(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 696 876 A5

(51) Int. Cl.: B23C 3/18 (2006.01)
B23P 15/02 (2006.01)

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

# (12) PATENTSCHRIFT

(21) Gesuchsnummer: 00139/03

(22) Anmeldedatum: 31.01.2003

(24) Patent erteilt: 15.01.2008

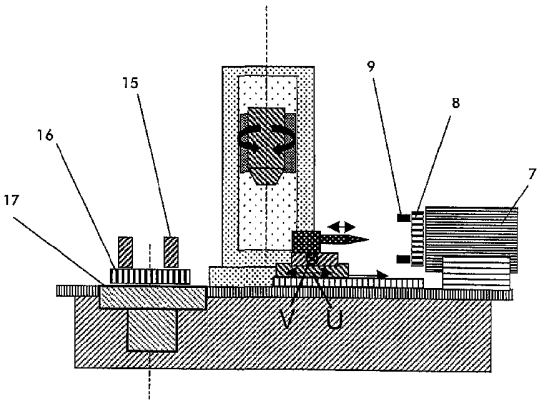
(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.01.2008

(73) Inhaber:
ALSTOM Technology Ltd, Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden (CH)

(72) Erfinder:
Prof. Dr. Josef Scherer, 60529 Frankfurt (DE)
Hans Volker Boehm, 66424 Homburg/Saar (DE)
Volker Dietmar Harr, 67346 Speyer (CH)

## (54) Verfahren und Vorrichtung zur Rundum-Bearbeitung eines Rohlings.

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Rundum-Bearbeitung eines Rohlings (38) mit einer Bearbeitungsmaschine wie beispielsweise einer Fräsmaschine, wobei die Rundum-Bearbeitung nach Massgabe einer dreidimensionalen Vorlage (28) geschieht. Das Verfahren lässt sich präziser, schneller und kostengünstiger durchführen, wenn in einem ersten Schritt die Raumform und gegebenenfalls zudem die Oberflächenbeschaffung der dreidimensionalen Vorlage (28) automatisch vermessen wird, und die zugehörigen Daten abgespeichert werden, in einem zweiten Schritt ein Rohling (38) von wenigstens einem Spannadapter (10, 27, 35, 36) gehalten wird und von der Bearbeitungsmaschine respektive der Fräsmaschine unter Verwendung der genannten Daten zur numerischen Steuerung ein erster Bereich in seine endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Teilform gebracht wird, und in einem dritten Schritt der teilbearbeitete Rohling von wenigstens einem Spannadapter (27, 35) im ersten, endgültig bearbeiteten Bereich gehalten wird und der übrige Bereich von derselben Bearbeitungsmaschine respektive Fräsmaschine unter Verwendung der genannten Daten zur numerischen Steuerung in seine endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Gesamtform gebracht wird.



## Beschreibung

### Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Rundum-Bearbeitung eines Rohlings mit einer Bearbeitungsmaschine wie beispielsweise einer Fräsmaschine, wobei die Rundum-Bearbeitung nach Massgabe einer dreidimensionalen Vorlage geschieht. Zudem betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung eines derartigen Verfahrens.

### Stand der Technik

**[0002]** Im Bereich der Herstellung von Turbinenschaufeln wird üblicherweise mit einer Mehrspindelbearbeitung gearbeitet. Dies bedeutet, dass ein Rohling zunächst einer groben Vorbearbeitung unterzogen wird, anschliessend der Blattbereich im Detail ausgearbeitet wird, dann der Kopf und zuletzt der Fuss gefertigt wird. Zwischen diesen einzelnen Bearbeitungsschritten muss das Werkstück jeweils von Hand oder durch einen Roboter umgespannt werden, dies, weil sowohl häufig die Fräsmaschinen nur in der Lage sind, einzelne Bearbeitungsschritte durchzuführen, und insbesondere weil jede Fassung respektive Halterung des Werkstückes immer nur die Bearbeitung eines bestimmten Bereichs erlaubt. Diese Art der Fertigung wird üblicherweise als sogenannte «Kistenfertigung» bezeichnet, da üblicherweise jeweils eine Maschine für einen bestimmten Bearbeitungsschritt verantwortlich zeichnet, und weil nach jedem Bearbeitungsschritt das Werkstück in einer Kiste zwischengelagert wird.

**[0003]** Problematisch an einer derartigen Fertigung ist unter anderem die Tatsache, dass die Geschwindigkeit einer solchen Fertigungsstrasse stets von der Geschwindigkeit des langsamsten Bearbeitungsschrittes bestimmt wird. Ausserdem erfordert die Vielzahl von Transferprozessen von Werkstücken zwischen den einzelnen Einheiten wie Fräsmaschinen, Messstation, Waschstationen etc. aufwändige Einrichtungen und führt zu erheblichen Zeitverlusten im Herstellungsprozess.

**[0004]** Die Problematik wird verschärft, wenn es darum geht, im Rahmen von Servicehandlungen an einer Gasturbine oder Dampfturbine beispielsweise Laufschaufeln oder Leitschaufeln, welche nicht aus der eigenen Produktion stammen, zu ersetzen. Die Fertigung von solchen Einzelstücken, respektive Kleinserien, zu welchen keine entsprechenden Zeichnungen respektive elektronische Daten zur Verfügung stehen, ist äusserst aufwändig und entsprechend kostenintensiv. Das alte Konzept, Serviceschaufeln auf alten, meist abgeschriebenen Maschinen in Niedriglohnländern herzustellen, ist nicht mehr marktgerecht, weil

- die Reaktionszeit für ein Angebot zu lang ist,
- die Lieferzeiten z.B. für USA viel zu lang sind (heute 14–18 Wochen)
- nicht sichergestellt ist, dass der Kunde eine optimale Schaufel erhält (wirkungsgradoptimiert oder -kontrolliert)
- die Herstellkosten aufgrund der alten Produktionstechnik zu hoch sind

### Darstellung der Erfindung

**[0005]** Der Erfindung liegt demnach die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, welches die eingangs genannten Nachteile des Standes der Technik zu beheben vermag. Es geht dabei ganz allgemein um ein Verfahren zur Rundum-Bearbeitung eines Rohlings mit einer Bearbeitungsmaschine wie beispielsweise einer Fräsmaschine, wobei die Rundum-Bearbeitung nach Massgabe einer dreidimensionalen Vorlage geschieht.

**[0006]** Die Lösung dieser Aufgabe wird dadurch erreicht, dass in einem ersten Schritt die Raumform und gegebenenfalls zudem die Oberflächenbeschaffung der dreidimensionalen Vorlage automatisch vermessen wird und die zugehörigen Daten abgespeichert werden. Anschliessend wird in einem zweiten Schritt ein Rohling, wobei es sich dabei um einen Rohling aus Metall oder aus einem Keramikwerkstoff handeln kann, und der Rohling rechteckige oder zylindrische oder polyederförmige, insbesondere quaderförmige, Form haben kann und ein Guss- oder Schmiederohling sein kann, von wenigstens einem Spannadapter gehalten und von der Bearbeitungsmaschine respektive der Fräsmaschine unter Verwendung der genannten Daten zur numerischen Steuerung bearbeitet. Dabei wird ein erster Bereich in seine endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Teilform gebracht. In einem nachfolgenden dritten Schritt wird der teilbearbeitete Rohling von wenigstens einem Spannadapter im ersten, endgültig bearbeiteten Bereich gehalten und der übrige Bereich insbesondere bevorzugt von derselben Bearbeitungsmaschine respektive Fräsmaschine unter Verwendung der genannten Daten zur numerischen Steuerung in seine endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Gesamtform gebracht.

**[0007]** Der Kern der Erfindung besteht somit darin, auf der einen Seite das Ausmessen des alten Bauteils und die eigentliche Fertigung des Ersatzteils so nahe wie möglich zu halten. Auf der anderen Seite wird durch die Fertigung in nur zwei Aufspannungen, wobei der Transfer von einer ersten Aufspannung in die zweite Aufspannung ohne manuelle Eingriffe geschehen kann, der Automatisierungsgrad erhöht und entsprechend werden Fertigungskosten reduziert. Die üblicherweise im Zusammenhang mit derartigen Kleinserien sehr hohen Kosten können so überraschend niedrig gehalten werden, und ausserdem ergeben sich durch die Fertigung in zwei Aufspannungen unter Verwendung der gleichen Maschine eine erhöhte Genauigkeit der Bauteile und eine Reduktion der zur Verfügung zu stellenden Werkzeuge respektive Maschinen.

Typischerweise handelt es sich bei der Vorlage um ein zu ersetzendes Bauteil, insbesondere um ein zu ersetzendes Bauteil einer Gasturbine oder Dampfturbine wie beispielsweise eine Laufschaufel oder Leitschaufel.

**[0008]** Eine erste bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Daten nach deren Erfassung und vor deren Verwendung zur Rundum-Bearbeitung des Rohlings derart verändert werden, dass die dreidimensionale Raumform und gegebenenfalls zudem die Oberflächenbeschaffung der Vorlage entweder optimiert wird, oder wieder auf einen ursprünglichen Zustand der dreidimensionalen Vorlage gebracht wird, indem beispielsweise Verschleisssegmente eliminiert werden. Dieser Schritt, welcher entweder automatisch, manuell oder manuell unter teilweiser Computerunterstützung geschehen kann, erlaubt es, die Verschleisszonen wieder in ihren ursprünglichen Zustand zu bringen. Ausserdem kann in diesem Schritt eine Optimierung der ehemaligen Form nach neuesten Kenntnissen erfolgen, was es erlaubt, im Rahmen einer Servicedienstleistung nicht nur Bauteile zu ersetzen, sondern diese auch beispielsweise strömungstechnisch oder kühltechnisch gleichzeitig zu optimieren.

**[0009]** Eine weitere bevorzugte Ausführungsform beruht darauf, dass sämtliche Arbeitsschritte des Verfahrens auf einer einzigen Bearbeitungsmaschine respektive Fräsmaschine durchgeführt werden. Die Durchführung des gesamten Verfahrens, d.h. Ausmessen sowie anschliessende Fertigung, auf der gleichen Maschine bedeutet, dass auch typischerweise für die Vorlage und das anschliessend herzustellende Bauteil die gleichen Bedingungen gelten, was die Genauigkeit des herzustellenden Bauteils respektive dessen Übereinstimmung mit der Vorlage erhöht. So werden beispielsweise die gleichen Spannadapter zum Greifen der Vorlage wie auch des anschliessenden Rohlings oder teilbearbeiteten Rohlings verwendet, und entsprechend können die beim Ausmessen ermittelten Daten unmittelbar und im Wesentlichen ohne weitere Kalibration oder Anpassung an andere Umgebungsbedingungen verwendet werden. Bei der Bearbeitungsmaschine respektive Fräsmaschine handelt es sich bevorzugt um eine 4-Achsen-Tischmaschine mit zusätzlichen ersten Mitteln zur Halterung eines Rohlings in zwei Aufspannungen und mit zweiten Mitteln zur Vermessung der Raumform und gegebenenfalls der Oberflächenbeschaffung einer Vorlage oder des zu bearbeitenden oder (teilweise) bearbeiteten Werkstücks.

**[0010]** Vor der Bearbeitung des Rohlings unter Verwendung der genannten Daten, gegebenenfalls nach einer Veränderung der Daten, wie sie oben beschrieben ist, können gemäss einer anderen bevorzugten Ausführungsform in einer numerischen Steuerung durch die Bearbeitungsmaschine respektive Fräsmaschine Spannbacken zum Spannen resp. Haltern des teilbearbeiteten Rohlings in wenigstens einem Spannadapter im ersten, endgültig bearbeiteten Bereich hergestellt werden. Da für die Herstellung eines Ersatzteils in nur zwei Aufspannungen typischerweise Sonderspannadapter zur Halterung des teilbearbeiteten Rohlings in seinem bereits in seine endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Teilform gebrachten Bereich erforderlich sind, können diese einfacher Weise für die Fertigung einer derartigen Kleinserie oder eines Einzelstücks auf Basis der Vermessungsdaten vor der Fertigung des ersten Ersatzteils automatisiert hergestellt werden. So können derartige Spannadapter spezifisch auf die Geometrie der Vorlagen angepasst werden, was eine bessere Halterung der teilbearbeiteten Rohlinge erlaubt und so die Präzision der fertigen Werkstücke sowie die Herstellungsgeschwindigkeit erhöht. Vorzugsweise ist es möglich, die Vorlage mit diesen eigens gefertigten Spannadaptern nochmals zu fassen und den Messvorgang nochmal zu wiederholen. So wird die Übereinstimmung zwischen Vorlage und endgültigem Bauteil weiter erhöht (Übereinstimmung selbstverständlich nur im gewünschten Umfange, d.h. bis auf die zu ergänzenden Verschleisszonen).

**[0011]** Typischerweise wird das Vermessen des Ersatzteils im ersten Schritt, d.h. die Bestimmung der Raumform und gegebenenfalls zudem der Oberflächenbeschaffung der dreidimensionalen Vorlage und deren numerische Speicherung automatisch unter Verwendung eines Messtasters und/oder eines Streifenscanners durchgeführt. Vorteilhafterweise wird dafür im ersten Schritt zur Vermessung der Raumform und gegebenenfalls zudem der Oberflächenbeschaffung der dreidimensionalen Vorlage die Vorlage in einer A-Achse, welche auf dem Maschinentisch vorhanden ist, an deren Enden eingespannt. Anschliessend wird bevorzugt die Vermessung mehrstufig unter Verwendung von unterschiedlichen Rotationspositionen dieser A-Achse durchgeführt, um die Raumform vollständig und gegebenenfalls unter automatische Korrekturen ermöglichender Redundanz durchzuführen. Bevorzugt wird anschliessend die Vorlage in einem zweiten Schritt der Vermessung in ihrem mittleren Bereich über Spannadapter gefasst und Kopf- sowie Fussbereich der Vorlage in dieser Spannlage vermessen. Selbstverständlich ist es gleichermassen möglich, die Reihenfolge dieser beiden Vermessungsschritte zu vertauschen, d.h. zunächst Kopf- respektive Fusspartie auszumessen und anschliessend den mittleren Bereich.

**[0012]** Handelt es sich bei der Vorlage um grosse Objekte wie beispielsweise um eine zu ersetzende Laufschaufel oder Leitschaufel einer Gasturbine oder Dampfturbine mit z.B. einer Länge im Bereich von mehr als 200 mm, müssen bei der Bearbeitung auftretende Hebelkräfte berücksichtigt werden. Entsprechend wird vorteilhafterweise so vorgegangen, dass im zweiten Schritt ein Rohling in einer A-Achse eines Maschinentisches gefasst wird, indem an wenigstens einem Ende der Rohling über einen Sonderspannadapter gefasst wird und am anderen Ende über einen verfahrbaren Reitstock fixiert wird. Die A-Achse ist vorteilhafterweise horizontal angeordnet. Anschliessend wird der mittlere Bereich des Rohlings in seine endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Teilform gebracht. Dann wird im dritten Schritt der teilbearbeitete Rohling durch gegebenenfalls eigens für die spezifische Schaufel hergestellte Spannbacken an definierten Spannflächen in einer W-Achse des Maschinetisches gefasst. Die W-Achse ist vorteilhafter Weise vertikal angeordnet. (Diese Achse wird gemäss der DIN 66217 Norm häufig als V-Achse bezeichnet. Da in diesem Dokument die W- und V-Achsen relativ zur DIN Norm vertauscht bezeichnet sind, soll in der Folge innerhalb dieses Dokuments diese Achse aber konsistent als W-Achse bezeichnet werden.) Ausserdem wird typischerweise der teilbearbeitete Rohling in diesem dritten

Schritt durch zwei Paare von Spannbacken gefasst. Anschliessend werden Kopf- sowie Fussbereich in ihre endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Teilform gebracht.

**[0013]** Handelt es sich alternativ bei der Vorlage um eher kleineren Objekte wie beispielsweise um eine zu ersetzende Laufschaufel oder Leitschaufel einer Gasturbine oder Dampfturbine mit z.B. einer Länge im Bereich von weniger als 200 mm, kann auch umgekehrt vorgegangen werden. Entsprechend wird im zweiten Schritt der Rohling durch Spannbacken (typischerweise ein Paar) in einer W-Achse des Maschinentisches gefasst und anschliessend wenigstens ein Kopf- oder Fussbereich in seine endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Teilform gebracht. Anfolgend wird im dritten Schritt des Verfahrens der teilbearbeitete Rohling in einer A-Achse eines Maschinentisches gefasst, indem an wenigstens einem bereits in seine endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Teilform gebrachten Ende der Rohling über einen gegebenenfalls eigens für die spezifische Schaufel hergestellten Sonderspannadapter gefasst und optional am anderen Ende über einen verfahrbaren Reitstock fixiert wird. Anschliessend wird der mittlere Bereich sowie gegebenenfalls der verbleibende Kopf- oder Fussbereich in ihre/seine endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Teilform gebracht.

