasturbinschaufeln aus einer Superlegierung mittels Diffusionsschweißens, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

a) wenigstens ein Kraftbeaufschlagungsorgan zur unidirektionalen Kraftbeaufschlagung, das wenigstens eine im linear elastischen Bereich betriebene Feder und/oder wenigstens ein Gewicht als Kraftquelle aufweist,
 b) das Kraftbeaufschlagungsorgan weist eine 3D-Gelenkigkeit relativ zur Kraftquelle auf,
 c) die Vorrichtung ist hochtemperaturfest und kann bei einer Umgebungstemperatur von wenigstens 900°C, vorzugsweise wenigstens 1.000°C, weiter vorzugsweise wenigstens 1.100°C, weiter vorzugsweise wenigstens 1.250°C betrieben werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie wenigstens zwei Kraftbeaufschlagungsorgane mit wenigstens zwei Gewichten als Kraftquellen aufweist, wobei die wenigstens zwei Gewichte im Wesentlichen symmetrisch zum Gewichtsschwerpunkt der Vorrichtung angeordnet sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sie wenigstens eine Kraftquelle ein Gewicht aufweist, das über einen Hebelarm auf das Kraftbeaufschlagungsorgan wirkt.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Mehrzahl von Kraftbeaufschlagungsorganen mit den Kraftbeaufschlagungsorganen zugeordneten Gewichten als Kraftquellen aufweist, wobei ein Teil der Kraftbeaufschlagungsorgane dergestalt oberhalb von anderen Kraftbeaufschlagungsorganen angeordnet ist, dass die Gewichtskraft der oberhalb angeordneten Kraftbeaufschlagungsorgane als Kraftquelle für die unterhalb angeordneten Kraftbeaufschlagungsorgane dient.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie als Kraftbeaufschlagungsorgan wenigstens eine Feder (**13**, **14**, **15**, **16**) aufweist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens eine Feder monolithisch mit der Vorrichtung verbunden ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Feder ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Blattfedern, Ringfedern, und Gasdruckfedern.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Material der Vorrichtung und/oder der Feder ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Graphit und CFC.

9. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine thermische Gasdruckfeder **(13)** aufweist.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

