

(19)



(11)

EP 1 761 361 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
28.11.2007 Patentblatt 2007/48

(51) Int Cl.:
B24B 39/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05753780.5**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2005/001022

(22) Anmeldetag: **08.06.2005**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2005/123338 (29.12.2005 Gazette 2005/52)

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM OBERFLÄCHENSTRAHLEN VON GASTURBINENSCHAUFELN IM BEREICH IHRER SCHAUFELFÜSSE

METHOD AND DEVICE FOR SURFACE BLASTING GAS TURBINE BLADES IN THE AREA OF THE ROOTS THEREOF

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR DECAPAGE DE SURFACES D'AUBES DE TURBINES A GAZ AU NIVEAU DE L'EMPLANTURE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(30) Priorität: **19.06.2004 DE 102004029546**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
14.03.2007 Patentblatt 2007/11

(73) Patentinhaber: **MTU Aero Engines GmbH**
80995 München (DE)

(72) Erfinder:
• **BAYER, Erwin**
85221 Dachau (DE)

- **PESCHKE, Thomas**
82194 Gröbenzell (DE)
- **POLANETZKI, Holger**
85221 Dachau (DE)
- **WINKLER, Alexander**
85757 Karlsfeld (DE)
- **DAUTL, Thomas**
85258 Weichs (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
US-A- 3 668 913 **US-A1- 2002 124 402**
US-B1- 6 289 705

EP 1 761 361 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Oberflächenstrahlen, insbesondere zum Ultraschall-Kugelstrahlen, von Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Schaufelfüße gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Des weiteren betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Oberflächenstrahlen, insbesondere zum Ultraschall-Kugelstrahlen, von Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Schaufelfüße nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 8.

[0002] Gasturbinen, insbesondere Flugtriebwerke, verfügen insbesondere im Bereich ihres Verdichters sowie ihrer Turbine über mindestens einen mit rotierenden Laufschaufeln bestückten Rotor, wobei die rotierenden Laufschaufeln der Gasturbine über profilierte Schaufelfüße in entsprechenden Ausnehmungen des Gasturbinenrotors verankert sind. Nach dem Stand der Technik ist es möglich, die Schaufelfüße entweder nach dem sogenannten Tannenbaum-Design (fir tree design) oder nach dem sogenannten Schwalbenschwanz-Design (dove tail design) zu profilieren und in entsprechend profilierten Ausnehmungen des Gasturbinenrotors zu verankern. Die vorzugsweise tannenbaumprofilierten oder schwalbenschwanzpräfiliierten Flächen eines Schaufelfußes einer Gasturbinenschaufel werden auch als Tragflächen bezeichnet.

[0003] Während des Betriebs einer Gasturbine werden die Schaufelfüße an ihren profilierten Tragflächen insbesondere durch Reibverschleiß stark beansprucht. Die Verschleißrate im Bereich der Schaufelfüße kann dadurch herabgesetzt werden, dass die Schaufelfüße an ihren Tragflächen durch spezielle Oberflächenbearbeitungsverfahren verfestigt werden. Hierbei kommt vorzugsweise das Kugelstrahlen zum Einsatz. Beim konventionellen Kugelstrahlen kann sich eine erhebliche Oberflächenrauung an den Tragflächen der Schaufelfüße einstellen, wodurch die Passgenauigkeit der Schaufelfüße negativ beeinträchtigt wird.

[0004] Zur Verbesserung der sich beim Kugelstrahlen einstellenden Bearbeitungsqualität an zu bearbeitenden Schaufelfüßen von Gasturbinen ist es aus dem Stand der Technik gemäß US 6,536,109 B2 bereits bekannt, die Schaufelfüße im Bereich ihrer profilierten Tragflächen durch sogenanntes Ultraschall-Kugelstrahlen zu verfestigen. So offenbart die US 6,536,109 B2 eine entsprechende Vorrichtung mit einer Ultraschall-Sonotrode, wobei die Ultraschall-Sonotrode eine horizontal bzw. waagrecht verlaufende, vibrierende bzw. schwingende Oberfläche aufweist, und wobei sich oberhalb dieser schwingenden Oberfläche eine Bearbeitungskammer erstreckt, in welcher Gasturbinenschaufeln mit ihren Schaufelfüßen zur Bearbeitung derselben im Bereich ihrer Tragflächen stehend angeordnet sind. Gemäß der US 6,536,109 B2 sind dabei die zu bearbeitenden Gasturbinenschaufeln derart stehend ausgerichtet, dass die zu bearbeitenden, profilierten Tragflächen der Schaufelfüße im wesentlichen senkrecht zu der schwingenden

Oberfläche der Ultraschall-Sonotrode verlaufen. Hiermit kann nur eine ungenügende Qualität beim Kugelstrahlen der profilierten Tragflächen der Schaufelfüße erreicht werden.

[0005] Hiervon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zu Grunde, ein neuartiges Verfahren und eine neuartige Vorrichtung zum Oberflächenstrahlen, insbesondere zum Ultraschall-Kugelstrahlen, von Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Schaufelfüße zu schaffen.

[0006] Dieses Problem wird durch ein Verfahren zum Oberflächenstrahlen, insbesondere zum Ultraschall-Kugelstrahlen, von Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Schaufelfüße im Sinne von Patentanspruch 1 gelöst. Erfindungsgemäß wird die oder jede Gasturbinenschaufel zum Oberflächenstrahlen derart ausgerichtet, dass beim Oberflächenstrahlen mindestens eine zu bearbeitende, profilierte Tragfläche des oder jedes Schaufelfußes zumindest zeitweise im wesentlichen parallel zu einer schwingenden Oberfläche des oder jeden Vibrators, insbesondere der oder jeder Ultraschall-Sonotrode, verläuft, wobei die schwingende Oberfläche des oder jeden Vibrators im wesentlichen in horizontaler bzw. waagrechtlicher Richtung ausgerichtet ist.

[0007] Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, zum Oberflächenstrahlen, insbesondere zum Ultraschall-Kugelstrahlen, die Gasturbinenschaufeln bzw. die Schaufelfüße derselben derart auszurichten, dass zumindest eine zu bearbeitende, vorzugsweise tannenbaumprofilierte bzw. schwalbenschwanzprofilierter Tragfläche der Schaufelfüße im Wesentlichen parallel zu der in horizontaler Richtung verlaufenden, schwingenden Oberfläche des Vibrators ausgerichtet ist. Die Gasturbinenschaufeln sind demnach nicht wie im Stand der Technik stehend, sondern vielmehr liegend in einer Bearbeitungskammer positioniert. Hiermit kann die Bearbeitungsqualität beim Oberflächenstrahlen der Tragflächen gegenüber dem Stand der Technik deutlich verbessert werden.