**[0014]** Weitere bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemässen Verfahrens sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

**[0015]** Ausserdem betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens, wie es oben beschrieben wurde. Die Vorrichtung ist im Wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei der Bearbeitungsmaschine respektive Fräsmaschine um eine 4-Achsen-Maschine handelt, auf deren Maschinentisch wenigstens eine A-Achse im Wesentlichen horizontaler Ausrichtung zum Spannen eines Werkstücks vorgesehen ist, wobei diese A-Achse durch einen verfahrbaren Reitstock ergänzt wird. Dieser Reitstock ist vorzugsweise auf einem Kreuztisch montiert und kann bevorzugt je nach Grösse der Vorlage respektive des entsprechenden Rohlings in unterschiedlichen Grundstellungen der Reitstockgrundplatte fixiert werden, sodass der Abstand zwischen dem Spannenmechanismus der A-Achse und dem Reitstock den Bedürfnissen entsprechend eingestellt werden kann. Ausserdem ist auf deren Maschinentisch wenigstens eine W-Achse im Wesentlichen vertikaler Ausrichtung vorgesehen, welche insbesondere bevorzugt über Spannadapter-Austauschbacken verfügt. Auch die A-Achse verfügt insbesondere bevorzugt über Spannadapter-Austauschbacken, um spezifisch auf zu fertigende Schaufelgeometrien angepasste Mittel zu deren Halterung vorsehen zu können. Eine derartige Vorrichtung kann beispielsweise ausgehend von einer Standard-4-Achsen-Maschine in einer Nachrüstung hergestellt werden.

**[0016]** Weitere bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemässen Vorrichtung finden sich in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

### Kurze Erläuterung der Figuren

**[0017]** Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 den Aufbau einer 4-Achsen-Tischmaschine (Grundmaschine) nach dem Stand der Technik;

Fig. 2 eine ausgebaute 4-Achsen-Tischmaschine, a) in einer Frontansicht, b) in einer Seitenansicht;

Fig. 3 eine ausgebaute 4-Achsen-Tischmaschine in einer Ansicht gemäss Fig. 2b), wobei ausserdem eine zusätzliche W-Achse auf dem Maschinentisch vorgesehen ist;

Fig. 4 eine Darstellung gemäss Fig. 2b), wobei die Grundstellungen für die Reitstockgrundplatte für unterschiedliche Schaufellängen dargestellt sind;

Fig. 5 Spindel für die A-Achse, a) Spindel mit normalem A-Achsen Spannadapter mit austauschbaren Backen, b) Spindel mit überbreitem, verschraubtem Flansch zur Aufnahme von grossen Spannsystemen;

Fig. 6 eine Darstellung des ersten Arbeitsschritts, Serviceschaufel Spannen in Sonderspannadapter;

Fig. 7 eine Darstellung des ersten Arbeitsschritts, Alternative, Serviceschaufel Spannen zwischen Spitzen;

Fig. 8 eine Darstellung des zweiten Arbeitsschritts, grobe Funktionsbereichsvermessung mit Messtaster;

Fig. 9 eine Darstellung des dritten Arbeitsschritts, Feinscannen mittels eines Streifenscanners in X-Richtung;

Fig. 10 eine Darstellung der Arbeitsschritte 4 und 5, Feinscannen mittels eines Streifenscanners unter anderen Winkellagen der Schaufel;

Fig. 11 eine Darstellung des sechsten Arbeitsschritts, Grobvermessung des Kopf- und Fussbereichs auf der W-Achse;

Fig. 12 Fertigung einer grossen Schaufel, erster Schritt, Spannen des Rechteckrohlings;

Fig. 13 Fertigung einer grossen Schaufel, zweiter Schritt, Fräsen des mittleren Bereichs;

Fig. 14 Fertigung einer grossen Schaufel, 3. Schritt, Vermessen der Schaufel;

Fig. 15 Fertigung einer grossen Schaufel, Spannen der Schaufel auf der W-Achse, a) Ansicht von oben, b) Seitenansicht;

Fig. 16 Fertigung einer grossen Schaufel, Fertigfräsen der Fuss- und Kopfgeometrie auf der W-Achse;

Fig. 17 Fertigung einer kleinen Schaufel, erster Schritt, Spannen des Rechteckrohlings auf der W-Achse;

Fig. 18 Fertigung einer kleinen Schaufel, zweiter Schritt, Herstellung der kompletten Fusspartie;

Fig. 19 Fertigung einer kleinen Schaufel, 3. Schritt, Spannen der Serviceschaufel in der A-Achse;

Fig. 20 Fertigung einer kleinen Schaufel, 4. Schritt, Fräsen der Kanal- und Kopfgeometrie;

Fig. 21 Fertigung einer kleinen Schaufel, 4. Schritt, Fertigfräsen der Kopfgeometrie; und

Fig. 22 Fertigung einer kleinen Schaufel, 5. Schritt, Vermessen der restlichen Schaufelgeometrie.

## Wege zur Ausführung der Erfindung

### I. Maschinenaufbau

**[0018]** Der Maschinenaufbau bedingt eine sogenannte Doppelplatzmaschine mit integrierter NC-Reitstockspitze. Als Grundmaschine kann eine herkömmliche 4-Achsen-Flachbett-NC-Maschine eingesetzt werden (z.B. CHIRON, Mill 2000). Eine derartige Maschine ist beispielhaft in Fig. 1 dargestellt. Sie umfasst ein Maschinenbett 5, auf welchem ein Maschinentisch 6 angeordnet ist. Auf dem Maschinenbett 5 ist der bewegliche Aufbau montiert. Der bewegliche Aufbau umfasst einen X-Achsenschlitten 1, welcher eine verschiebliche Beweglichkeit des gesamten Aufbaus in horizontaler Richtung erlaubt. Ausserdem ist ein Y-Achsenschlitten 2 angeordnet, welcher eine verschiebliche Beweglichkeit in vertikaler Richtung erlaubt. Auf diesem Y-Achsenschlitten 2 ist ein Z-Achsenschlitten 3 angeordnet, welcher eine verschiebliche Beweglichkeit in horizontaler Richtung orthogonal zur X-Achse ermöglicht. Auf diesem Z-Achsenschlitten 3 ist die Spindeldrehachse 4 angeordnet, welche eine zusätzliche Rotation des Bearbeitungswerkzeugs um die Z-Achse ermöglicht. Typischerweise wird dabei eine Rotation um +/-100 Grad ermöglicht.

**[0019]** Eine derartige Standard 4-Achsen-Flachbett-NC-Fräsmaschine (z.B. CHIRON Mill 2000) ist zur automatisierten Serviceschaufelherstellung (Schaufel mit «unbekannter» Geometrie) wie folgt nachzurüsten (vgl. dazu Fig. 2, 3, 5):

**[0020]** 1. Auf einer Flachbett-Tischseite ist eine A-Achse (NC-Rotationsachse) 7 montiert. Die Spindel dieser NC-Rotationsachse ist mit einer Spannschnittstelle 8/22, vorzugsweise HSK 80 mit grosser Plananlage, typischerweise Durchmesser 100 mm, auszustatten. In den äusseren Flanschen dieser HSK-Spannschnittstelle sind mindestens drei, besser vier Innengewindebohrungen 21 anzubringen. Vgl. dazu Fig. 5. In dieser Spannschnittstelle werden dann, je nach Schaufelgrösse, Standard-Spannadapter 8 mit austauschbaren Spannelementen/Backen aufgenommen. Für das Aufnehmen von grossen Schaufeln wird auf die Spannschnittstelle eine Flanschplatte 23 aufgesteckt und mittels Schrauben 24 in die Innengewindebohrungen 21 fest verschraubt. Auf dieser Flanschplatte kann dann eine grosse Schaufelspannvorrichtung 25 montiert werden.

**[0021]** 2. Durch Austausch der Spannadapter 8/25 ist eine Schaufelgrössenanpassung möglich (vorzugsweise drei Varianten).

**[0022]** 3. Durch Austausch der Spannelemente/Backen ist eine Anpassung an unterschiedliche Schaufelfussgeometrien inkl. Guss-Geometrien möglich.

**[0023]** 4. Vor der A-Achse 7 ist auf einer verschiebbaren, fixierten und gespannten Grundplatte ein NC-Kreuztisch mit einem NC-Reitstock 10 mit einer Reitstockspitze 11 montiert.

**[0024]** 5. Durch Versetzen dieser Grundplatte in definierte Positionen auf der Tischplatte lassen sich Serviceschaufeln von einer Länge zwischen 5 mm und 1.800 mm auf dieser Maschine herstellen. Dies ist beispielhaft in Fig. 2 dargestellt sowie insbesondere in Fig. 4. In Fig. 4 sind 3 verschiedene Grundstellungen der Reitstockgrundplatte dargestellt. Eine erste Position 18, bei welcher kleine Schaufeln mit einer Schaufellänge von 5 bis 500 mm Länge bearbeitet werden können. In einer zweiten, mittleren Position 19 können Schaufeln einer Länge von 500 bis 1000 mm Länge bearbeitet werden, und in der dritten Position 20 können grosse Schaufeln mit einer Länge von im Bereich von 1000 bis 1500 mm Länge ausgemessen respektive anschliessend hergestellt werden.

**[0025]** 6. Der NC-Kreuztisch lässt durch seine NC-U-Achse 12 eine beliebige Feinverstellung zwischen den angegebenen definierten Positionen zu, so dass alle Schaufellängen aufnehmbar sind.

**[0026]** 7. Auf der NC-Querachse des Kreuztisches (V-Achse, vgl. dazu Fig. 2) ist vorne der NC-Reitstock 10 montiert, mit dem der gespannte Schaufelrohling 38 zur A-Achse 7 fixiert wird (Die hier genannte V-Achse wird gemäss der DIN 66217 Norm häufig als W-Achse bezeichnet. Da in diesem Dokument die W- und V-Achsen relativ zur DIN Norm vertauscht bezeichnet sind, soll in der Folge innerhalb dieses Dokuments diese Achse aber konsistent als V-Achse bezeichnet werden.). Hinten ist ein Kipphandlingsystem montiert, mit deren Hilfe der Schaufelrohling von der W-Achse 17 in die A-Achsenspannlage oder umgekehrt, gebracht wird. Diese Einheit kann auch durch ein externes Handling durchgeführt werden oder entfallen, wenn diese Funktion manuell durchgeführt wird.

**[0027]** 8. Auf/in die rechte Flachbett-Tischplatte wird eine NC-Rundachse integriert (W-Achse 17). Vgl. dazu insbesondere Fig. 3. Auf dieser Rundachse wird ein Standard-Spannelement 16 montiert. Durch Austausch der Spannelemente/Backen 15 können hier sowohl Serviceschaufeln 28 zur Fuss- und/oder Kopf-Anarbeitung, Fertigbearbeitung oder Vermessung als auch Rohlinge 38 (senkrecht oder quer) gespannt werden.

**[0028]** 9. Die Maschine muss mit einem zweiten Messsystem für das Messen mit Taster 29, Scanner 30 und Oberflächenqualitätsbestimmung ausgestattet werden.

**[0029]** 10. Der (Laser-)Streifenscanner 30 wird wie ein Werkzeug und wie der Messtaster 29 im Werkzeugmagazin der Maschine stationiert. Die Datenübertragung erfolgt über Funk oder eine Infrarotschnittstelle.

**[0030]** 11. Bevor eine Messoperation beginnt, wird der Streifenscanner 30 oder Messtaster 21 durch den Werkzeugwechsler in die Fräs(„Sspindel gewechselt und aktiviert.

**II. Datenerfassung/-gewinnung und Datenaufbereitung von Serviceschaufeln**

**[0031]** 1. Eine Serviceschaufel 28 (mit oder ohne Verschleisssegmente) mit bekannter oder unbekannter Kontur wird zur Vermessung in das A-Achsen-Spannsystem 27 aufgenommen (so in Fig. 6 dargestellt) oder mittels Zentrierspitzen oder Spannzapfen zwischen die A-Achse 7 und den Reitstock 10 gespannt (so in Fig. 7 dargestellt).

**[0032]** 2. Anschliessend werden die Funktionsbereichsgrenzen der Schaufel, wie z.B. Kopf-, Fuss- und Blattbereich grob mit einem Messtaster 21 ermittelt (vgl. dazu Fig. 8). Aus diesen Bereichseckdaten werden die Grenzen und die zu wählende Feinmessstrategie für die Feinvermessung mittels eines Standardstreifenscanners 30 festgelegt. Dieser Punkt kann auch entfallen, wenn eine ähnliche Schaufel im CAD-CAM-System bekannt ist.

**[0033]** 3. Mittels der ermittelten Bereichsgrenzen und der festgelegten Feinmess-Strategie wird dann die komplette Schaufelgeometrie mittels Standardstreifenscanners 30 in X-Richtung vermessen (vgl. dazu Fig. 9). Der Abstand der Streifenscanebenen ist eine Funktion der benötigten Endgenauigkeit innerhalb der Funktionsbereiche und liegt zwischen 0,1 mm und 5 mm. Z.B. an Radienübergängen wird feiner gescannt als in den langen Kanalflächen.

**[0034]** 4. Nach Beendigung dieser Scanebene wird die Schaufel 28 durch das Drehen der NC-A-Achse 7 in eine andere Winkellage 31 gebracht. Danach wird der Scanprozess Pos. 2. wiederholt (vgl. dazu Fig. 10).

**[0035]** 5. Dieser Scanvorgang wird je nach Genauigkeitsanforderung bis zu 5 Mal durchgeführt, wobei 3 Mal normal ist (maximale Winkeldrehung 120°. Für feinere Auflösung kleinere Winkelteiler).

**[0036]** 6. Bei Schaufeln, bei denen man in der Messposition 2–5 die Kopf- und/oder Fusskontur nicht genau ermitteln konnte, werden diese zur exakten Bestimmung der Fuss- und Kopfpartie in eine Hilfsspannvorrichtung auf die W-Achse (horizontal) gelegt. Vgl. dazu Fig. 11. Anschliessend wird die komplette Fuss- und Kopfgeometrie mittels eines Messtasters 29 grob vermessen und mittels des Standardstreifenscanners 30 fein vermessen. Um die Fusspartie und die Kopfpartie in dieser Aufspannung vermessen zu können, wird die W-Achse um 180° gedreht.

**[0037]** 7. Die Scanmessebenen werden dann in einem CAD-System so aufbereitet, dass die Schaufelgeometrie der alten Serviceschaufel 28 entsteht.

**[0038]** 8. Danach erfolgt dann eine Überarbeitung der Serviceschaufelgeometriedaten, mit dem Ziel alle Verschleisssegmente der Schaufel zu eliminieren. Es entsteht so die Geometrie der Serviceneuschaufel.

**[0039]** 9. Hat man von allen Schaufelreihen einer Turbine deren Daten so ermittelt, kann man auch noch zusätzlich eine Optimierung des Strömungskanals durchführen und die neuen Schaufelgeometriedaten bestimmen.

**[0040]** 10. Für diese so bestimmten Serviceneuschaufeln werden dann die NC-Programme für:
8.1 die Bearbeitung durch Fräs-, Bohr- und Drehfräsen
8.2 Messen der Fertigschaufel
8.3 Herstellung (Fräsen) der Spannelement/Backen-Kontur
8.4 und Schaufelfuss-, Kopffertigbearbeitung erstellt (vgl. dazu Kapitel III weiter unten).

**III Mechanische Fertigung der Serviceneuschaufeln**

**[0041]** Es können die beiden folgenden Arbeitsschritte zur Herstellung einer Serviceneuschaufel unterschieden werden. Beide Abläufe können auf der unter Pos. II. 1 beschriebenen Maschine durchgeführt werden.

**III. 1 Fertigungsablauf von kurzen Serviceschaufeln (geeignet für kurze Schaufeln < 200 mm, vgl. dazu Fig. 17–22)**

**[0042]** 1. Zur Ermittlung der alten Serviceschaufelgeometrie werden die Arbeitsschritte gemäss Kapitel II. durchgeführt.