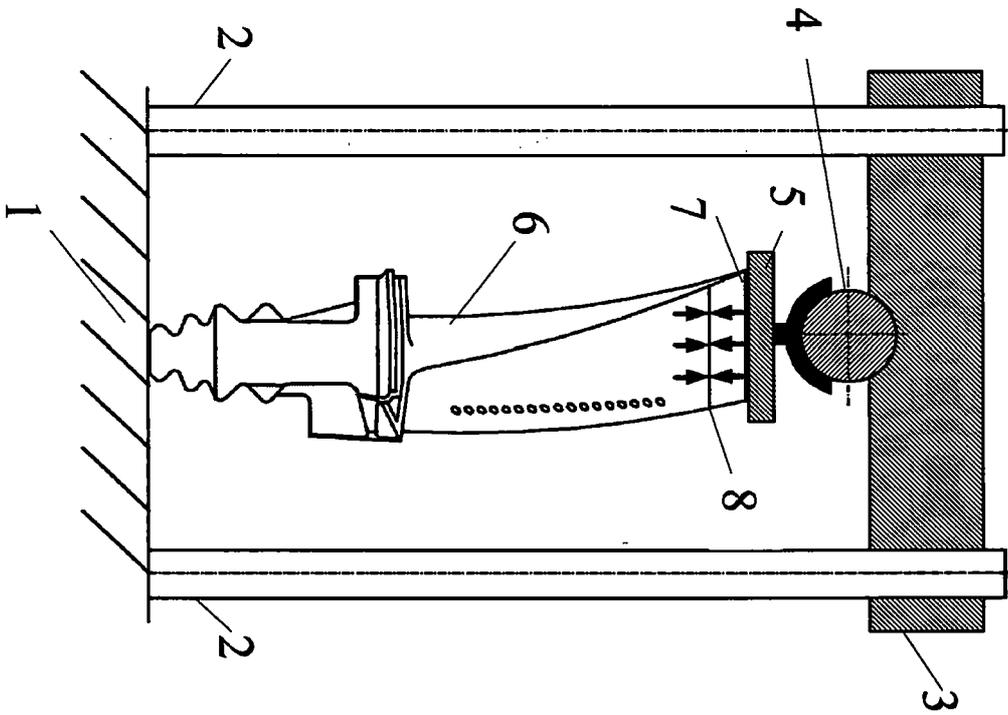


Fig. 1