[0008] Nach einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung wird die oder jede Gasturbinenschaufel zum Oberflächenstrahlen um eine im wesentlichen parallel zu der schwingenden Oberfläche des oder jeden Vibrators, insbesondere der oder jeder Ultraschall-Sonotrode, verlaufende Achse gedreht.

[0009] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Oberflächenstrahlen, insbesondere zum Ultraschall-Kugelstrahlen, von Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Schaufelfüße ist im Patentanspruch 8 definiert.

[0010] Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung. Ausführungsbeispiele der Erfindung werden, ohne hierauf beschränkt zu sein, an Hand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine stark schematisierte Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Oberflächenstrahlen, insbesondere zum Ultraschall-

- Kugelstrahlen, von Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Schaufelfüße nach einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 2 eine stark schematisierte Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Oberflächenstrahlen, insbesondere zum Ultraschall-Kugelstrahlen, von Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Schaufelfüße nach einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 3 eine stark schematisierte Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Oberflächenstrahlen, insbesondere zum Ultraschall-Kugelstrahlen, von Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Schaufelfüße nach einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 4 eine stark schematisierte Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Oberflächenstrahlen, insbesondere zum Ultraschall-Kugelstrahlen, von Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Schaufelfüße nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung; und
- Fig. 5 eine Ansicht auf die Vorrichtung der Fig. 4 in Blickrichtung V gemäß Fig. 4.

[0011] Nachfolgend wird die hier vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf Fig. 1 bis 5 in größerem Detail beschrieben.

[0012] Fig. 1 zeigt stark schematisiert eine erfindungsgemäße Vorrichtung 10 zum Ultraschall-Kugelstrahlen von Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Schaufelfüße zusammen mit einer Gasturbinenschaufel 11. Die erfindungsgemäße Vorrichtung 10 verfügt über einen als Ultraschall-Sonotrode 12 ausgebildeten Vibrator mit einer im Wesentlichen in horizontaler Richtung bzw. waagrechtlicher Richtung verlaufenden, vibrierenden bzw. schwingenden Oberfläche 13. Oberhalb der schwingenden Oberfläche 13 der Ultraschall-Sonotrode 12 ist eine Bearbeitungskammer 14 positioniert, wobei in der Bearbeitungskammer 14 gemäß Fig. 1 eine Gasturbinenschaufel 11 mit ihrem Schaufelfuß 15 angeordnet ist. Seitlich ragt die im Bereich des Schaufelfußes 15 zu bearbeitende Gasturbinenschaufel 11 mit ihrem Schaufelblatt 16 aus der Bearbeitungskammer 14 heraus. Wie bereits erwähnt, wird die Bearbeitungskammer an ihrer Unterseite von der schwingenden Oberfläche 13 der Ultraschall-Sonotrode 12 begrenzt, seitlich sowie oben durch entsprechende Abdeckungen 17, 18 bzw. 19. Innerhalb der Bearbeitungskammer 14 sind eine Vielzahl von Kugeln positioniert, die von der schwingenden Oberfläche 13 der Ultraschall-Sonotrode beschleunigt und auf den zu bearbeitenden Schaufelfuß 15 der Gasturbinenschaufel 11 gerichtet werden. Unter dem Einfluss der Schwerkraft gelangen die Kugeln wieder in den Bereich der schwingenden Oberfläche 13, um dann erneut in Richtung auf den zu bearbeitenden Schaufelfuß 15 beschleunigt bzw. bewegt zu werden.

[0013] Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung wird die mit dem Schaufelfuß 15 in der Bearbeitungskammer

14 positionierte Gasturbinenschaufel 11 zum Ultraschall-Kugelstrahlen derart ausgerichtet, dass beim Strahlen mindestens eine zu bearbeitende, profilierte Tragfläche des Schaufelfußes 15 der Gasturbinenschaufel 11 parallel zu der waagrecht bzw. horizontal verlaufenden, schwingenden Oberfläche 13 der Ultraschall-Sonotrode 12 ausgerichtet ist. Die Gasturbinenschaufel 11 liegt demnach innerhalb der Bearbeitungskammer 14 derart, dass eine sich vom radial innenliegenden Ende des Schaufelfußes 15 in Richtung auf ein radial außenliegendes Ende des Schaufelblatts 16 erstreckende Achse im Unterschied zum Stand der Technik gemäß der US 6,536,109 B2 nicht senkrecht bzw. vertikal verläuft, sondern vielmehr horizontal bzw. waagrecht.

[0014] Bedingt durch die erfindungsgemäße Ausrichtung der Schaufelfüße während dem Ultraschall-Kugelstrahlen geben die über die Ultraschall-Sonotrode beschleunigten Kugeln ihren Impuls direkt auf die zu verfestigenden Tragflächen des Schaufelfußes ab. Hierdurch können hohe Verfestigungstiefen und Druckeigenspannungen an den Tragflächen des Schaufelfußes erzielt werden. Es stellt sich demnach eine direkte Verfestigung der zu strahlenden Tragflächen der Schaufelfüße ein. Es sind kürzere Bearbeitungszeiten bzw. Strahlzeiten realisierbar als beim Stand der Technik.

[0015] Da die Kugeln während des Strahlens von den Abdeckungen 17, 18 und 19 der Bearbeitungskammer 14 ebenso wie von der schwingenden Oberfläche 13 der Sonotrode 12 mit unterschiedlichen Winkeln reflektiert werden, werden die Kugeln nicht in einer Vorzugsrichtung auf die zu bearbeitenden Tragflächen des Schaufelfußes 15 gerichtet, sondern vielmehr mit unterschiedlichen Winkeln. Hierdurch kommt es zu einer effizienten Verfestigung an den Tragflächen der Schaufelfüße.

[0016] Im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 ist lediglich eine Gasturbinenschaufel 11 mit dem an den Tragflächen zu bearbeitenden Schaufelfuß innerhalb der Bearbeitungskammer 14 positioniert. Fig. 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 20 zum Kugelstrahlen von Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Schaufelfüße, wobei in der Bearbeitungskammer 14 der Vorrichtung 20 im Ausführungsbeispiel der Fig. 2 zwei Gasturbinenschaufeln 11 mit ihren Schaufelfüßen 15 im Sinne der hier vorliegenden Erfindung zum Ultraschall-Kugelstrahlen derart positioniert bzw. ausgerichtet sind, dass beim Strahlen die zu strahlende Tragfläche der Schaufelfüße 15 im Wesentlichen parallel zur schwingenden Oberfläche 13 der Ultraschall-Sonotrode 12 verläuft. Hinsichtlich der weiteren Details stimmt jedoch die Vorrichtung der Fig. 2 mit der Vorrichtung der Fig. 1 überein, sodass für gleiche Baugruppen gleiche Bezugsziffern verwendet werden.