**[0043]** 2. Die erfassten Messdaten werden dann in einem CAD-System so aufbereitet, dass die Fuss- und Kopfgeometrie der alten Serviceschaufel entsteht.

**[0044]** 3. Danach erfolgt dann eine Überarbeitung der Fuss- und Kopfgeometrie der alten Serviceschaufel mit dem Ziel, alle Verschleisssegmente dieser Partien zu eliminieren. Es entsteht so die Endgeometrie der Fuss- und Kopfgeometrie.

**[0045]** 4. Mittels der Endgeometrie der Fusspartie wird ein NC-Programm zur Herstellung von Spannbacken zum Spannen dieser Fusspartie erzeugt.

**[0046]** 5. Mittels des Programms wird im ersten Schritt ein Satz Spannbacken 27 auf der A-Achsen-Spanneinheit hergestellt, mit dem die Fusspartie der zu fertigenden Serviceschaufel definiert in der A-Achsen-Spanneinheit aufgenommen werden kann.

**[0047]** 6. Die Serviceschaufel wird in dieser A-Achsenspanneinheit gespannt.

**[0048]** 7. Die alte Serviceschaufelgeometrie (Restkonturen der Schaufel) wird, wie in Kapitel II.2 bis II.7 beschrieben, ermittelt und aufbereitet.

**[0049]** 8. Danach werden die benötigten NC-Fräs- und Messprogramme (Pos. II.8.1. bis II.8.4) für die neue Serviceschaufel erstellt.

**[0050]** 9. Fertigungsablauf zur Erstellung der Hilfsspannflächen
9.1 Unter Zuhilfenahme des unter Pos II.1.4 erzeugten NC-Programms werden die Hilfsspannflächen der Parallelbackenspannfutter für die Aufnahme der Fussgeometrie hergestellt.
9.2 Die Hilfsspannbacken werden dann in die dementsprechenden Spannadapter der A-Achse montiert und ihre Position vermessen.

**[0051]** 10. Fertigungsablauf zur Herstellung einer neuen Serviceschaufel.

**[0052]** 11. Es wird in die W-Achsenspanneinheit 16 ein Rohling 38 eingespannt (Fig. 17).

**[0053]** 12. Mittels des in Pos. 8.4 erstellten NC-Fräsprogramms wird die komplette Fussgeometrie plus eine Wendespannfläche hergestellt (Fig. 18).

**[0054]** 13. Mittels des in Pos. 8.2 erstellten NC-Messprogramms wird die hergestellte Fussgeometrie vermessen.

**[0055]** 14. Wenn nicht gemäss Spezifikation: – NC-Fräsprogrammoptimierung –

**[0056]** 15. Wenn gemäss Spezifikation: wird mittels des Kipphandlingsystems, das mit zwei Greiferzangen ausgestattet ist, die die Rohschaufel in den Wendespannflächen greift und klemmt, die Rohschaufel aus der W-Achsenspanneinheit 16 durch Kippen und gegebenenfalls durch die NC-Achsenbewegung (U/V) entnommen und zum Spannadapter in die A-Achse 7 transportiert (Fig. 19). Diese Operation kann auch durch ein externes Handlingsystem oder manuell erfolgen.

**[0057]** 16. Nach dem Spannen der Rohschaufel im A-Achsen-Spannadapter wird mittels der Frässpindel am Ende der Rohschaufel entweder eine Zentrierung (für Reitstocksysteme) oder ein Spannzylinder (Reitstockspannzange) angebracht (Bohren oder Fräsen).

**[0058]** 17. Die Reitstockspitze oder -zange wird mittels den U/V-Achsen in Position gebracht und die Rohschaufel so zwischen den A-Achsen-Spannadapter und der Reitstockspindel zentriert und gespannt.

**[0059]** 18. Die so fixierte Rohschaufel wird dann mit dem in Pos. 8.4 erstellten NC-Programm die Blattkonturen inkl. aller zugänglichen Kopfkonturen fertig bearbeitet. Vgl. dazu Fig. 20.

**[0060]** 19. Danach wird die Reitstockspitze 11 zurückgezogen, der Reitstock 10 selbst in eine neutrale Position gestellt. Hierdurch ist die restliche Kopfkontur für die Frässpindel 32 frei zugänglich (vgl. Fig. 21).

**[0061]** 20. Die restliche Kopfkontur wird mittels einem in Pos. 8.4 erstellten Teilprogramm fertig gestellt.

**[0062]** 21. Im Anschluss wird die komplette Blatt- und Kopfkontur mit dem in Pos. II.8.3 erstellten Messprogramm vermessen (vgl. Fig. 22).

**[0063]** 22. Hiernach wird ein komplettes Messprotokoll erstellt.

**[0064]** 23. Bei Toleranzabweichungen werden automatisch durch die Integration einer Toleranzkreiskorrektur die dementsprechenden NC-Satzkomponenten korrigiert.

**[0065]** 24. Danach wird die fertige Schaufel aus der A-Achsenspannung entnommen und ein neues Rohteil in die W-Achsenspannung eingelegt (per Roboter oder von Hand).

**III. 2 Fertigungsablauf von längeren Serviceschaufeln (geeignet für Schaufeln > 200 mm, vgl. dazu die Fig. 12–16)**

**[0066]** 1. Zur Ermittlung der alten Serviceschaufelgeometrie wird die Pos. II. durchgeführt.

**[0067]** 2. Die erfassten Messdaten werden dann in einem CAD-System so aufbereitet, dass die Fuss- und Kopfgeometrie der alten Serviceschaufel entsteht.

**[0068]** 3. Danach erfolgt dann eine Überarbeitung der Fuss- und Kopfgeometrie der alten Serviceschaufel mit dem Ziel, alle Verschleisssegmente dieser Partien zu eliminieren. Es entsteht so die Endgeometrie der Fuss- und Kopfgeometrie.

**[0069]** 4. Mittels der Endgeometrie der Fusspartie wird ein NC-Programm zur Herstellung von Spannbacken zum Spannen dieser Fusspartie erzeugt.

**[0070]** 5. Mittels des Programms wird im ersten Schritt ein Satz Spannbacken auf der A-Achsen-Spanneinheit hergestellt, mit dem die Fusspartie der zu fertigenden Serviceschaufel definiert in der A-Achsen-Spanneinheit aufgenommen werden kann.

**[0071]** 6. Die Serviceschaufel wird in dieser A-Achsenspanneinheit gespannt.

**[0072]** 7. Die alte Serviceschaufelgeometrie (Restkonturen der Schaufel) wird, wie in Pos. II.2 bis II.7 beschrieben, ermittelt und aufbereitet.

**[0073]** 8. Danach werden die benötigten NC-Fräs- und Messprogramme (Pos. II.8.1. bis II.8.4) für die neue Serviceschaufel erstellt.

**[0074]** 9. Fertigungsablauf zur Herstellung einer neuen Serviceschaufel.

**[0075]** 10. In den A-Spannadapter werden Parallelspannbacken montiert, mit denen der Rechteckrohling oder das Guss-Schaufelende gespannt werden können.

**[0076]** 11. Es wird in die A-Achsenspanneinheit 7 ein Rohling 38 eingespannt (vgl. Fig. 12).

**[0077]** 12. Im ersten Schritt wird dann mittels der Frässpindel am Ende der Rohschaufel entweder eine Zentrierung (für Reitstocksysteme) oder ein Spannzylinder (Reitstockspannzange) angebracht (Bohren oder Fräsen).

**[0078]** 13. Die Reitstockspitze oder -zange wird mittels den U/V-Achsen in Position gebracht und die Rohschaufel so zwischen den A-Achsen-Spannadapter und der Reitstockspindel zentriert und gespannt.

**[0079]** 14. Mit dem in Pos. 8.4 erstellten NC-Fräsprogramm wird die komplette Schaufelgeometrie ausser der nicht zugängigen Fuss- und Kopfendkonturen hergestellt. Zusätzlich werden zwei Kerbschnitte an Fuss- und Kopfende angefräst. Vgl. dazu Fig. 13.

**[0080]** 15. Mittels des in Pos. 8.2 erstellten NC-Messprogramms wird die hergestellte Schaufelgeometrie vermessen (Fig. 14).

**[0081]** 16. Wenn nicht gemäss Spezifikation: – NC-Fräsprogrammoptimierung –

**[0082]** 17. Wenn gemäss Spezifikation: wird mittels des Kipphandlingsystems, das mit zwei Greiferzangen ausgestattet ist, die die Rohschaufel in den Wendespannflächen greift und klemmt, die Schaufel aus der W-Achsenspanneinheit 17 durch Kippen und gegebenenfalls durch die NC-Achsenbewegung (U/V) entnommen und zum Rhombusspannadapter in die W-Achse 17 transportiert. Diese Operation kann auch durch ein externes Handlingsystem oder manuell erfolgen (Fig. 15).

**[0083]** 18. Nach dem Spannen der Schaufel im Rhombusspannadapter auf der W-Achse 17 werden die bisher nicht zugänglichen Fuss- und Kopfpartien fertiggestellt und anschliessend vermessen (Fig. 16).

**[0084]** 19. Hiernach wird ein komplettes Messprotokoll erstellt.

**[0085]** 20. Bei Toleranzabweichungen werden automatisch durch die Integration eine Toleranzkreiskorrektur die dementsprechenden NC-Satzkomponenten korrigiert.

**[0086]** 21. Danach wird die fertige Schaufel aus dem W-Rhombusspannadapter entnommen und ein neues Rohteil in die A-Achsenspannung eingelegt (per Roboter oder von Hand).

**[0087]** Das neue Konzept lässt zu, dass man auf ein und der selben Maschine die Serviceschaufeldaten ermittelt, dann im CAD-CAM-System in beispielsweise CATIA-Format bearbeitet, inkl. einer Strömungsoptimierungsberechnung, und auf der gleichen Maschine diese neue Serviceschaufel mittels allen verfügbaren neuen optimierten Schaufelfertigungstechnologien in kürzester Zeit und zu niedrigsten Kosten herstellt (Heli Frästechnologie etc.). Des Weiteren wird die komplette Datendokumentation automatisch im System erstellt.

**Vergleich:**

**[0088]**

Serviceschaufel-Geometriedaten-Ermittlung

| | |
|---|---|
| Alt: über Messmaschine und manuell | ca. 24 h |
| Neu: im System | ca. 1–2 h |
| NC-Fräsprogrammerstellung | |
| Alt: manuelle Eingabe der Daten ins CAD-System ca. | 3 Tage |
| Oder manuelle Programmierung | ca. 5 Tage |
| Neu: im System | ca. 0,5 h |
| NC-Messprogrammerstellung | |
| Alt: nur manuell auf Messmaschine möglich | ca. 5 h |
| Die Schaufeln müssen alle per Hand vermessen werden | ca. 2 h/Part |
| Neu: im System | ca. 0,5 h |
| Strömungsoptimierungsberechnung | |
| Alt: nicht möglich | – |
| Neu: im System | ca. 3 h |
| Schaufelherstellungszeit | |
| Alt: Gesplittete alte Technologien | ca. 8 h/Part |
| Nur bedingt mittels NC-Technologie | – |
| Neu: im System | ca. 0,5 h/Part |
| Auftragsdurchlaufzeit für 150 Schaufeln | |
| Alt: | 14–18 Wochen |
| Neu: im Servicesystem auf Singlemaschinen | 4–7 Tage |
| Auf einer speziellen Zelle (möglich, wenn gleiche Daten) | 2–3 Tage |

**Bezugszeichenliste**

**[0089]**

| | |
|---|---|
| 1 | X-Achsenschlitten |
| 2 | Y-Achsenschlitten |
| 3 | Z-Achsenschlitten |
| 4 | Spindeldrehachse |
| 5 | Maschinenbett |
| 6 | Maschinentisch |
| 7 | A-Achse; NC-Rotationsachse |
| 8 | A-Achse; Spannadapter |
| 9 | Spannadapter-Austauschbacken |
| 10 | Reitstock |
| 11 | Reitstockspitze oder -zange |
| 12 | U-Achse-Reitstock |
| 13 | V-Achse-Reitstock |
| 14 | Kipphandlingsystem |
| 15 | Spannadapter-Austauschbacken |
| 16 | W-Achse Spannadapter |
| 17 | W-Achse |
| 18–20 | verschiedene Positionen der Reitstockspitze |
| 21 | drei oder vier Innengewindebohrungen |
| 22 | Spindelaufnahme HSK 80 mit 100 mm Flanschdurchmesser; drei oder vier Innengewindebohrungen |
| 23 | grosse Spannplatte zur Aufnahme von grossen Sonderspann-Elementen für grosse Schaufeln |
| 24 | drei oder vier Schrauben für die Spannplattenverschraubung an der Spindelnase |
| 25 | grosse Sonderspann-Elemente für grosse Schaufeln |
| 26 | Kurzzylinder zum Fixieren der grossen Spannplatte |
| 27 | Sonderspannadapter |
| 28 | zu vermessende Serviceschaufel |
| 29 | Messtaster |
| 30 | Streifenscanner |
| 31 | 3x120° gedreht etc. |
| 32 | Frässpindel mit Werkzeug |

33 Klemmhub
34 definierte Spannflächen
35 auswechselbare Spannbacken
36 Parallelspannbacken
37 Fusspartie der Serviceschaufel
38 Rohling

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Rundum-Bearbeitung eines Rohlings (38) mit einer Bearbeitungsmaschine wie beispielsweise einer Fräsmaschine, wobei die Rundum-Bearbeitung nach Massgabe einer dreidimensionalen Vorlage (28) geschieht, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Schritt die Raumform und gegebenenfalls zudem die Oberflächenbeschaffung der dreidimensionalen Vorlage (28) automatisch vermessen wird, und die zugehörigen Daten abgespeichert werden, in einem zweiten Schritt ein Rohling (38) von wenigstens einem ersten Spannadapter (27, 35, 36) gehalten wird und von der Bearbeitungsmaschine wie beispielsweise der Fräsmaschine unter Verwendung der genannten Daten zur numerischen Steuerung der Bearbeitungsmaschine ein erster Bereich in seine endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Teilform gebracht wird, und in einem dritten Schritt der teilbearbeitete Rohling von dem ersten und/oder wenigstens einem zweiten Spannadapter (27, 35) im ersten, endgültig bearbeiteten Bereich gehalten wird und der übrige Bereich von derselben Bearbeitungsmaschine, wie beispielsweise der Fräsmaschine unter Verwendung der genannten Daten zur numerischen Steuerung in seine endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Gesamtform gebracht wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Daten nach deren Erfassung und vor deren Verwendung zur Rundum-Bearbeitung des Rohlings (38) verändert werden, wobei die Veränderung darin besteht, dass die dreidimensionale Raumform und gegebenenfalls zudem die Oberflächenbeschaffung der Vorlage (28) entweder optimiert wird oder wieder auf einen ursprünglichen Zustand der dreidimensionalen Vorlage (28) gebracht wird, indem beispielsweise Verschleisssegmente eliminiert werden.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sämtliche Arbeitsschritte des Verfahrens auf einer einzigen Bearbeitungsmaschine durchgeführt werden, wobei es sich bevorzugt bei der Bearbeitungsmaschine um eine 4-Achsen-Maschine mit zusätzlichen ersten Mitteln (7, 10, 17) zur Halterung des Rohlings (38) in zwei Aufspannungen und mit zweiten Mitteln (29, 30) zur Vermessung der Raumform und gegebenenfalls der Oberflächenbeschaffung der Vorlage (28) oder des zu bearbeitenden Rohlings (38) oder des bearbeiteten Werkstücks handelt.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei der Vorlage (28) um ein zu ersetzendes Bauteil handelt, insbesondere um ein zu ersetzendes Bauteil einer Gasturbine oder Dampfturbine wie beispielsweise eine Laufschaufel oder Leitschaufel.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Bearbeitung des Rohlings (38) unter Verwendung der genannten Daten in einer numerischen Steuerung Spannbacken zum Spannen des teilbearbeiteten Rohlings in dem ersten und/oder wenigstens dem zweiten Spannadapter (27, 35) im ersten, endgültig bearbeiteten Bereich hergestellt werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Schritt die Raumform und gegebenenfalls zudem die Oberflächenbeschaffung der dreidimensionalen Vorlage (28) automatisch unter Verwendung eines Messtasters (29) und/oder eines Streifenscanners (30) bestimmt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Schritt zur Vermessung der Raumform und gegebenenfalls zudem der Oberflächenbeschaffung der dreidimensionalen Vorlage (28) diese Vorlage (28) in einer A-Achse (7) an deren Enden eingespannt wird, und insbesondere die Vermessung mehrstufig unter Verwendung von unterschiedlichen Rotationspositionen dieser A-Achse (7) durchgeführt wird, und weiterhin bevorzugt die Vorlage (28) in einem zweiten Schritt der Vermessung in ihrem mittleren Bereich über einen der bereits genannten oder einen dritten Spannadapter (15) gefasst wird, und Kopf- sowie Fussbereich der Vorlage in dieser Spannlage vermessen werden.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei der Vorlage (28) um eine zu ersetzende Laufschaufel oder Leitschaufel einer Gasturbine oder Dampfturbine handelt mit einer Länge im Bereich von mehr als 200 mm, dass im zweiten Schritt der Rohling (38) in einer A-Achse (7) eines Maschinentisches (6) gefasst wird, indem an wenigstens einem Ende der Rohling (38) über einen Sonderspannadapter (27) gefasst wird und am anderen Ende über einen verfahrbaren Reitstock (10) fixiert wird, dass anschliessend der mittlere Bereich des Rohlings (38) in seine endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Teilform gebracht wird, dass im dritten Schritt der teilbearbeitete Rohling durch den ersten und/oder wenigstens dem zweiten Spannadapter (27, 35) mit Spannbacken (35), welche optional eigens zur Spannung der spezifischen Schaufel hergestellt wurden, an vordefinierten Spannflächen (34) in einer W-Achse (17) des Maschinentisches (6) gefasst wird, und dass