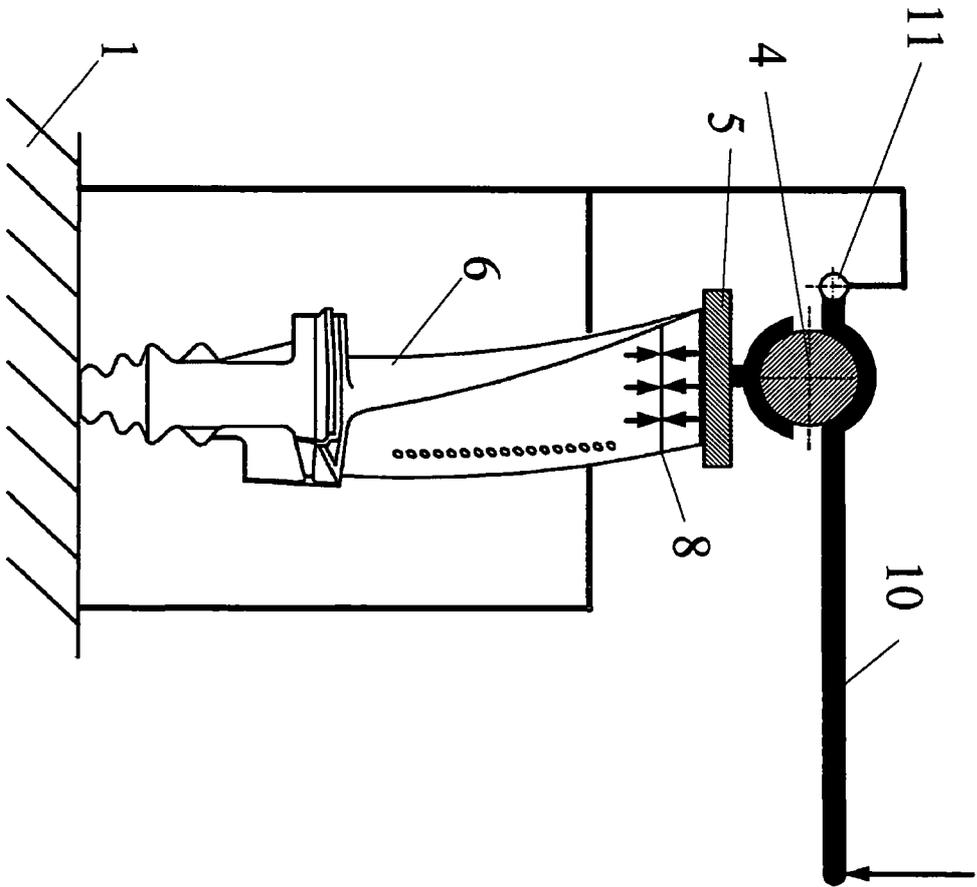


Fig. 3

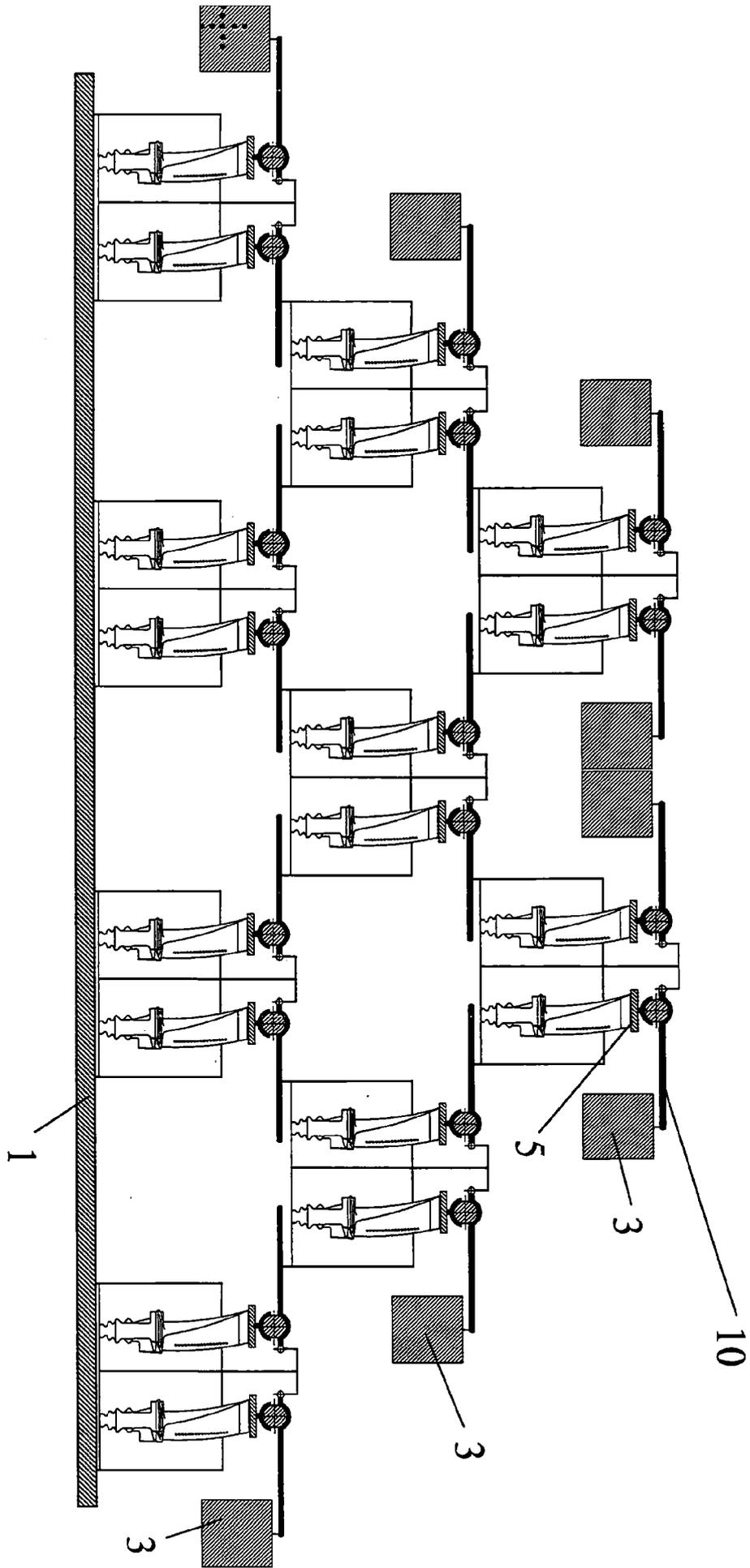