[0017] Fig. 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 21 zum Kugelstrahlen von Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Schaufelfüße, wobei auch im Zusammenhang mit dem Ausführungsbeispiel der Fig. 3 zur Vermeidung unnötiger Wiederholungen für gleiche Baugruppen gleiche Be-

zugsziffern verwendet werden. Das Ausführungsbeispiel der Fig. 3 unterscheidet sich vom Ausführungsbeispiel der Fig. 1 im Wesentlichen dadurch, dass die gezeigte Gasturbinenschaufel 11 innerhalb der Bearbeitungskammer 14 beim Kugelstrahlen derart gegenüber der schwingenden Oberfläche 13 der Ultraschall-Sonotrode 12 ausgerichtet ist, dass eine Tangente an Vorsprünge einer der schwingenden Oberfläche 13 gegenüberliegenden Tragfläche des Schaufelfußes 15 im Wesentlichen parallel zu der schwingenden Oberfläche 13 und damit im Wesentlichen in horizontaler Richtung verläuft. Hierzu verfügt die erfindungsgemäße Vorrichtung 21 über eine Einrichtung 22 zum Kippen bzw. Schwenken der Gasturbinenschaufel 11 innerhalb der Bearbeitungskammer 14.

[0018] Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass im Zusammenhang mit den Ausführungsbeispielen gemäß Fig. 1 bis 3 während des Ultraschall-Kugelstrahlens alle gezeigten Gasturbinenschaufel 11 um eine im Wesentlichen parallel zu der schwingenden Oberfläche 13 der Ultraschall-Sonotrode 12 verlaufende und damit in horizontaler Richtung verlaufender Achse gedreht werden können. Das Drehen der Schaufelfüße um diese im Wesentlichen in horizontaler Richtung verlaufender Achse kann entweder während des Kugelstrahlens kontinuierlich oder intermittierend bzw. diskontinuierlich durchgeführt werden. Hierdurch ist gewährleistet, dass sämtliche zu strahlenden Tragflächen gleichmäßig durch die über die Ultraschall-Sonotrode 12 beschleunigten Kugeln gestrahlt werden.

[0019] Fig. 4 und 5 zeigen ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 23 zum Kugelstrahlen von Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Schaufelfüße, wobei die Vorrichtung 23 gemäß Fig. 4 und 5 wiederum über eine Ultraschall-Sonotrode 24 mit einer sich im Wesentlichen in horizontaler bzw. waagrechtlicher Richtung erstreckenden, schwingenden Oberfläche 25 verfügt. Oberhalb der schwingenden Oberfläche 25 der Ultraschall-Sonotrode 24 ist wiederum eine Bearbeitungskammer 26 positioniert, die in Fig. 5 stark schematisiert dargestellt ist. Innerhalb der Bearbeitungskammer 26 werden im Ausführungsbeispiel der Fig. 4 und 5 zwei Gasturbinenschaufeln 11 im Bereich ihrer Schaufelfüße 15 gestrahlt, wobei die Gasturbinenschaufeln 11 zum Ultraschall-Kugelstrahlen wiederum derart ausgerichtet sind, dass beim Strahlen mindestens eine zu bearbeitende, insbesondere tannenbaumprofilerte bzw. schwalbenschwanzprofilerte Tragfläche der Schaufelfüße 15 zumindest zeitweise im Wesentlichen parallel zu der schwingenden, sich in horizontaler Richtung erstreckenden Oberfläche 25 der Ultraschall-Sonotrode 24 verläuft.

[0020] Im Ausführungsbeispiel der Fig. 4 und 5 verfügt die erfindungsgemäße Vorrichtung 23 über einen revolverartig drehbaren Träger 27, der im Sinne des Pfeils 28 um eine Achse 29 drehbar ist. Über den Umfang des Trägers 27 verteilt, sind mehrere Drehteller 30 zur Aufnahme von Gasturbinenschaufeln 11 angeordnet. Alle

Drehteller 30 sind einerseits in Richtung des Pfeils 28 gemeinsam um die Achse 29 drehbar, andererseits ist jeder der Drehteller 30 individuell im Sinne eines Pfeils 31 drehbar, nämlich dann, wenn sich der entsprechende Drehteller 30 zur Bearbeitung der auf dem Drehteller 30 positionierten Gasturbinenschaufeln 11 im Bereich der Bearbeitungskammer 26 und damit der Ultraschall-Sonotrode 24 befindet. Über das Drehen des revolverartigen Trägers 27 im Sinne des Pfeils 28 ist demnach immer ein Drehteller 30 zusammen mit den auf dem Drehteller 30 positionierten Gasturbinenschaufeln 11 in die Bearbeitungsstation 26 hineinbewegbar bzw. aus derselben herausbewegbar. Während des Bearbeitens von zwei Gasturbinenschaufeln innerhalb der Bearbeitungsstation 26 ist der entsprechende Drehteller 30 im Sinne des Pfeils 31 drehbar, um so ein gleichmäßiges Strahlen aller Tragflächen der Schaufelfüße 15 der Gasturbinenschaufeln 11 zu gewährleisten.

[0021] Allen Ausführungsbeispielen ist gemeinsam, dass zum Ultraschall-Kugelstrahlen von Gasturbinenschaufeln 11 im Bereich ihrer Schaufelfüße 15 dieselben derart relativ zu einer im Wesentlichen in horizontaler Richtung verlaufenden, schwingenden Oberfläche 13 einer Ultraschall-Sonotrode 12 ausgerichtet werden, dass die zu strahlenden, insbesondere tannenbaumprofilerten bzw. schwalbenschwanzprofilerten Tragflächen der Schaufelfüße 15 parallel zur schwingenden Oberfläche 13 ausgerichtet sind. Die Gasturbinenschaufeln 11 sind demnach nicht stehend innerhalb der Bearbeitungskammer ausgerichtet, sondern vielmehr liegend mit einer horizontal verlaufenden Längsachse, die sich zwischen dem radial innenliegenden Ende des Schaufelfußes und dem radial außenliegenden Ende des Schaufelblatts der Gasturbinenschaufeln erstreckt. Um diese Längsachse sind die Gasturbinenschaufeln während des Kugelstrahlens drehbar.

[0022] In den gezeigten Ausführungsbeispielen umfassen die erfindungsgemäßen Vorrichtungen lediglich immer nur eine Sonotrode, die unterhalb der Bearbeitungskammer angeordnet ist. Es sei darauf hingewiesen, dass selbstverständlich auch mehrere Sonotroden im Bereich einer Bearbeitungskammer 26 angeordnet werden können, wobei dann vorzugsweise eine Sonotrode bzw. eine schwingende Oberfläche der Sonotroden unterhalb und eine andere oberhalb der Bearbeitungskammer angeordnet ist.