anschliessend Kopf- sowie Fussbereich in ihre endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Teilform gebracht werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei der Vorlage (28) um eine zu ersetzende Laufschaufel oder Leitschaufel einer Gasturbine oder Dampfturbine handelt mit einer Länge im Bereich von weniger als 200 mm, dass im zweiten Schritt der Rohling (38) durch Spannbacken (35) in einer W-Achse (17) eines Maschinentisches (6) gefasst wird, und dass anschliessend wenigstens ein Kopf- oder Fussbereich in seine endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Teilform gebracht wird, dass im dritten Schritt der teilbearbeitete Rohling in einer A-Achse (7) des Maschinentisches (6) gefasst wird, indem an wenigstens einem bereits in seine endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Teilform gebrachten Ende der Rohling (38) über einen Sonderspannadapter (27, 35) mit eigens für die spezifische Schaufel hergestellten Spannbacken (35) gefasst wird und optional am anderen Ende über einen verfahrbaren Reitstock (10) fixiert wird, und dass anschliessend der mittlere Bereich sowie gegebenenfalls der verbleibende Kopf- oder Fussbereich in ihre endgültige, der bestimmungsgemässen Verwendung entsprechende Teilform gebracht werden.

10. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei der Bearbeitungsmaschine, um eine 4-Achsen-Maschine handelt, auf deren Maschinentisch (6) wenigstens eine A-Achse (7) im Wesentlichen horizontaler Ausrichtung zum Spannen des zu bearbeitenden Rohlings (38) vorgesehen ist, wobei diese A-Achse (7) durch einen verfahrbaren Reitstock (10) ergänzt wird, welcher Reitstock (10) bevorzugt je nach Grösse der Vorlage (28) in unterschiedlichen Grundstellungen der Reitstockgrundplatte fixierbar ist, und dass ausserdem auf deren Maschinentisch (6) wenigstens eine W-Achse im Wesentlichen vertikaler Ausrichtung vorgesehen ist, welche insbesondere bevorzugt über Austauschbacken (35) für Spannadapter (27, 35) verfügt.