Fig. 4

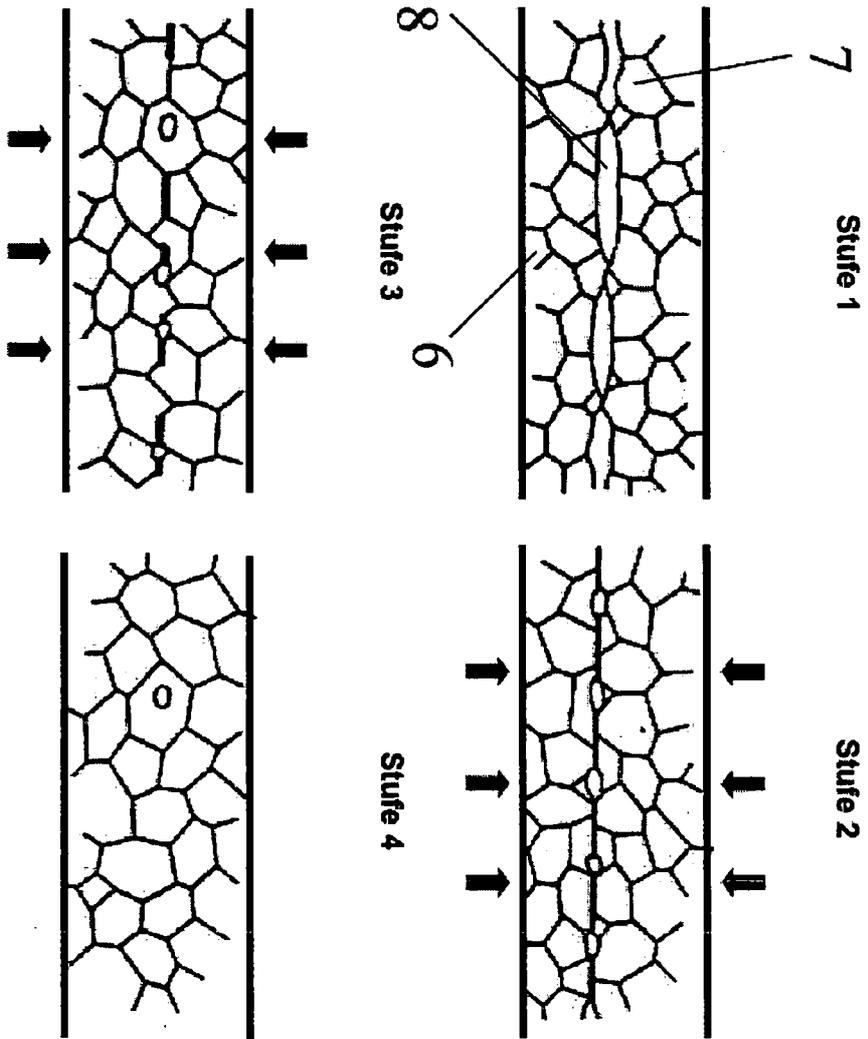