[0023] Mit der hier vorliegenden Erfindung ist gegenüber dem Stand der Technik eine optimierten Verfestigungstiefe sowie eine erhöhte Druckeigenspannung beim Ultraschall-Kugelstrahlen erreichbar. Dies wird durch die erfindungsgemäße Ausrichtung der Schaufelfüße während des Ultraschall-Kugelstrahlens erzielt. Durch ein Rotieren bzw. Drehen der Schaufelfüße während des Ultraschall-Kugelstrahlens kann die Qualität der gestrahlten Oberfläche nochmals verbessert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Oberflächenstrahlen, insbesondere zum Ultraschall-Kugelstrahlen, von Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Schaufelfüße, wobei mit Hilfe mindestens eines Vibrators, insbesondere mindestens einer Ultraschall-Sonotrode, beschleunigte Kugeln auf einen Schaufelfuß mindestens einer Gasturbinenschaufel gerichtet werden, um denselben im Bereich mindestens einer profilierten, insbesondere tannenbaumprofilierten oder schwalbenschwanzprofilierten, Tragfläche zu bearbeiten, **dadurch gekennzeichnet, dass** die oder jede Gasturbinenschaufel zum Oberflächenstrahlen derart ausgerichtet wird, dass beim Strahlen mindestens eine zu bearbeitende, profilierte Tragfläche des oder jedes Schaufelfußes zumindest zeitweise im wesentlichen parallel zu einer schwingenden Oberfläche des oder jeden Vibrators, insbesondere der oder jeder Ultraschall-Sonotrode, verläuft.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der oder jeder Vibrator, insbesondere die oder jede Ultraschall-Sonotrode, derart positioniert wird, dass eine schwingende Oberfläche des oder jeden Vibrators im wesentlichen in horizontaler Richtung verläuft.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Kugelstrahlen die oder jede Gasturbinenschaufel derart ausgerichtet wird, dass mindestens eine zu bearbeitende, profilierte Tragfläche zumindest zeitweise im wesentlichen parallel zur schwingenden Oberfläche des oder jeden Vibrators, insbesondere der oder jeder Ultraschall-Sonotrode, und damit im wesentlichen in horizontaler Richtung verläuft.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die oder jede Gasturbinenschaufel zum Kugelstrahlen derart ausgerichtet wird, dass beim Strahlen eine Tangente an Vorsprünge einer profilierten Tragfläche zumindest zeitweise im wesentlichen parallel zu der schwingenden Oberfläche eines Vibrators, insbesondere einer Ultraschall-Sonotrode, verläuft.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die oder jede Gasturbinenschaufel zum Kugelstrahlen derart liegend ausgerichtet wird, dass eine sich vom radial innenliegenden Ende eines Schaufelfußes in Richtung auf ein radial außenliegendes Ende eines Schaufelblatts erstreckende Achse im wesentlichen parallel zur schwingenden Oberfläche des oder jeden Vibrators, insbesondere der oder jeder Ultraschall-Sonotrode, verläuft.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die oder jede Gasturbinenschaufel zum Kugelstrahlen um eine im wesentlichen parallel zu der schwingenden Oberfläche des oder jeden Vibrators, insbesondere der oder jeder Ultraschall-Sonotrode, verlaufende Achse gedreht wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die oder jede Gasturbinenschaufel zum Kugelstrahlen um die sich vom radial innenliegenden Ende des Schaufelfußes in Richtung auf das radial außenliegende Ende des Schaufelblatts erstreckende Achse gedreht wird.
8. Vorrichtung zum Oberflächenstrahlen, insbesondere zum Ultraschall-Kugelstrahlen, von Gasturbinenschaufeln (11) im Bereich ihrer Schaufelfüße (15), mit mindestens einem, eine schwingende Oberfläche (13, 25) aufweisenden Vibrator, insbesondere mit mindestens einer Ultraschall-Sonotrode (12, 24), wobei der oder jeder Vibrator derart ausgerichtet ist, dass die schwingende Oberfläche des oder jedes Vibrators im wesentlichen in horizontaler Richtung verläuft, wobei sich an die oder jede schwingende Oberfläche eine Bearbeitungskammer (14, 26) zur Aufnahme des oder jedes zu bearbeitenden Schaufelfußes (15) anschließt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bearbeitungskammer (14, 26) im Bereich wenigstens einer ihrer Abdeckungen (17, 18, 19) mindestens eine Aussparung oder Öffnung zum Hinein- und Herausbewegen des Schaufelfußes (15) wenigstens einer Gasturbinenschaufel (11) aufweist, und dass zumindest eine Einrichtung (22, 27, 30) zum Bewegen und Positionieren vorhanden ist, mit welcher die oder jede Gasturbinenschaufel (11) zum Oberflächenstrahlen derart ausrichtbar ist, dass beim Strahlen mindestens eine zu bearbeitende, profilierte Tragfläche des oder jedes Schaufelfußes (15) zumindest zeitweise im wesentlichen parallel zu der schwingenden Oberfläche (13, 25) des oder jedes Vibrators, insbesondere der oder jeder Ultraschall-Sonotrode (12, 24), verläuft.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bearbeitungskammer (14, 26) derart ausgebildet ist, dass die oder jede Gasturbinenschaufel (11) zum Kugelstrahlen derart liegend ausrichtbar ist, dass eine sich vom radial innenliegenden Ende eines Schaufelfußes in Richtung auf ein radial außenliegendes Ende eines Schaufelblatts erstrek-

kende Achse im wesentlichen parallel zur schwingenden Oberfläche des oder jeden Vibrators, insbesondere der oder jeder Ultraschall-Sonotrode, verläuft.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass die oder jede Gasturbinenschaufel (11) innerhalb der Bearbeitungskammer (14, 26) zum Kugelstrahlen um eine im wesentlichen parallel zu der schwingenden Oberfläche (13, 25) des oder jeden Vibrators, insbesondere der oder jeder Ultraschall-Sonotrode (12, 24), verlaufende Achse drehbar ist, vorzugsweise um die sich vom radial innenliegenden Ende des Schaufelfußes (15) in Richtung auf das radial außenliegende Ende des Schaufelblatts (16) erstreckende Achse.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10,
gekennzeichnet durch
einen revolverartig drehbaren Träger (27), auf dem in Umfangsrichtung mehrere Gasturbinenschaufeln (11) positioniert sind, wobei durch Drehen des Trägers (27) jeweils mindestens eine Gasturbinenschaufel in die Bearbeitungskammer (26) gebracht bzw. aus dieser entfernt werden kann.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Träger (27) mehrere in Umfangsrichtung voneinander beabstandete Drehteller (30) zur Aufnahme von vorzugsweise jeweils zwei Gasturbinenschaufeln (11) aufweist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass jeder Drehteller (30) einerseits um eine individuelle Drehtellerachse drehbar ist, und dass andererseits alle Drehteller (30) gemeinsam um eine Achse des revolverartigen Trägers (27) drehbar sind.