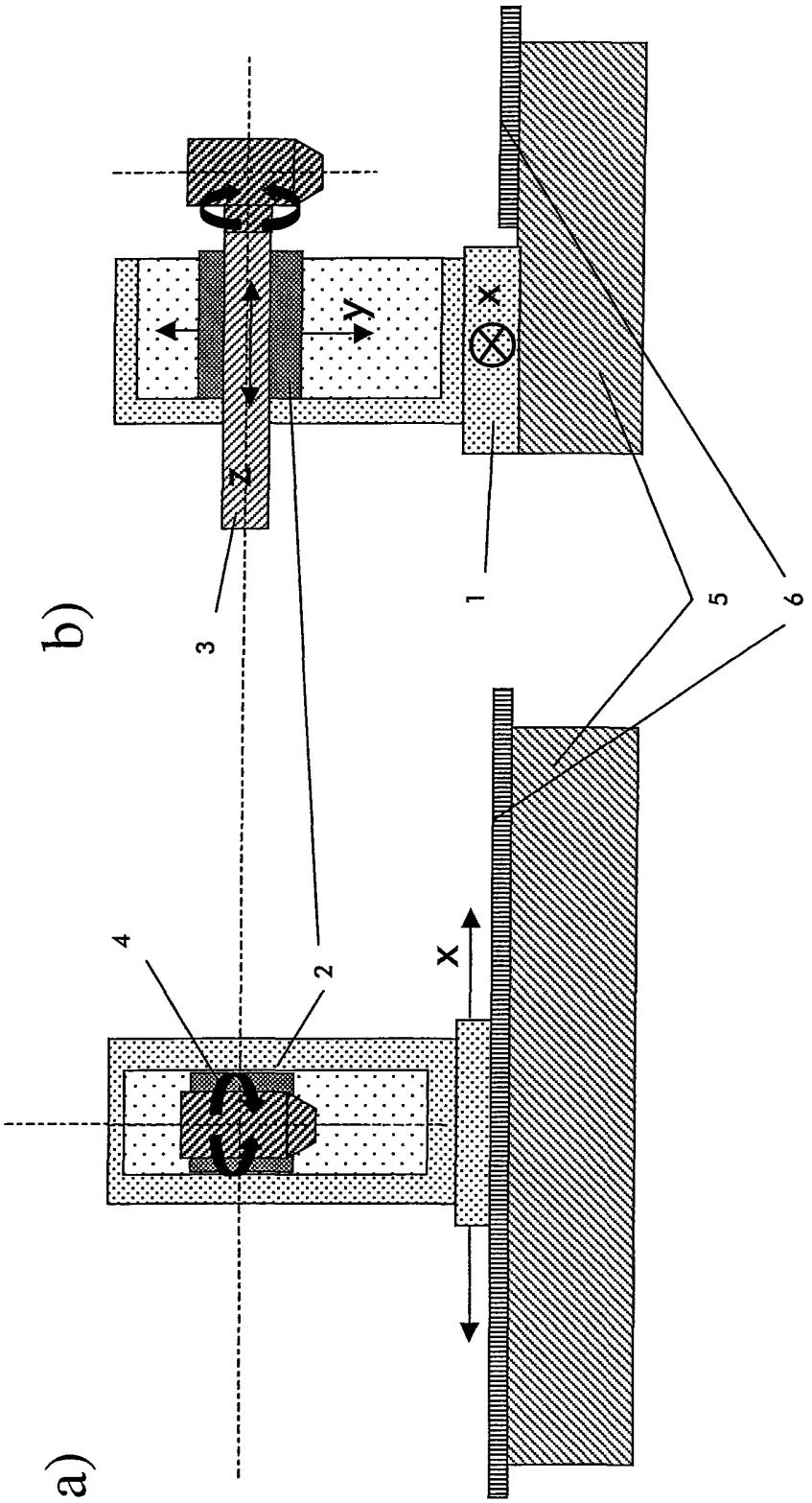



Fig. 1

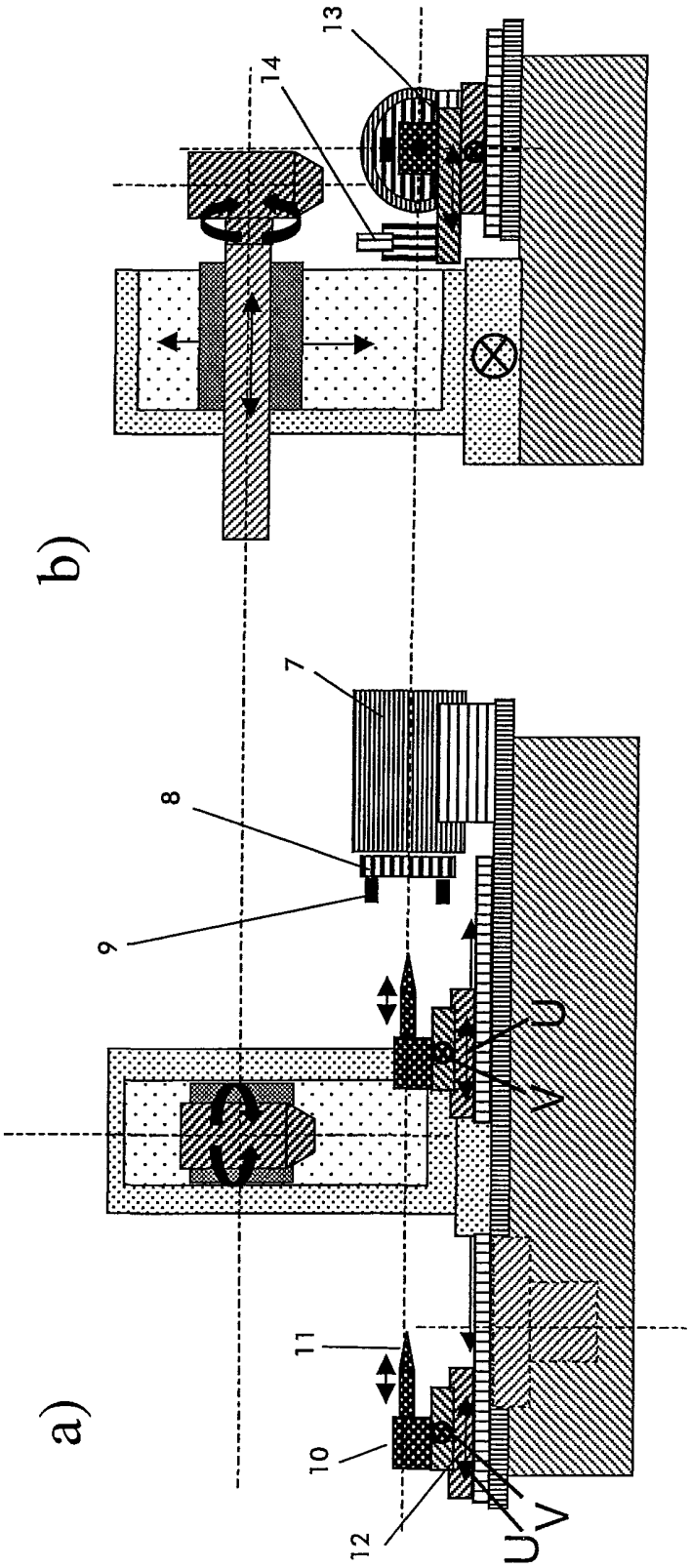



Fig. 2

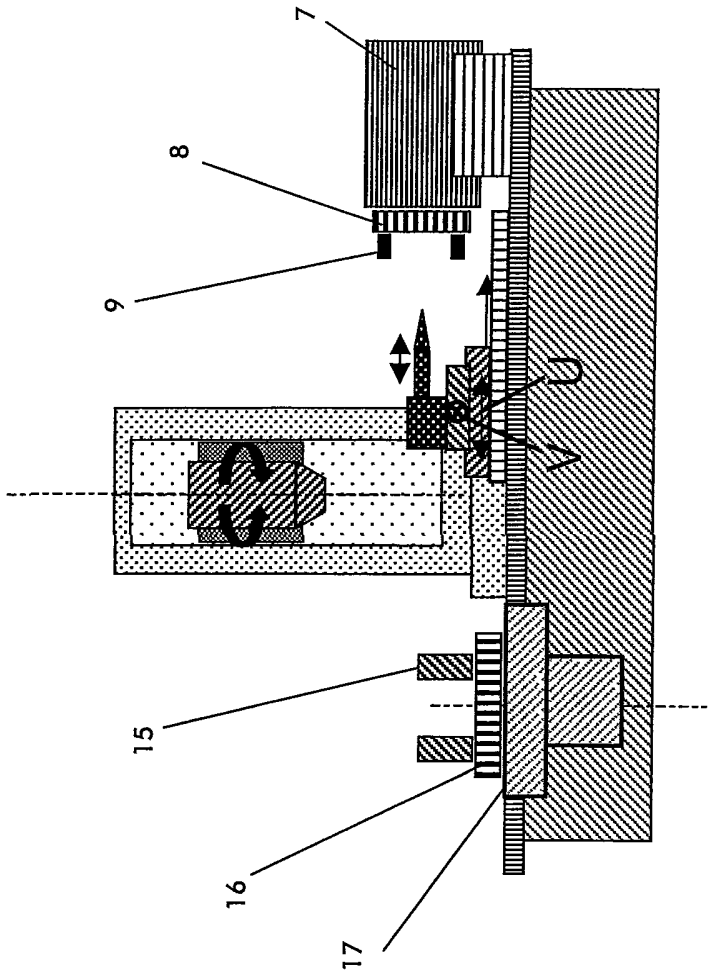



Fig. 3

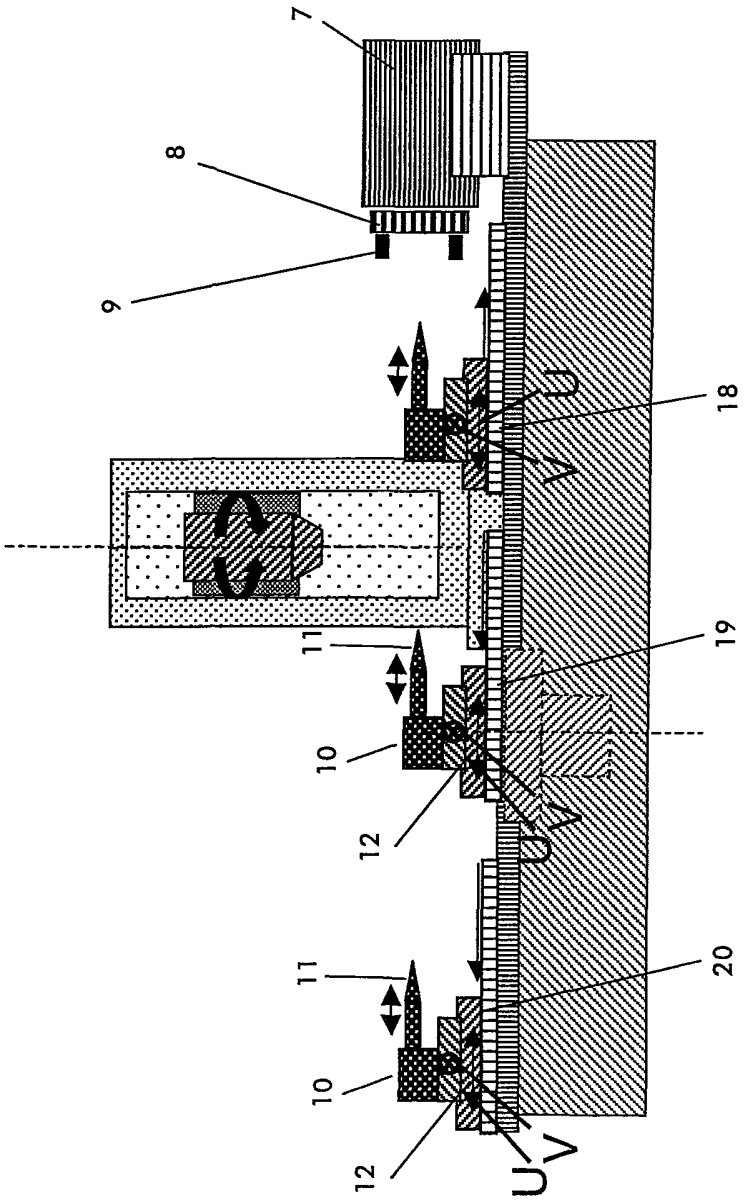



Fig. 4

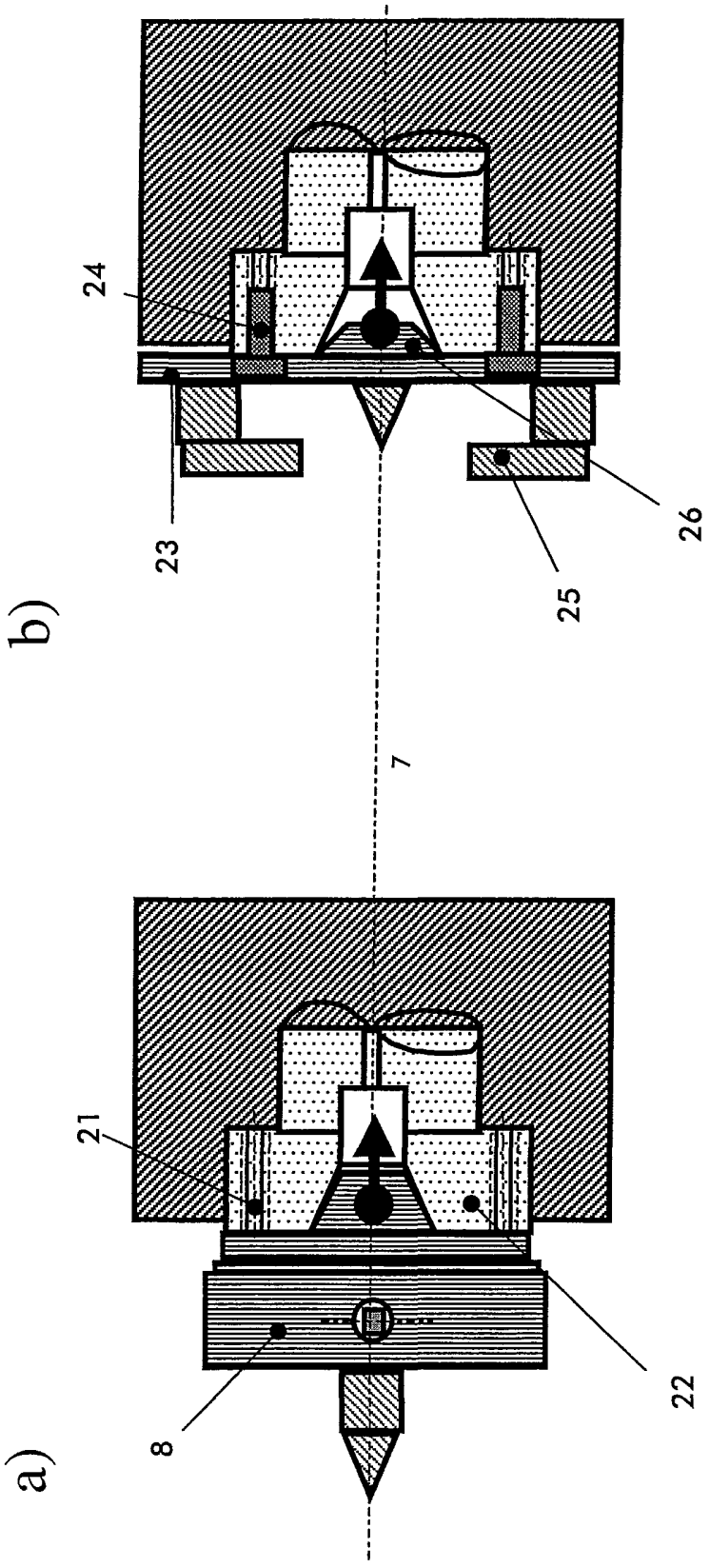



Fig. 5

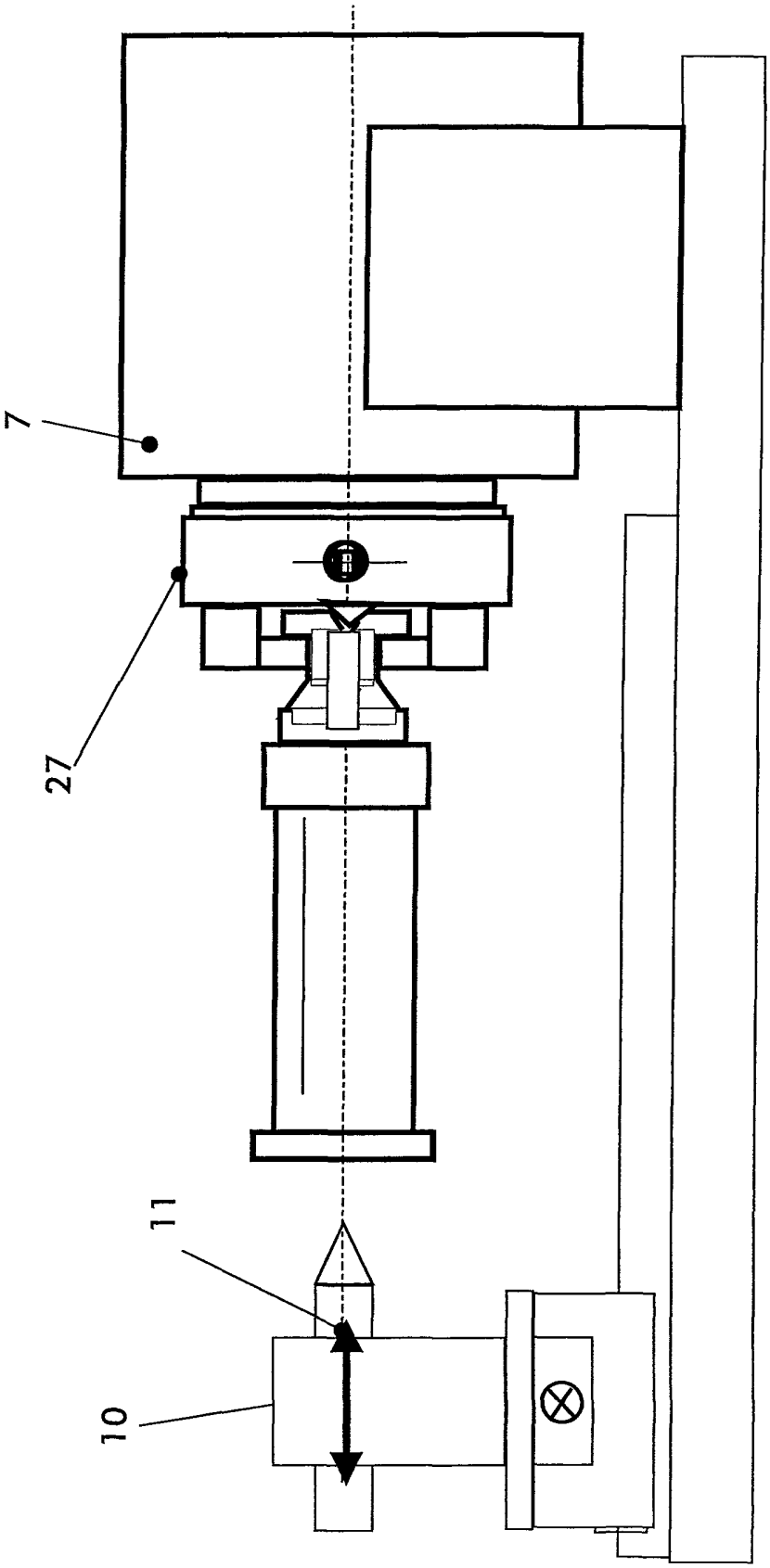