Fig. 5

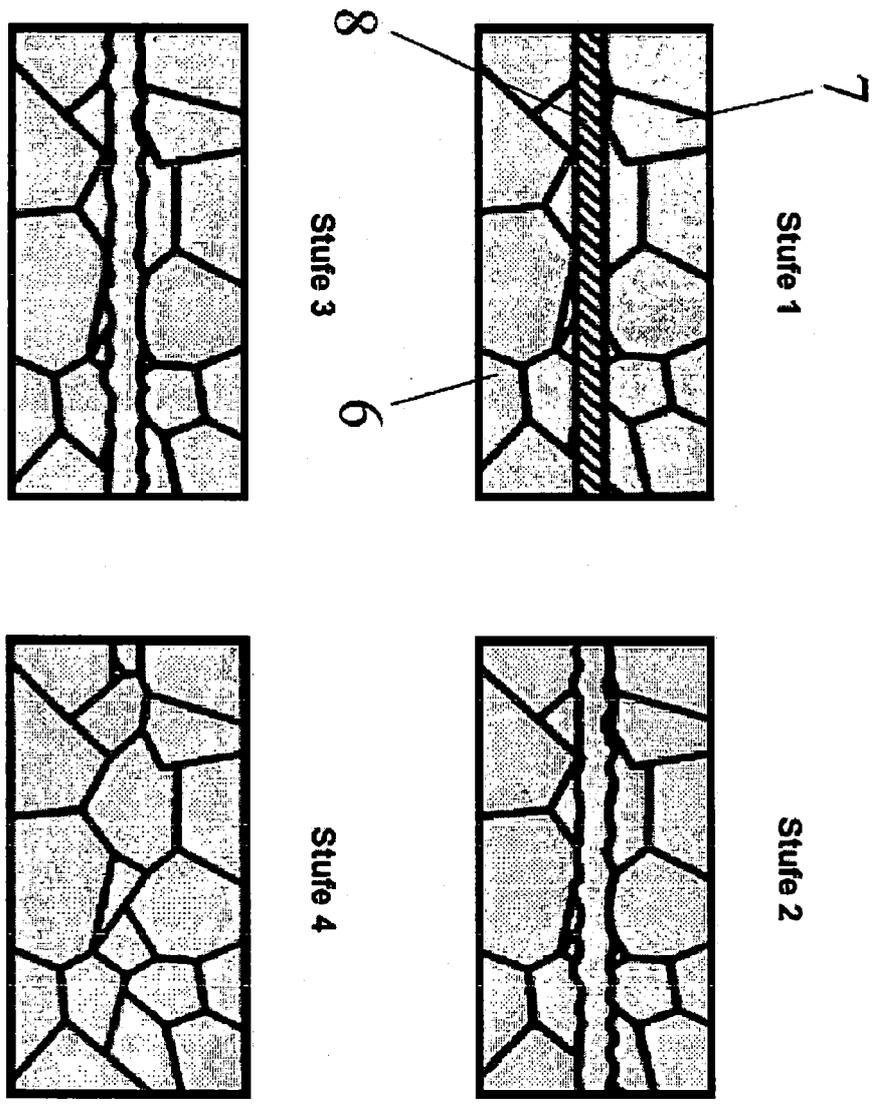


Fig. 6