Claims

1. Method of surface blasting, in particular ultrasonically shot peening, gas turbine blades in the area of their blade roots, whereby accelerated spheres are directed towards a blade root of at least one gas turbine blade with the aid of at least one vibrator, in particular at least one ultrasonic sonotrode, in order to process it in the area of at least one profiled support surface, in particular profiled to a fir tree design or profiled to a dove tail design,
characterised in that
the or each gas turbine blade is oriented such for the purpose of surface blasting that at least one profiled support surface of the or each blade root which has to be processed extends essentially parallel with an

oscillating surface of the or each vibrator, in particular of the or each ultrasonic sonotrode, at least some of the time during blasting.

2. Method as claimed in claim 1,
characterised in that
the or each vibrator, in particular the or each ultrasonic sonotrode, is positioned so that an oscillating surface of the or each vibrator extends essentially in the horizontal direction.
3. Method as claimed in claim 1 or 2,
characterised in that for the shot peening process, the or each gas turbine blade is oriented so that at least one profiled support surface which has to be processed extends essentially parallel with the oscillating surface of the or each vibrator, in particular of the or each ultrasonic sonotrode, and hence in the essentially horizontal direction for at least some of the time.
4. Method as claimed in one of claims 1 to 3,
characterised in that
for the shot peening process, the or each gas turbine blade is oriented so that a tangent at projections of a profiled support surface extends essentially parallel with the oscillating surface of a vibrator, in particular of an ultrasonic sonotrode, at least some of the time.
5. Method as claimed in one of claims 1 to 3,
characterised in that
the or each gas turbine blade is positioned lying down for the shot peening process so that an axis extending from the end of a blade root lying radially inwards in the direction towards an end of the blade vane lying radially outwards extends essentially parallel with the oscillating surface of the or reach vibrator, in particular of the or each ultrasonic sonotrode.
6. Method as claimed in one of claims 1 to 5,
characterised in that for the shot peening process, the or each gas turbine blade is rotated about an axis extending essentially parallel with the oscillating surface of the or each vibrator, in particular of the or each ultrasonic sonotrode.
7. Method as claimed in claim 6,
characterised in that
for the shot peening process, the or each gas turbine blade is rotated about an axis extending from the end of the blade root lying radially inwards towards the end of the blade vane lying radially outwards.
8. Device for surface blasting, in particular ultrasonically shot peening, gas turbine blades (11) in the area of their blade roots (15), with at least one vibrator with an oscillating surface (13, 25), in particular with

at least one ultrasonic sonotrode (12, 24), and the or each vibrator is oriented so that the oscillating surface of the or each vibrator extends essentially in the horizontal direction, and the or each oscillating surface is adjoined by a processing chamber (14, 26) for accommodating the or each blade root (15) which has to be processed,

characterised in that

the processing chamber (14, 26) has at least one cut-out or opening in the region of at least one of its covers (17, 18, 19) for moving the blade root (15) of at least one gas turbine blade (11) in and out, and at least one mechanism (22, 27, 30) is provided for displacement and positioning purposes by means of which the or each gas turbine blade (11) can be oriented for the surface blasting process so that at least one profiled support surface of the or each blade root (15) which has to be processed extends essentially parallel with the oscillating surface (13, 25) of the or each vibrator, in particular of the or each ultrasonic sonotrode (12, 24), for at least some of the time.

9. Device as claimed in claim 8,

characterised in that

the processing chamber (14, 26) is designed so that the or each gas turbine blade (11) can be oriented in such a way for the shot peening process that an axis extending from the end of a blade root lying radially inwards in the direction towards an end of a blade vane lying radially outwards extends essentially parallel with the oscillating surface of the or each vibrator, in particular of the or each ultrasonic sonotrode.

10. Device as claimed in claim 8 or 9,

characterised in that for the shot peening process, the or each gas turbine blade (11) can be rotated inside the processing chamber (14, 26) about an axis extending essentially parallel with the oscillating surface (13, 25) of the or each vibrator, in particular of the or each ultrasonic sonotrode (12, 24), preferably about the axis extending from the end of the blade root (15) lying radially inwards in the direction towards the end of the blade vane (16) lying radially outwards.

11. Device as claimed in one of claims 8 to 10,

characterised by

a revolver-type rotatable support (27), on which several gas turbine blades (11) are positioned in the circumferential direction and when the support (27) is rotated, at least one of the gas turbine blades can be moved respectively into the processing chamber (26) or moved out of it.

12. Device as claimed in claim 11,

characterised in that

the support (27) has several rotating plates (30)

spaced apart from one another in the circumferential direction for accommodating preferably two gas turbine blades (11) respectively.

13. Device as claimed in claim 12,

characterised in that

every rotating plate (30) can be rotated about an individual rotating plate axis on the one hand and all the rotating plates (30) can be jointly rotated about an axis of the revolver-type support (27) on the other hand.

Revendications

1. Procédé pour le grenaillage de surface, en particulier pour le grenaillage à billes par ultrasons d'aubes de turbines à gaz au niveau des pieds d'aubes, où, à l'aide d'au moins un vibreur, en particulier d'au moins une sonotrode à ultrasons, des billes sont projetées de manière accélérée sur un pied d'au moins une aube de turbine à gaz, pour traiter celui-ci dans la zone d'au moins une surface de support profilée, en particulier profilée en forme de sapin ou en queue d'aronde, **caractérisé en ce que** l'aube ou chaque aube de turbine à gaz est orientée pour le grenaillage de surface de telle manière que, lors du grenaillage, au moins une surface de support profilée du pied ou de chaque pied d'aube à traiter s'étende au moins temporairement sensiblement parallèlement à une surface oscillante du vibreur ou de chaque vibreur, en particulier de la sonotrode ou de chaque sonotrode à ultrasons.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le vibreur ou chaque vibreur, en particulier la sonotrode ou chaque sonotrode à ultrasons, est positionné de telle manière qu'une surface oscillante du vibreur ou de chaque vibreur s'étende sensiblement horizontalement.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisé en ce que** l'aube ou chaque aube de turbine à gaz est orientée pour le grenaillage par billes de telle manière qu'au moins une surface de support profilée à traiter s'étende au moins temporairement sensiblement parallèlement à la surface oscillante du vibreur ou de chaque vibreur, en particulier de la sonotrode ou de chaque sonotrode à ultrasons, et donc sensiblement horizontalement.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'aube ou chaque aube de turbine à gaz est orientée pour le grenaillage par billes de telle manière que, lors du grenaillage, une tangente à des saillies d'une surface de support profilée s'étende au moins temporairement sensiblement parallèlement à la surface oscillante d'un vibreur,