Fig. 6

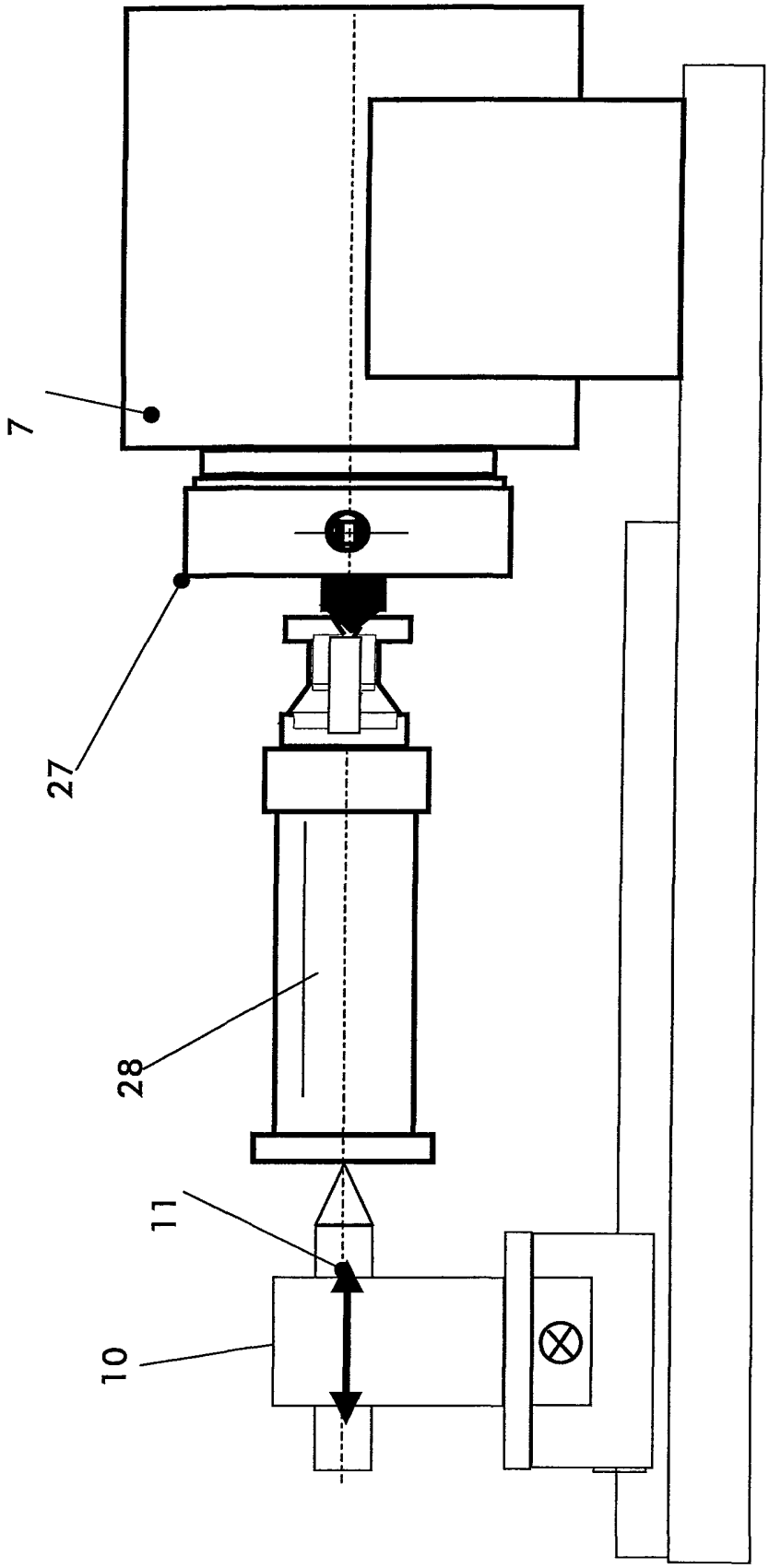



Fig. 7

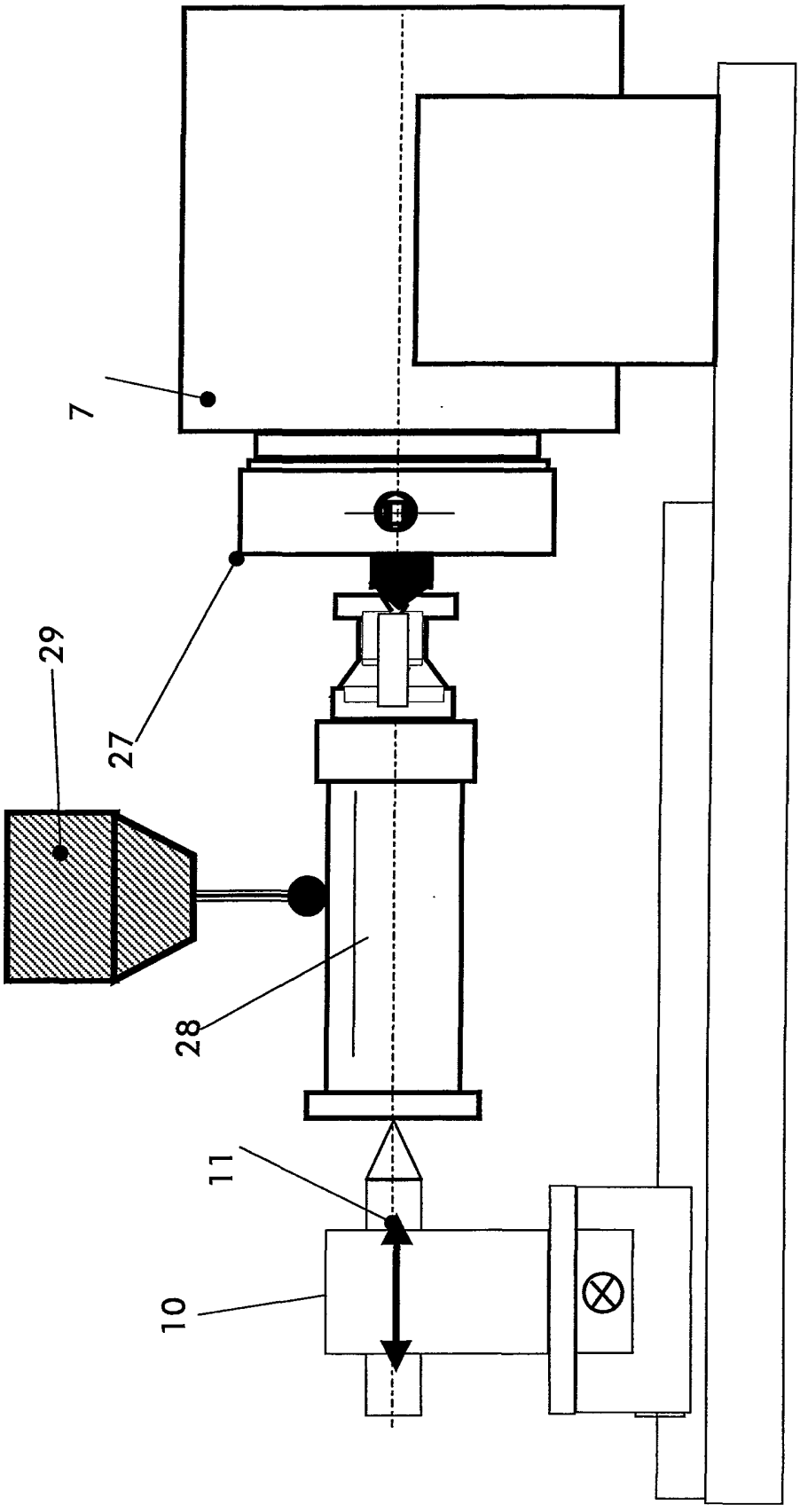



Fig. 8

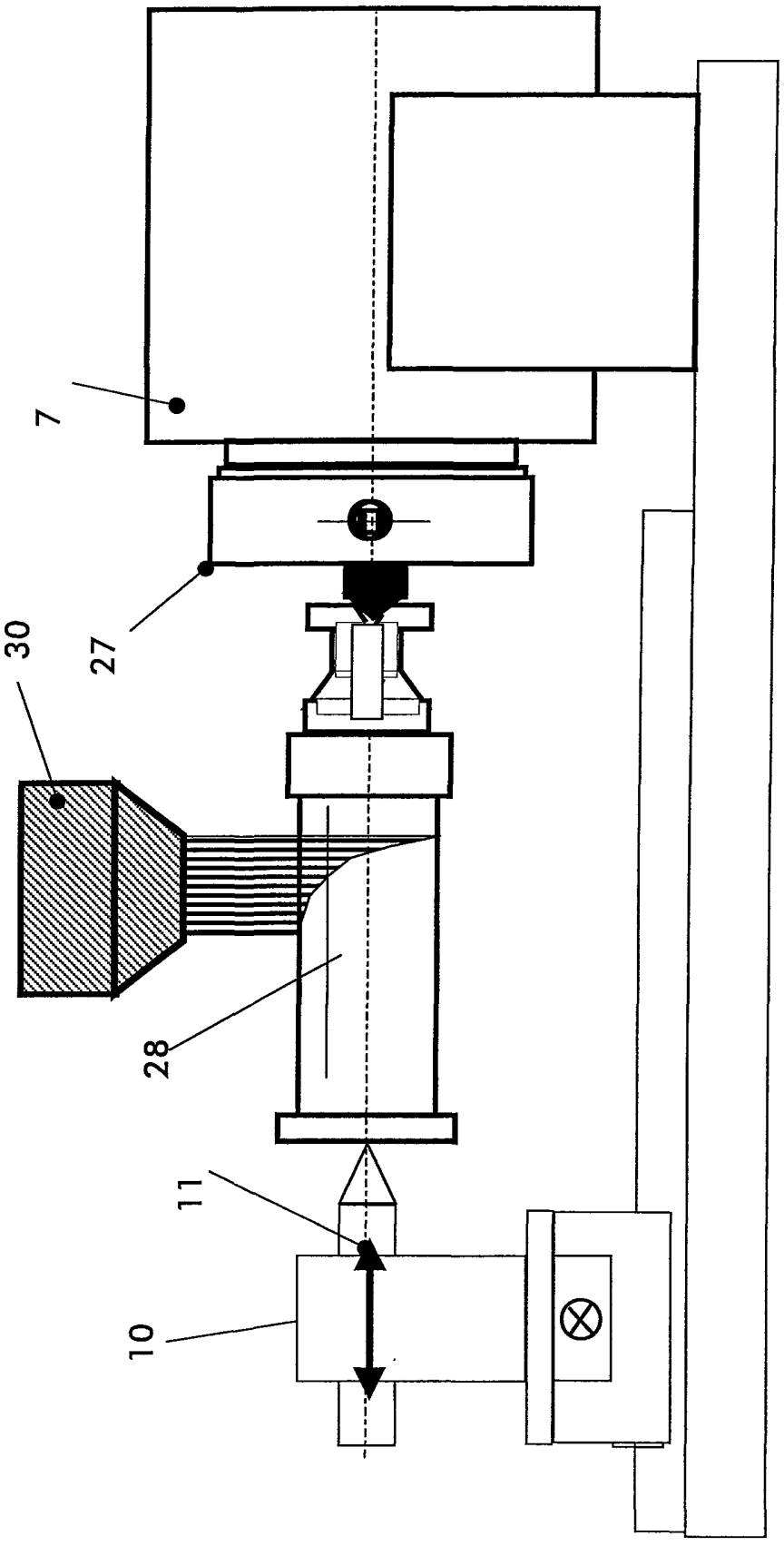



Fig. 9

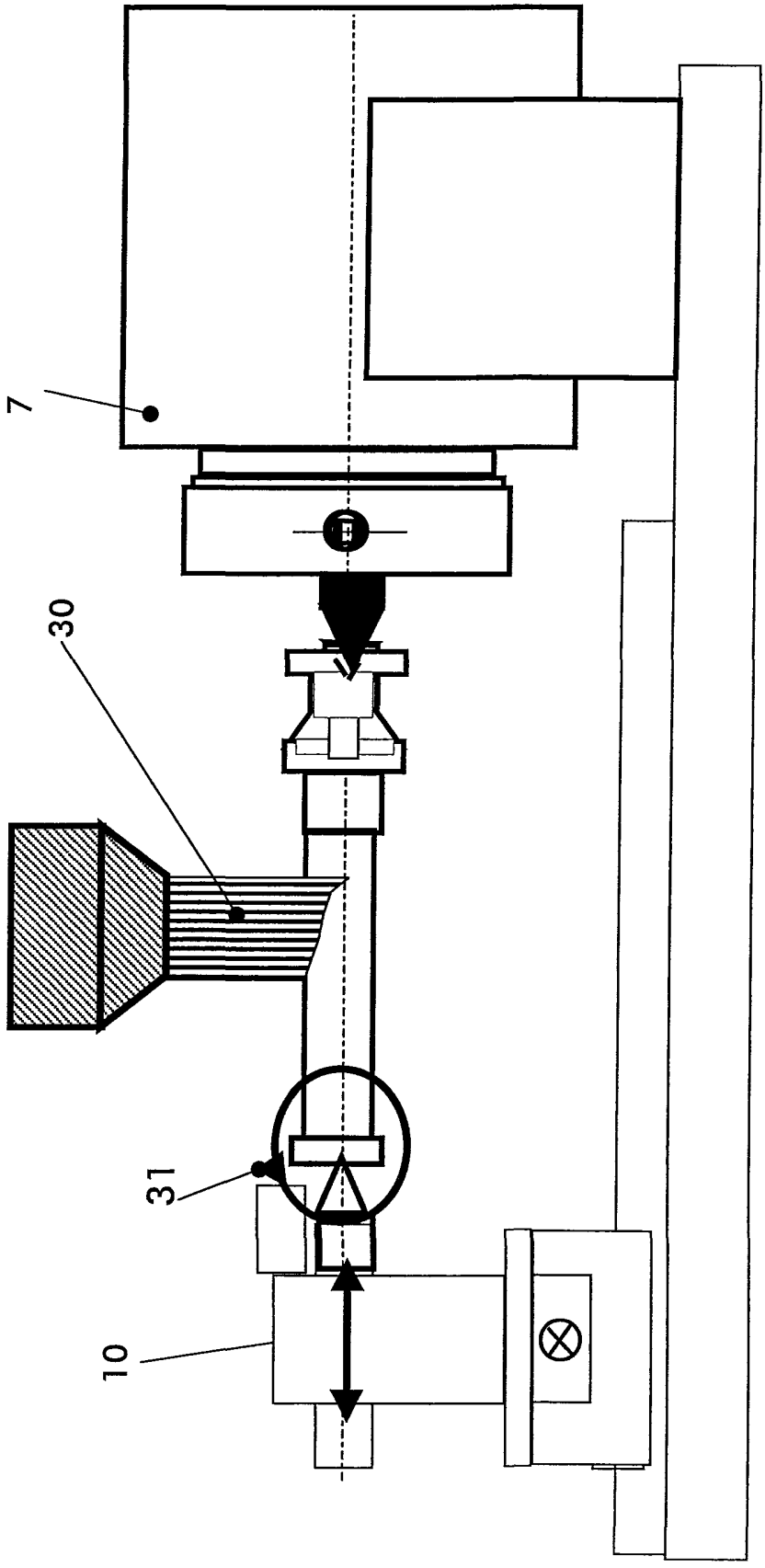



Fig. 10

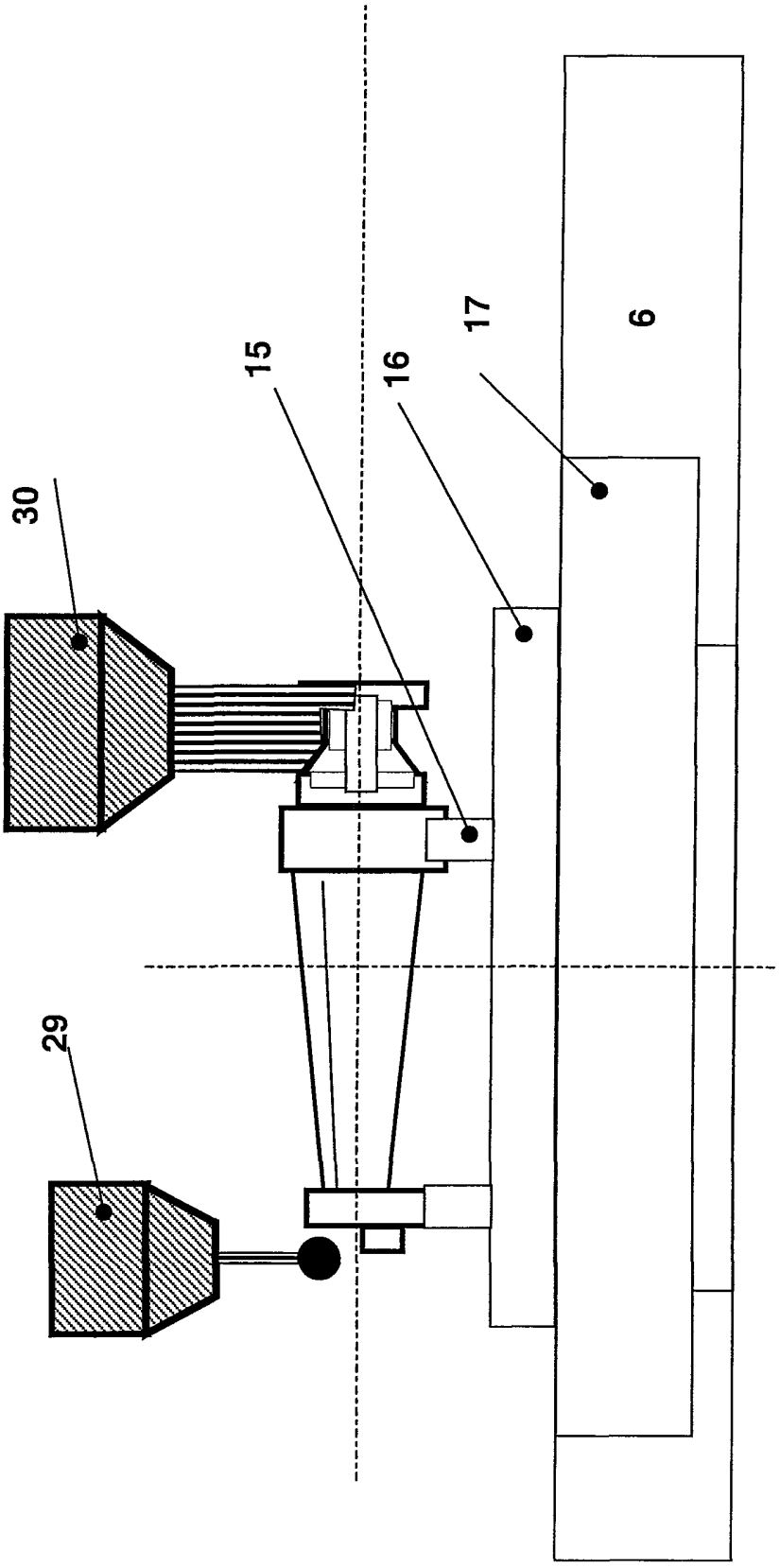



Fig. 11