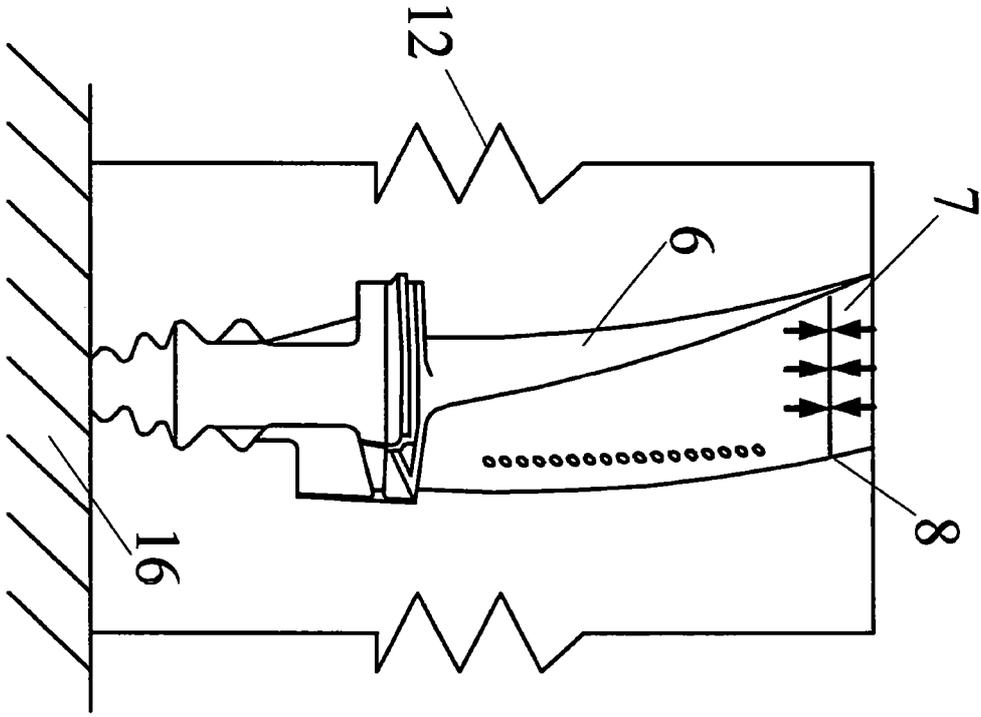


Fig. 7

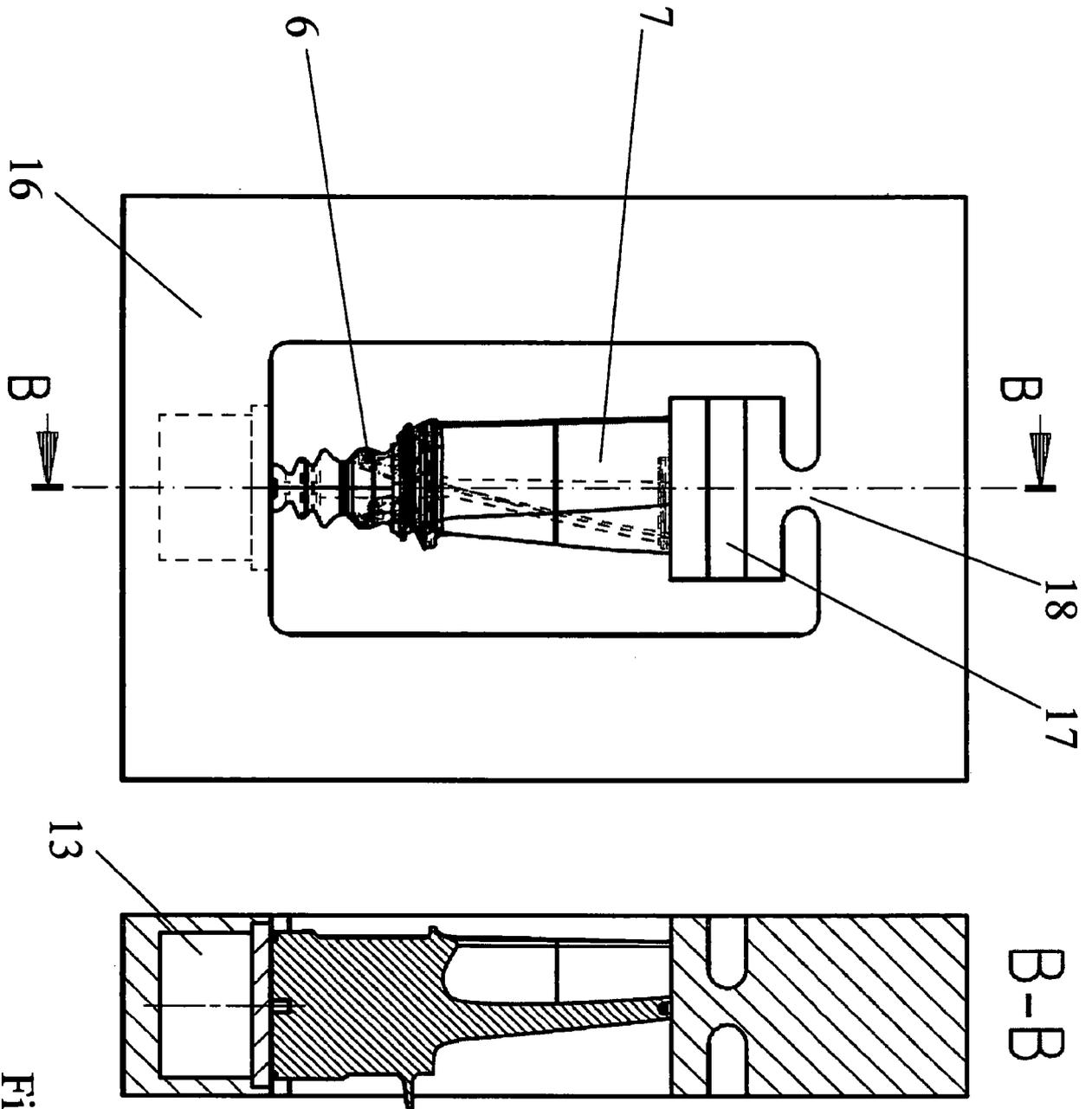