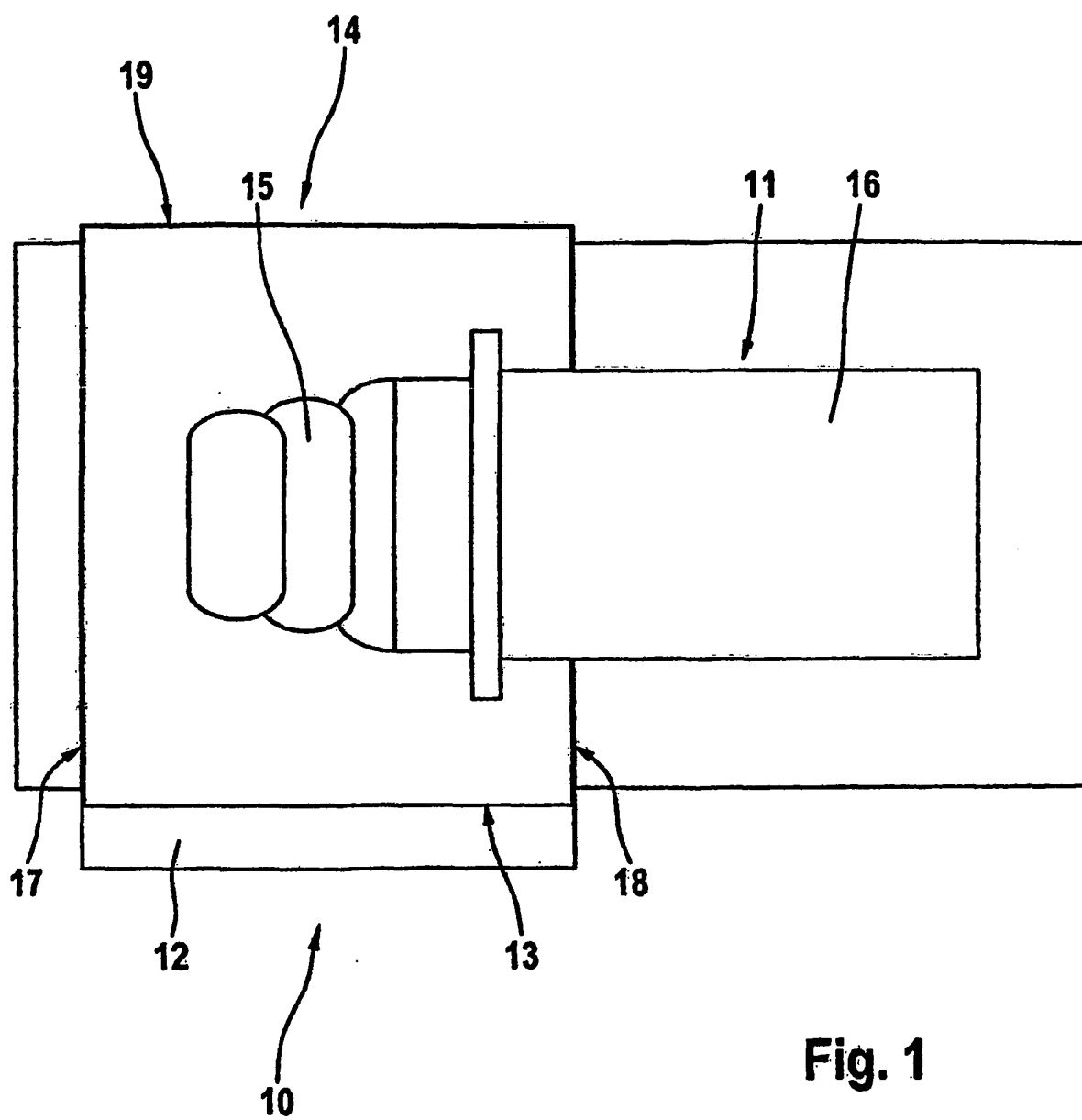
en particulier d'une sonotrode à ultrasons.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'aube ou chaque aube de turbine à gaz est orientée à plat pour le grenaillage par billes de telle manière qu'un axe allant de l'extrémité intérieure dans le sens radial d'un pied d'aube vers une extrémité extérieure dans le sens radial d'une pale s'étende sensiblement parallèlement à la surface oscillante du vibreur ou de chaque vibreur, en particulier de la sonotrode ou de chaque sonotrode à ultrasons. 5 10
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** l'aube ou chaque aube de turbine à gaz est tournée pour le grenaillage par billes autour d'une surface sensiblement parallèle à la surface oscillante du vibreur ou de chaque vibreur, en particulier de la sonotrode ou de chaque sonotrode à ultrasons. 15 20
7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'aube ou chaque aube de turbine à gaz est tournée pour le grenaillage par billes autour de l'axe allant de l'extrémité intérieure dans le sens radial du pied d'aube vers l'extrémité extérieure dans le sens radial de la pale. 25
8. Dispositif pour le grenaillage de surface, en particulier pour le grenaillage à billes par ultrasons d'aubes (11) de turbines à gaz au niveau des pieds d'aubes (15), comprenant au moins un vibreur présentant une surface oscillante (13, 25), en particulier avec au moins une sonotrode à ultrasons (12, 24), où la surface oscillante du vibreur ou de chaque vibreur s'étend sensiblement horizontalement, un compartiment de traitement (14, 26) pour le logement du pied d'aube ou de chaque pied d'aube (15) à traiter étant contigu à la surface oscillante ou à chaque surface oscillante, **caractérisé en ce que** le compartiment de traitement (14, 26) comporte dans la zone d'au moins un couvercle intérieur (17, 18, 19) au moins un évidement ou une ouverture pour l'introduction et l'extraction du pied d'aube (15) d'au moins une aube (11) de turbine à gaz, et **en ce qu'** au moins un dispositif (22, 27, 30) est prévu pour le déplacement et le positionnement, au moyen duquel l'aube ou chaque aube (11) de turbine à gaz est orientable pour le grenaillage de surface de telle manière que, lors du grenaillage, au moins une surface de support profilée du pied ou de chaque pied d'aube (15) à traiter s'étende au moins temporairement sensiblement parallèlement à la surface oscillante (13, 25) du vibreur ou de chaque vibreur, en particulier de la sonotrode ou de chaque sonotrode à ultrasons (12, 24). 30 35 40 45 50 55

9. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé en**

ce que le compartiment de traitement (14, 26) est réalisé de telle manière que l'aube ou chaque aube (11) de turbine à gaz est orientée à plat pour le grenaillage par billes de telle manière qu'un axe allant de l'extrémité intérieure dans le sens radial d'un pied d'aube vers une extrémité extérieure dans le sens radial d'une pale s'étende sensiblement parallèlement à la surface oscillante du vibreur ou de chaque vibreur, en particulier de la sonotrode ou de chaque sonotrode à ultrasons.