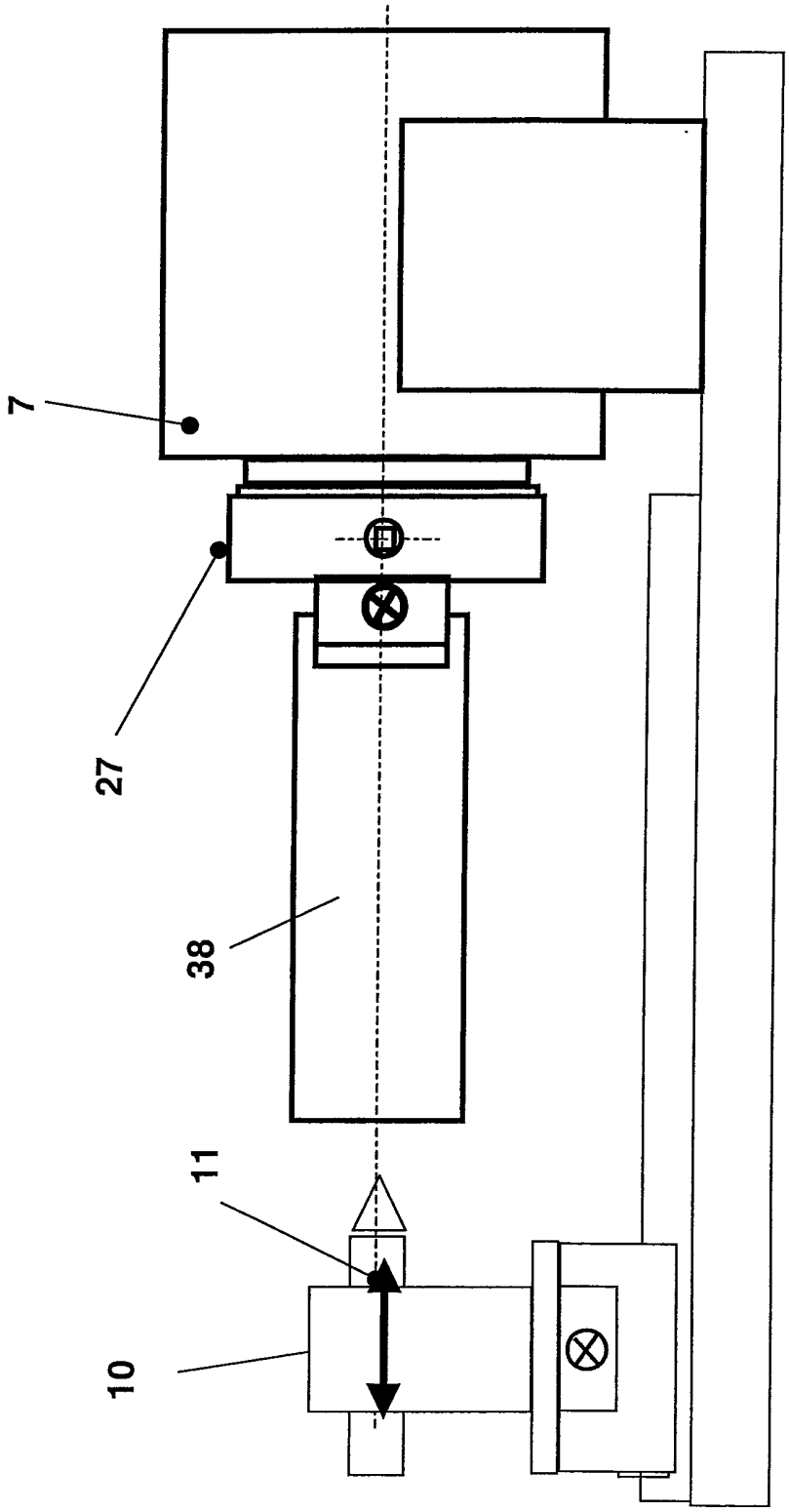



Fig. 12

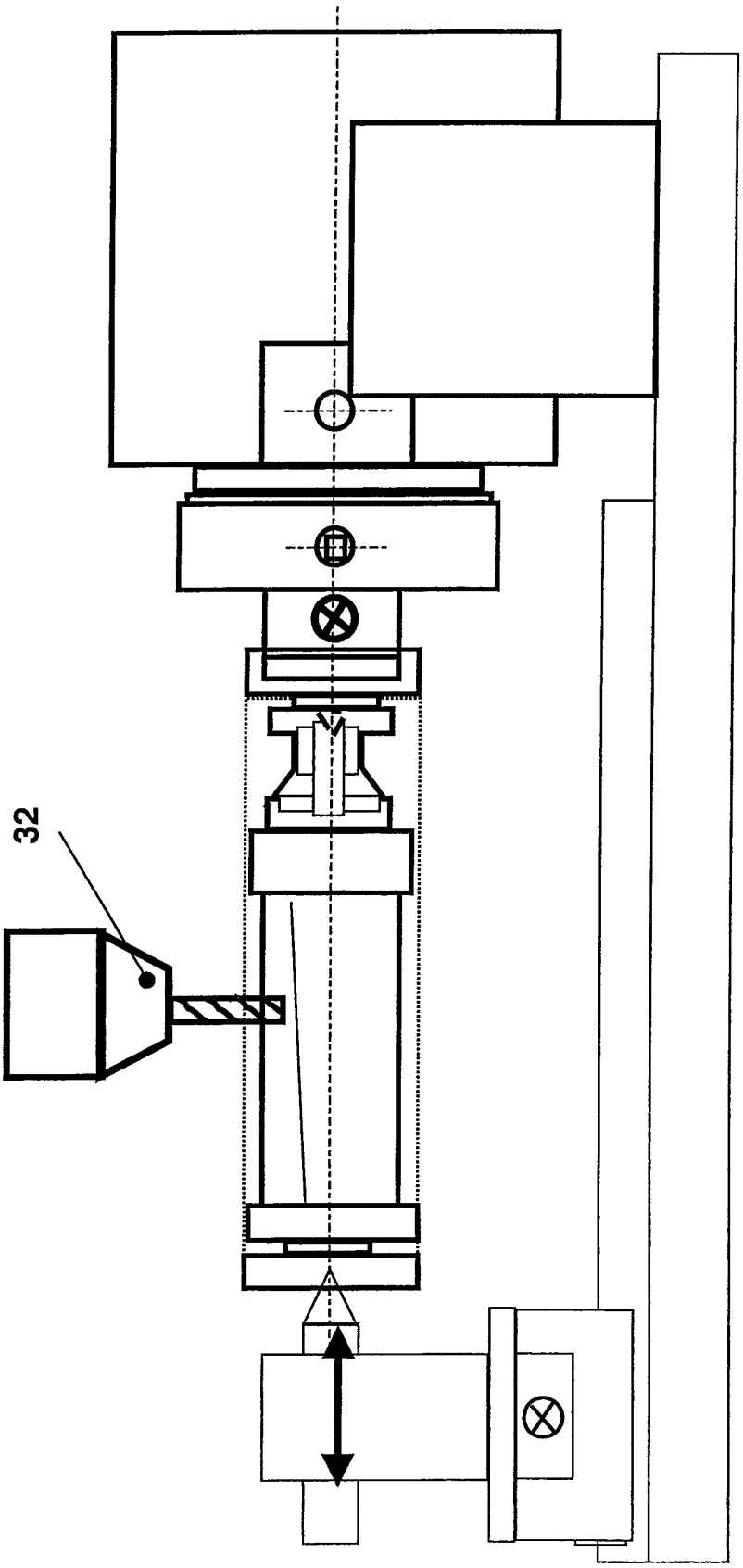



Fig. 13

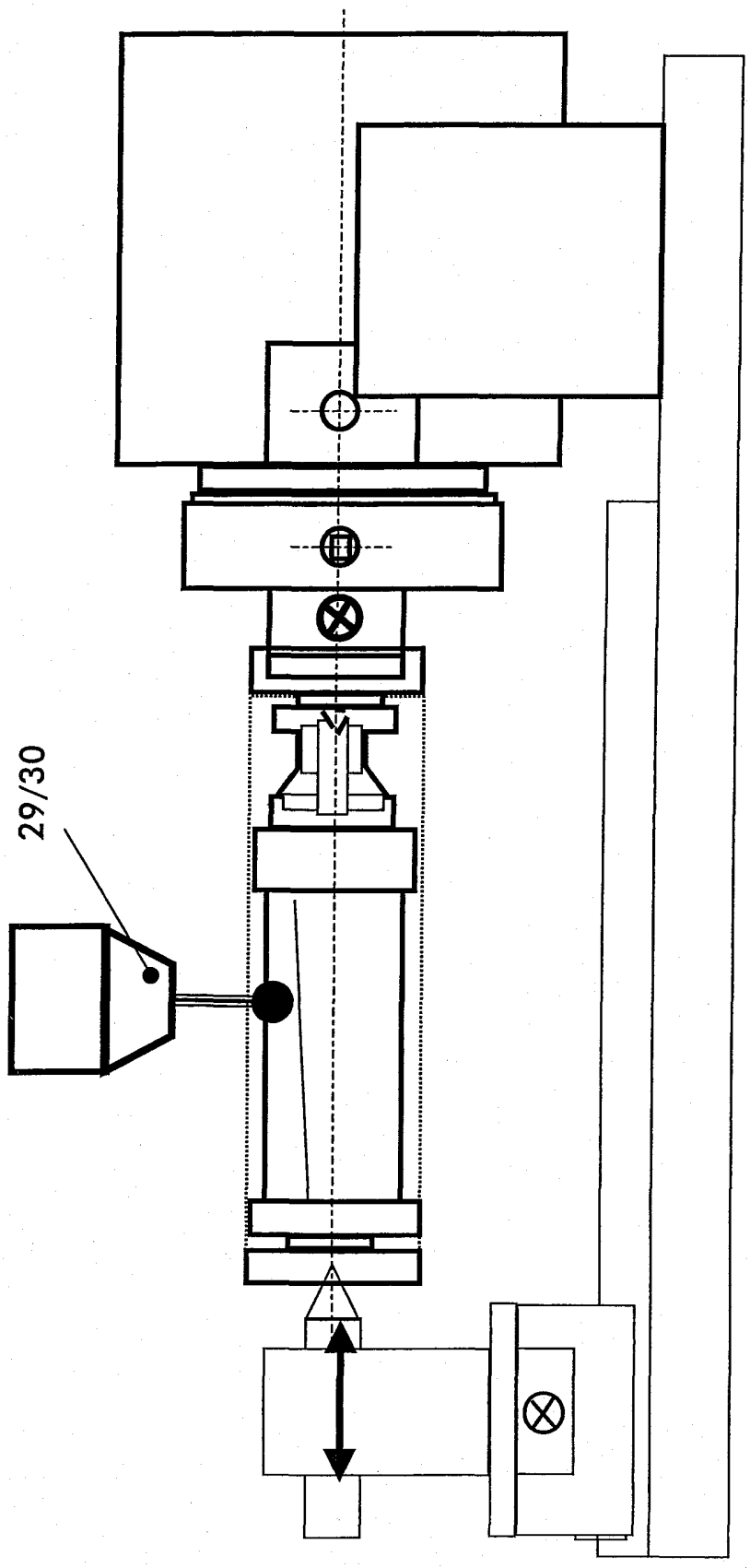



Fig. 14

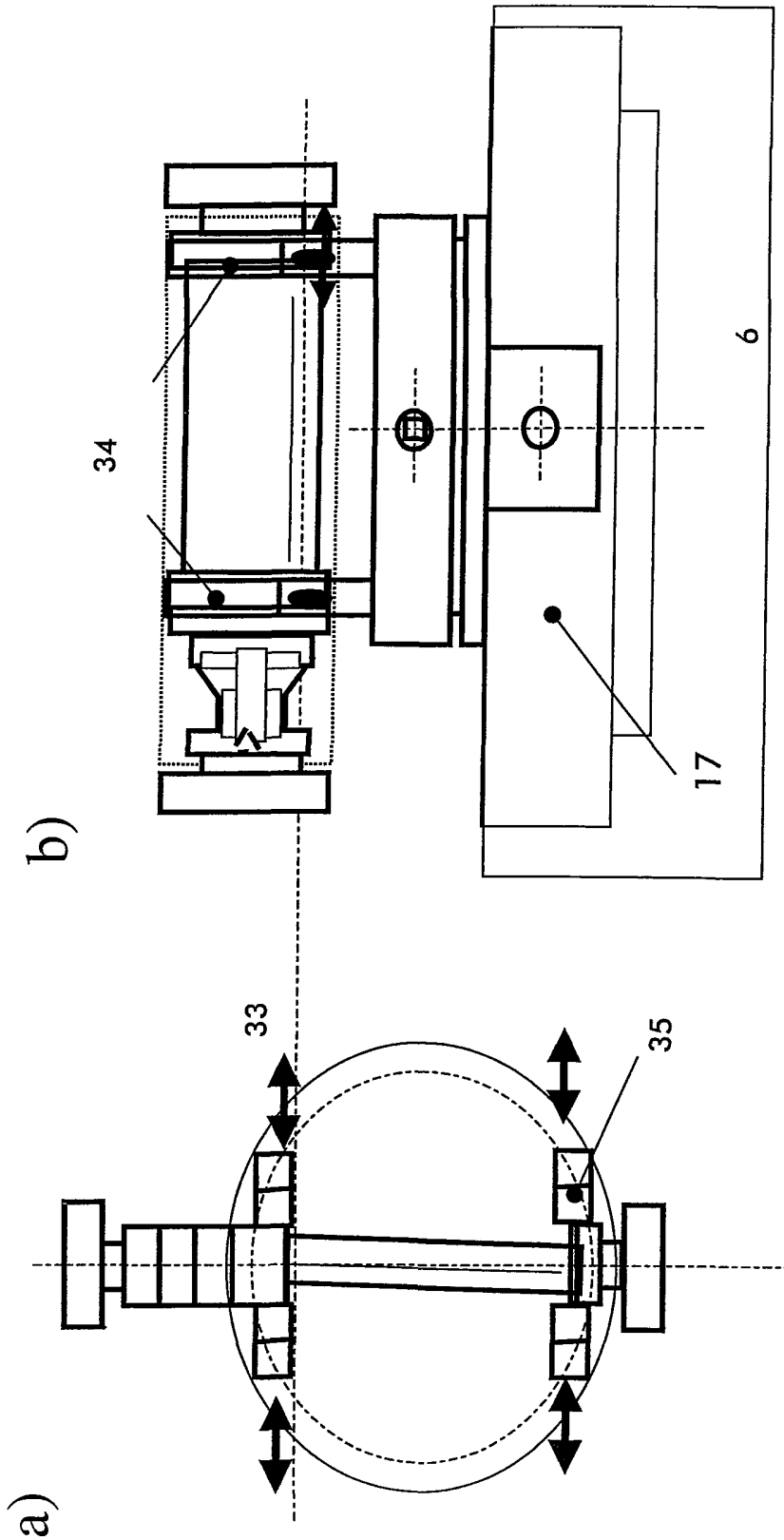



Fig. 15

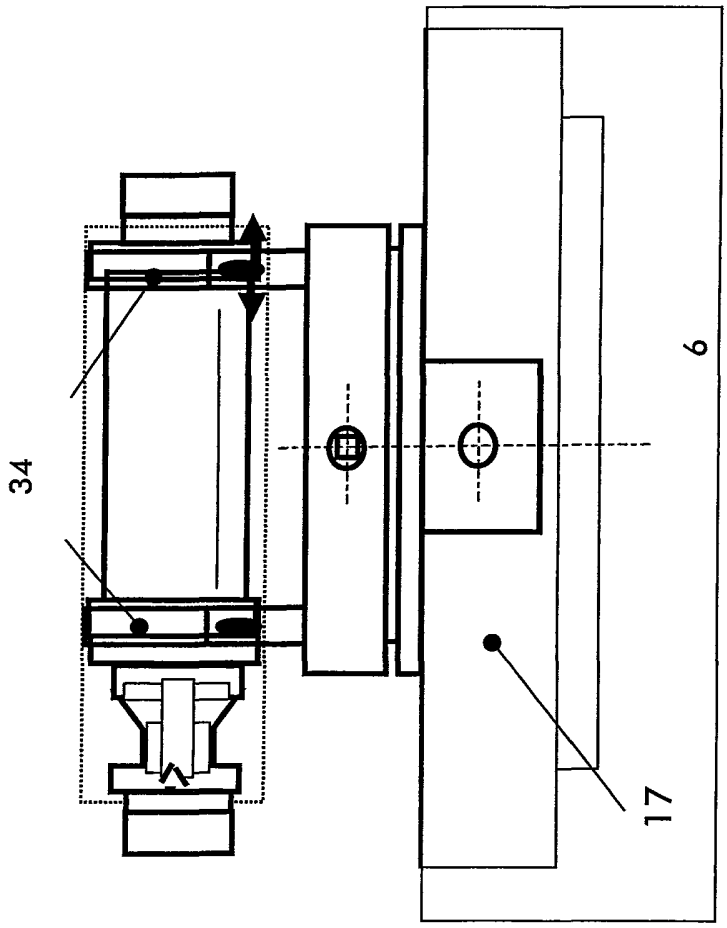



Fig. 16

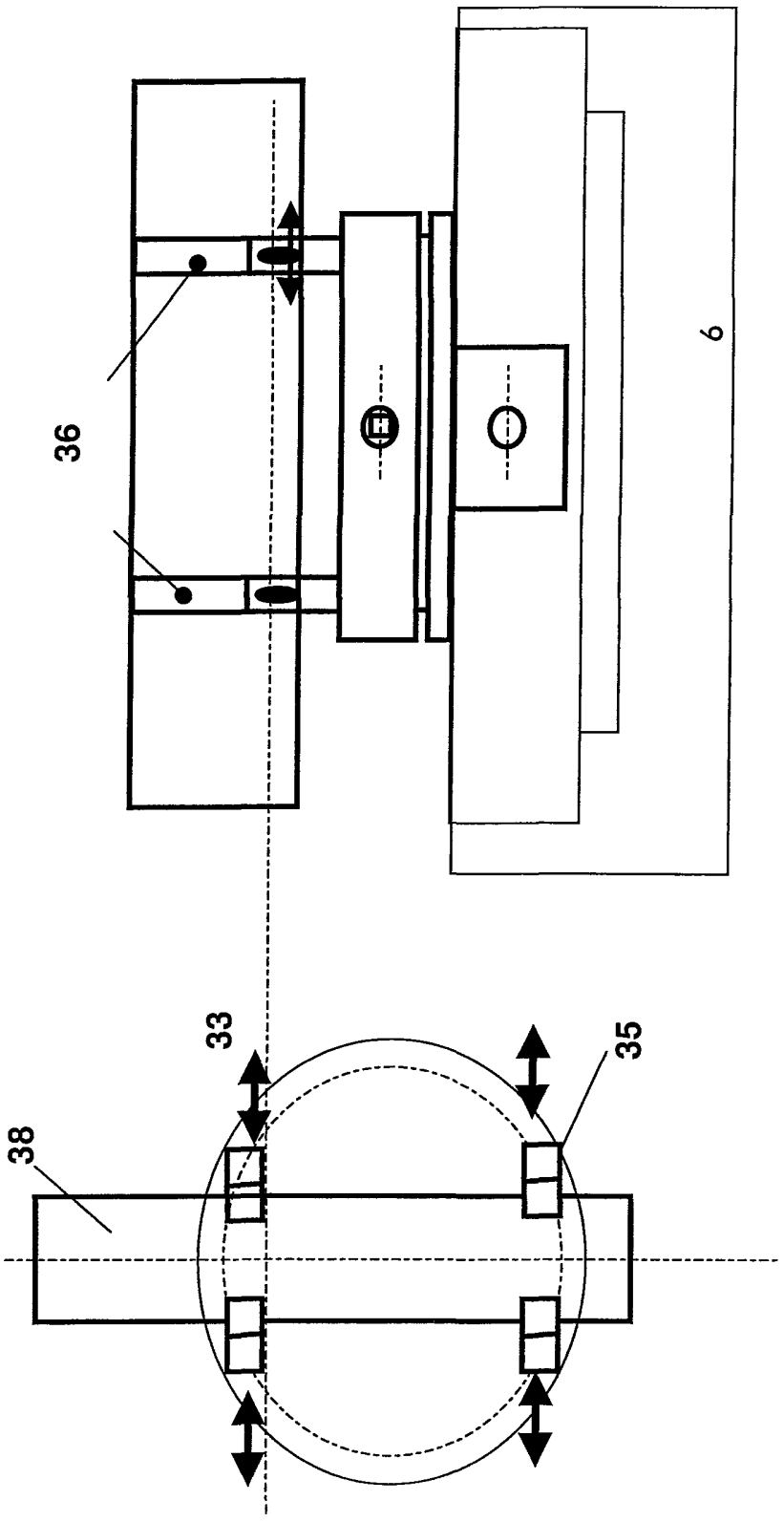