Fig. 8

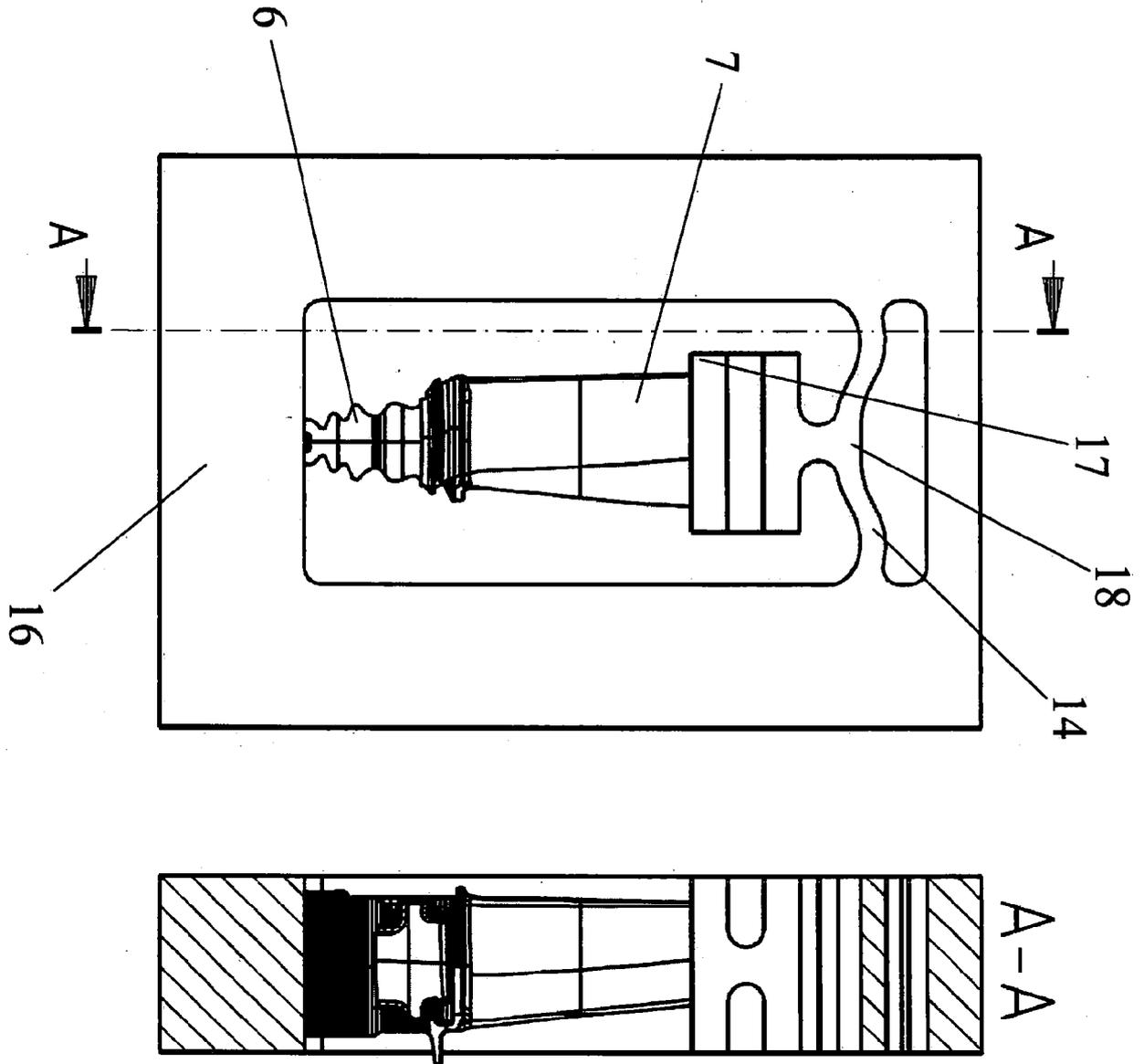