10. Dispositif selon la revendication 8 ou la revendication 9, **caractérisé en ce que** l'aube ou chaque aube (11) de turbine à gaz peut à l'intérieur du compartiment de traitement (14, 26) être tournée pour le grenaillage par billes autour d'un axe s'étendant sensiblement parallèlement à la surface oscillante (13, 25) du vibreur ou de chaque vibreur, en particulier de la sonotrode ou de chaque sonotrode à ultrasons (12, 24), de préférence autour de l'axe allant de l'extrémité intérieure dans le sens radial du pied d'aube (15) vers l'extrémité extérieure dans le sens radial de la pale (16). 10 15 20 25
11. Dispositif selon l'une des revendications 8 à 10, **caractérisé par** un support (27) rotatif de type revolver, sur lequel plusieurs aubes (11) de turbine à gaz peuvent être positionnées circonférentiellement, chaque rotation du support (27) permettant à au moins une aube de turbine à gaz d'être introduite dans le compartiment de traitement (26) ou d'être extraite de celui-ci. 30 35 40
12. Dispositif selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le support (27) comporte plusieurs plateaux rotatifs (30) espacés circonférentiellement entre eux pour la réception chacun de deux aubes (11) de turbine à gaz, de préférence. 45
13. Dispositif selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** chaque plateau rotatif (30) peut tourner autour d'un axe individuel de plateau rotatif, d'une part, et **en ce que** tous les plateaux rotatifs (30) peuvent tourner ensemble autour d'un axe du support (27) de type revolver, d'autre part. 50 55