Fig. 17

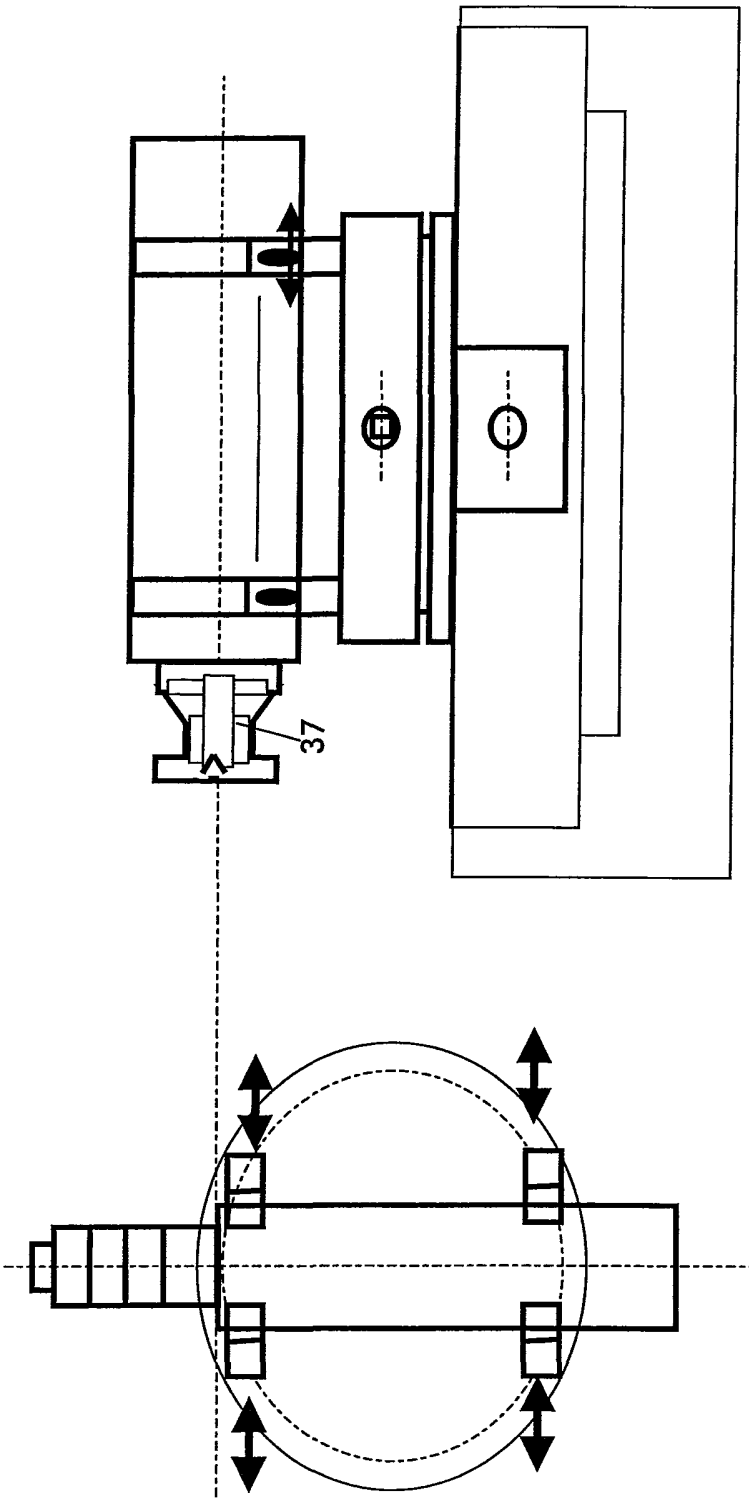



Fig. 18

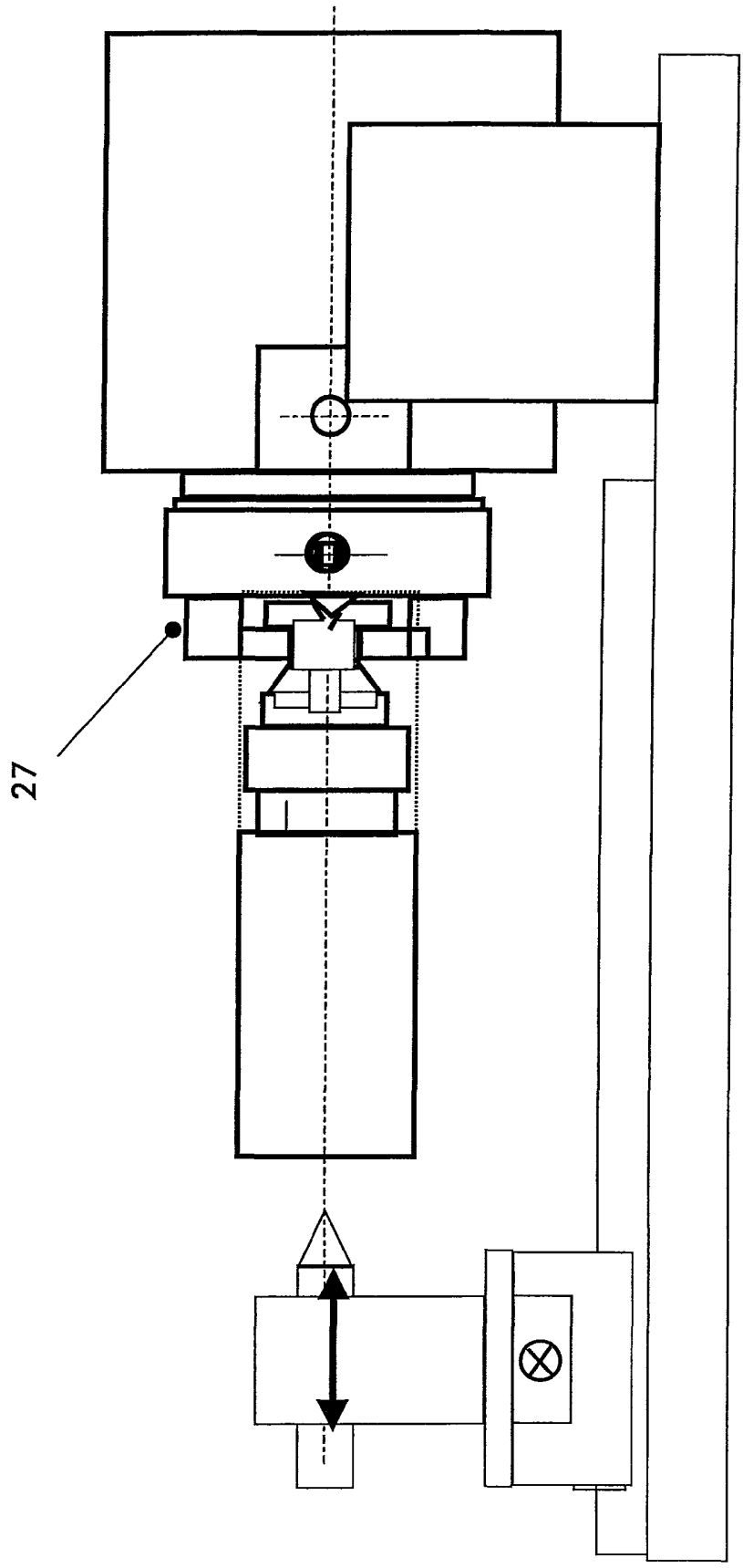



Fig. 19

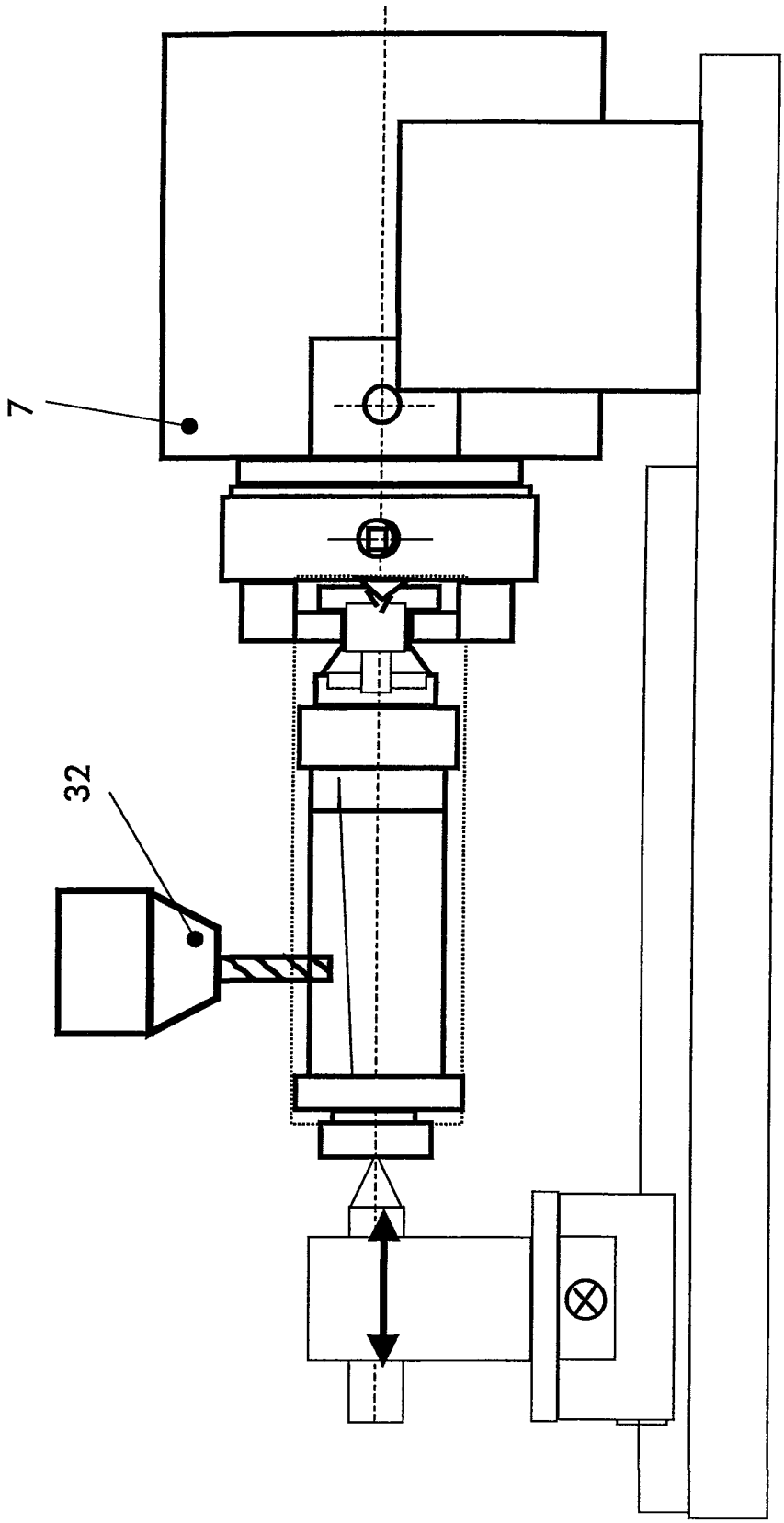



Fig. 20

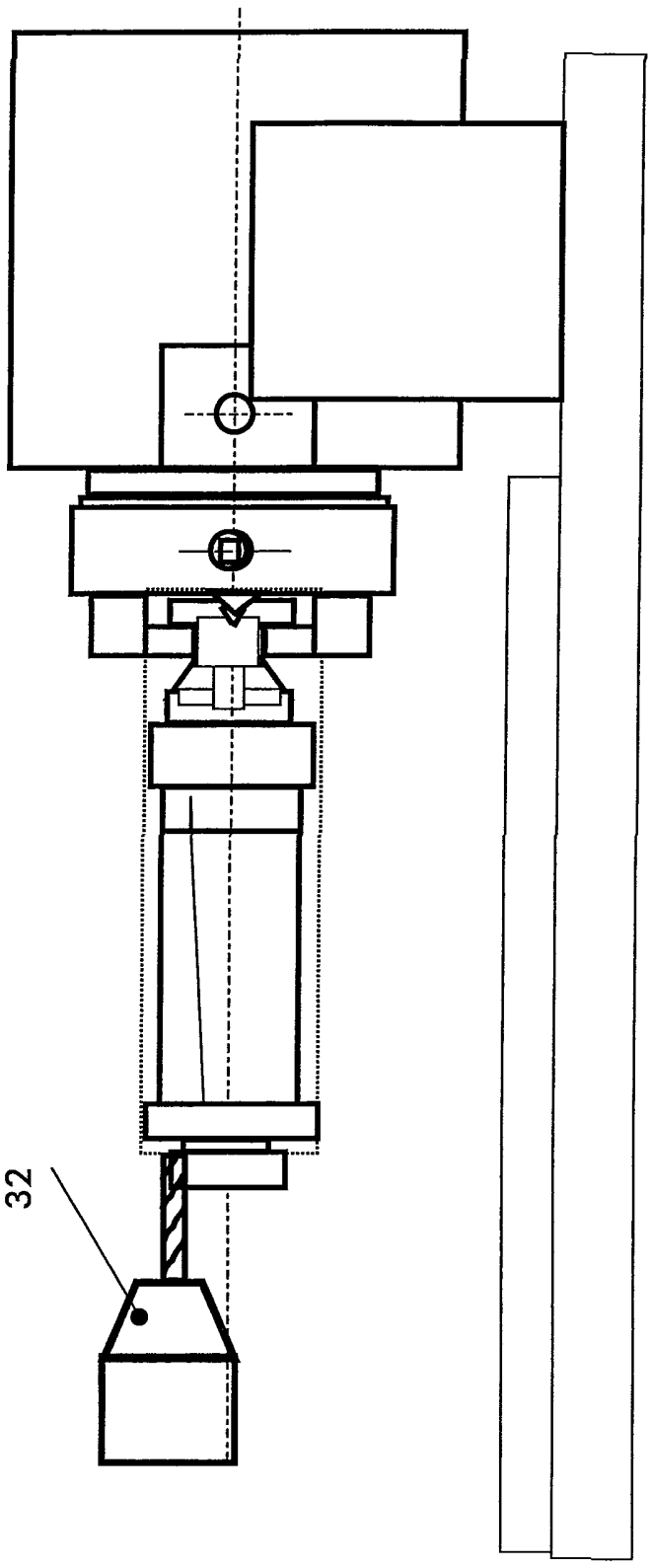



Fig. 21

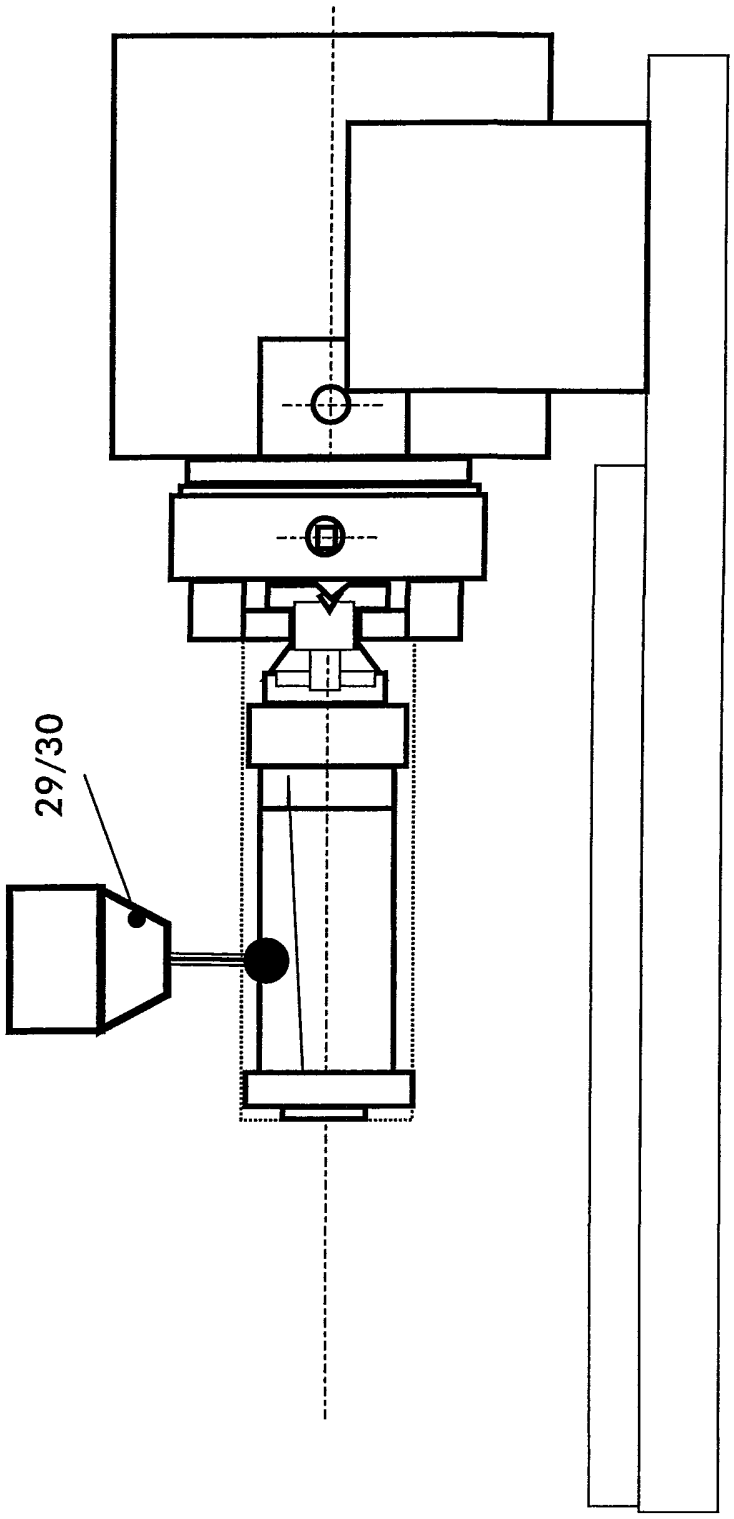



Fig. 22