Fig. 9

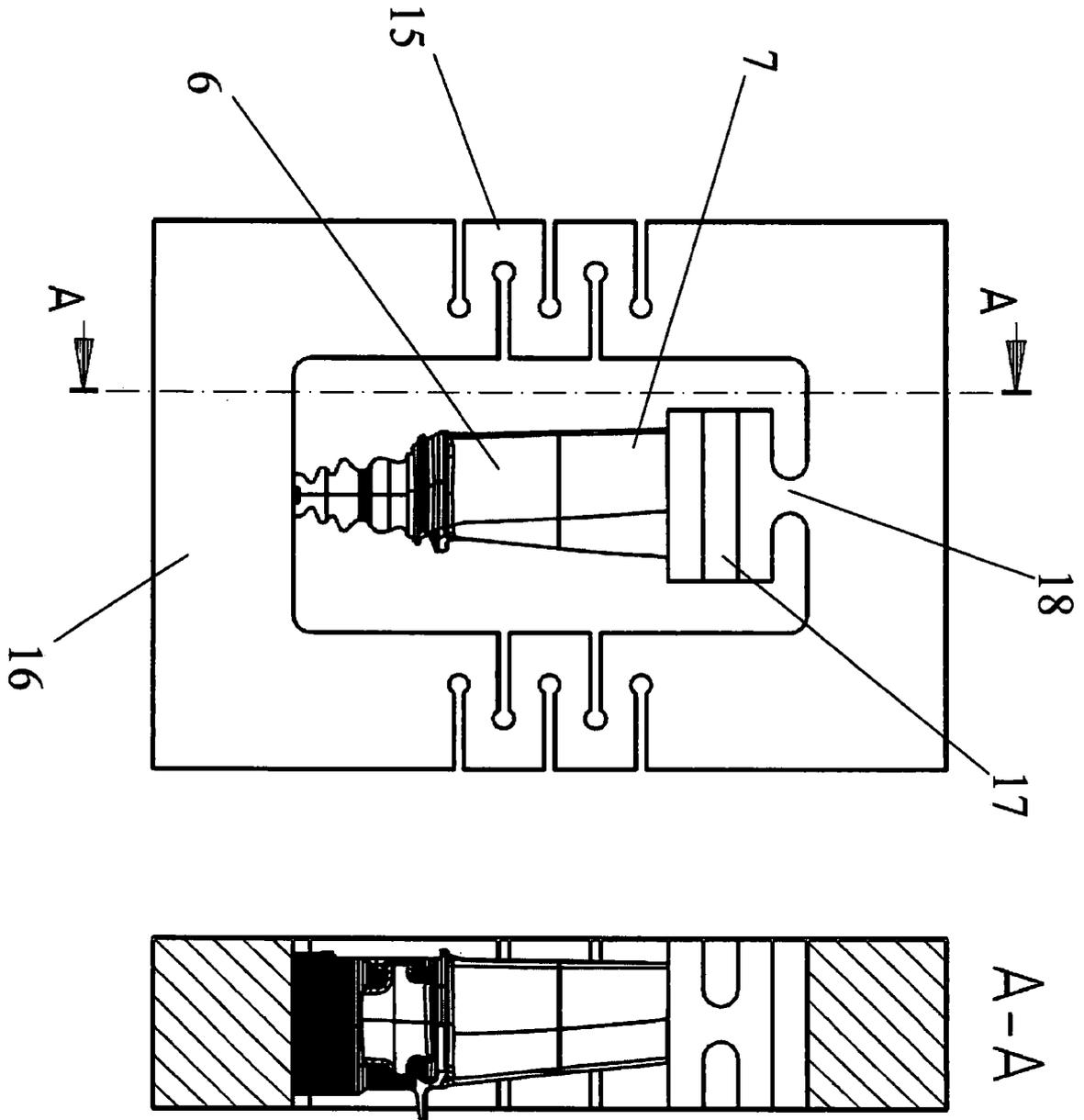


Fig. 10