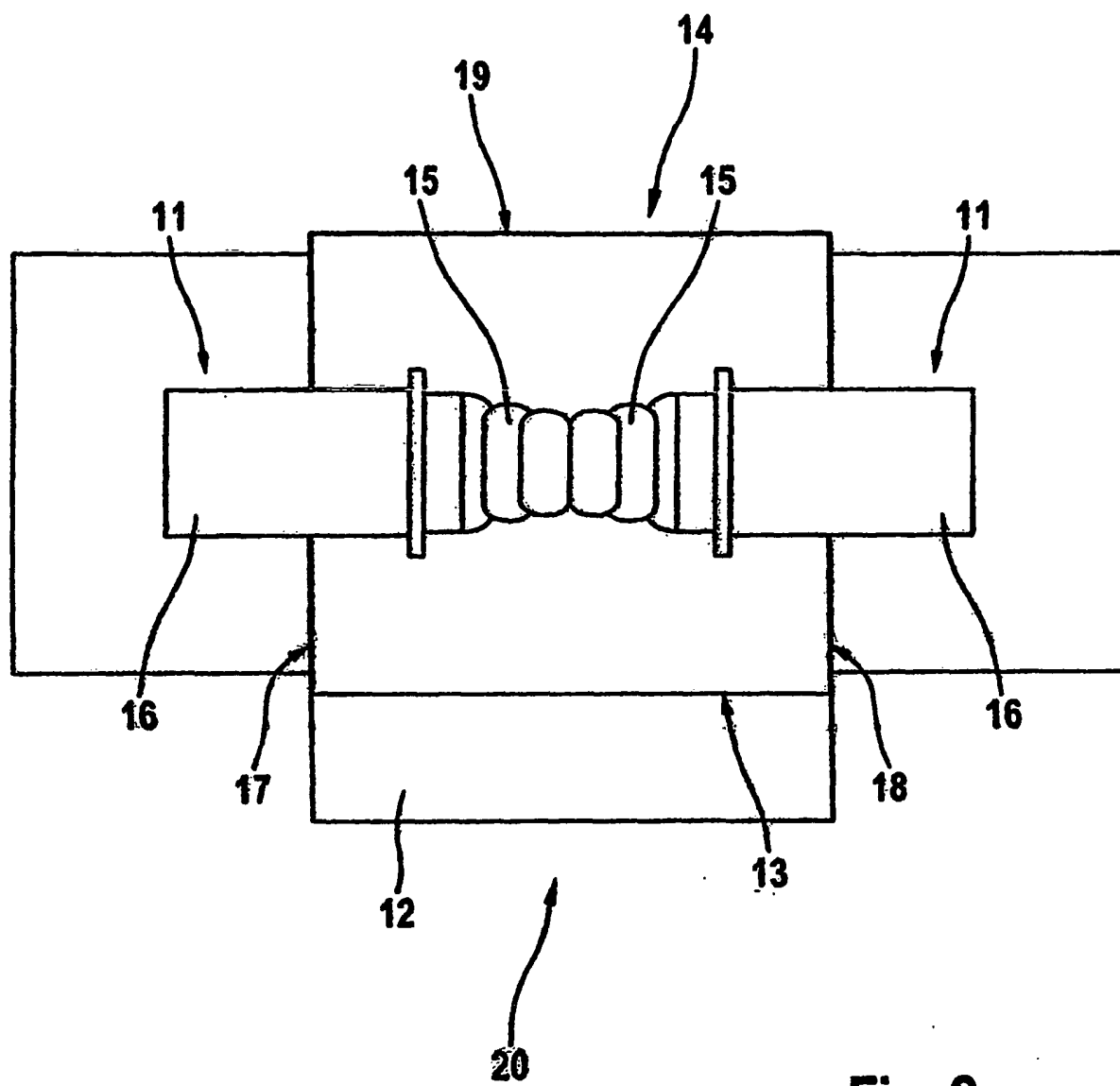


Fig. 2

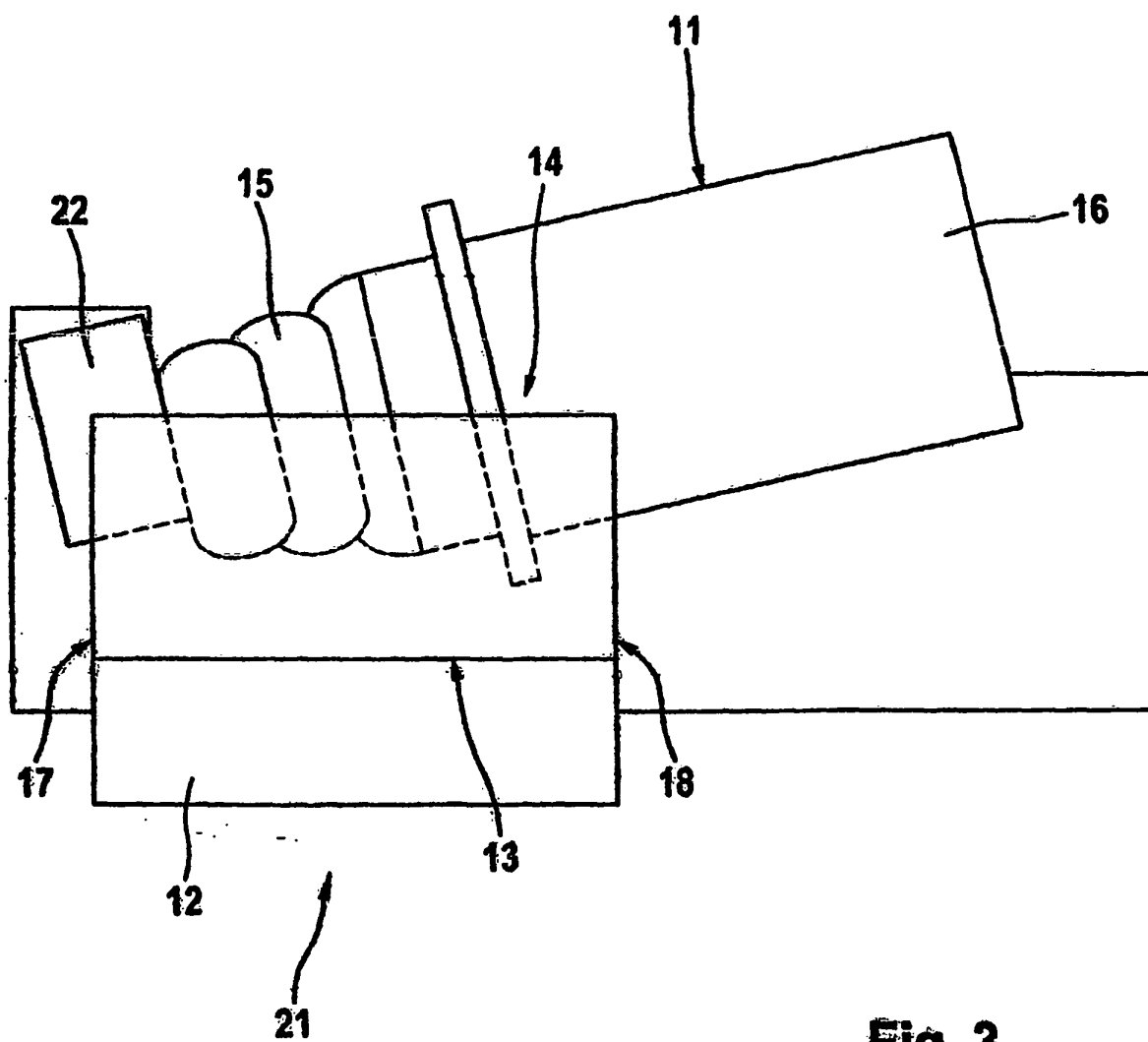
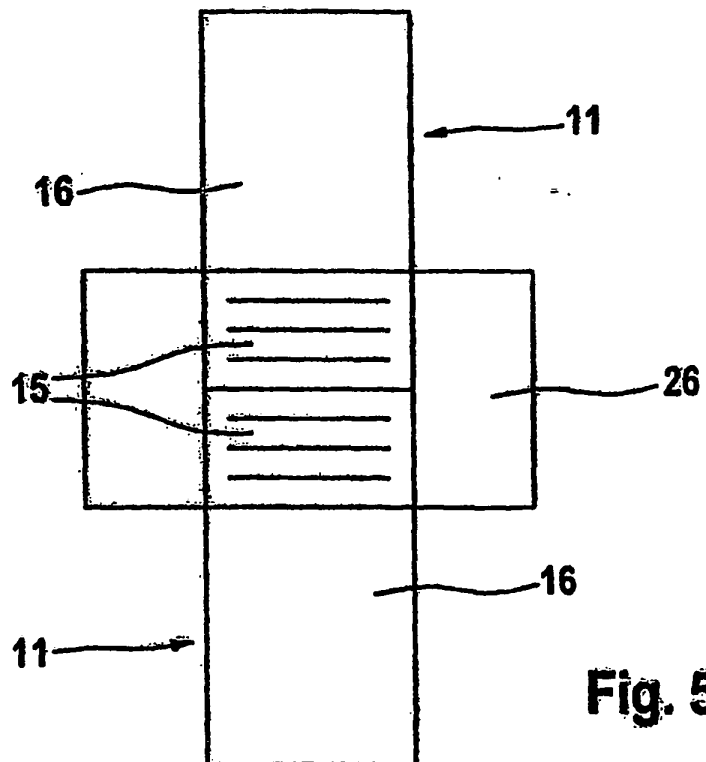
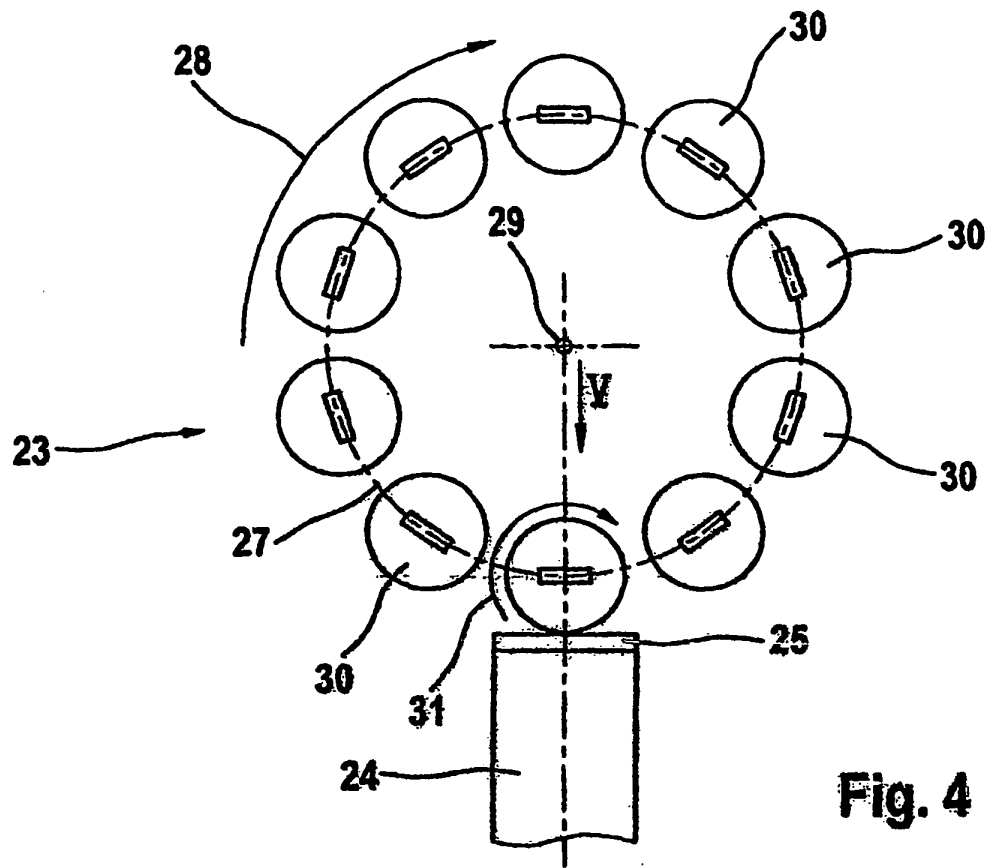


Fig. 3



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 6536109 B2 [0004] [0004] [0004] [0013]