



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer : **93118704.1**

(51) Int. Cl.⁵ : **F01D 5/06**

(22) Anmeldetag : **22.11.93**

Die Anmeldung wird, wie ursprünglich eingereicht, unvollständig veröffentlicht (Art. 93 (2) EPÜ). Die Stelle der Beschreibung oder der Patentansprüche, die offensichtlich eine Auslassung enthält, ist als Lücke an der entsprechenden Stelle ersichtlich.

Ein Antrag gemäss Regel 88 EPÜ auf Hinzufügung hinsichtlich der Beschreibung liegt vor. Über diesen Antrag wird im Laufe des Verfahrens vor der Prüfungsabteilung eine Entscheidung getroffen werden (Richtlinien für die Prüfung im EPA, A-V, 2.2).

(30) Priorität : **26.11.92 DE 4239710**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung :
06.07.94 Patentblatt 94/27

(84) Benannte Vertragsstaaten :
AT DE DK FR NL

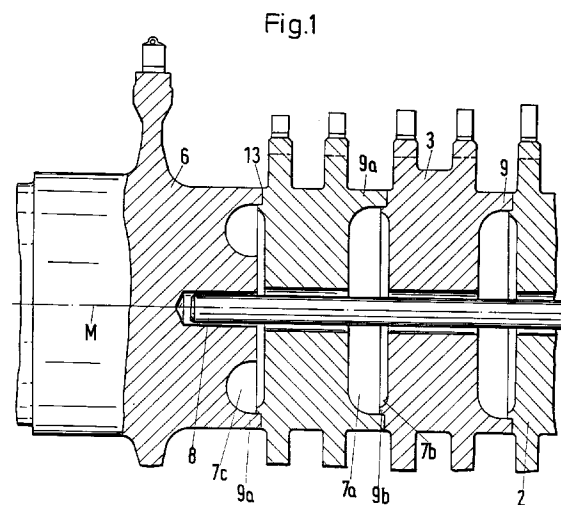
(71) Anmelder : **ABB PATENT GmbH**
Kallstadter Strasse 1
D-68309 Mannheim (DE)

(72) Erfinder : **Flöser, Bernhard**
Gudrunstrasse 6
D-90530 Wendelstein (DE)
Erfinder : **Herold, Bernhard**
Asternweg 6
D-90547 Stein (DE)
Erfinder : **Kerber, Peter**
Adam-Kraft-Strasse 6
D-91126 Schwabach (DE)

(74) Vertreter : **Rupprecht, Klaus, Dipl.-Ing. et al**
c/o ABB Patent GmbH,
Postfach 10 03 51
D-68128 Mannheim (DE)

(54) **Läufer einer Turbine.**

(57) Es ist bekannt, den Läufer einer Turbine aus einzelnen zu einer Einheit zusammengeschweißten Läuferteilen herzustellen. Zur Anwendung kommen dabei herkömmliche Schweißtechniken und die Segmente werden nur vorbearbeitet, so daß eine Nachbearbeitung der Läufer entsprechend einem Vollrotor erfolgen muß. Erfindungsgemäß wird aus Läuferteilen (1 bis 5) ein standardisiertes Baukastensystem geschaffen, das eine den jeweiligen thermodynamischen und rotodynamischen Anforderungen entsprechende Auswahl ermöglicht. Hierzu werden weitgehend fertig bearbeitete Läuferteile (1 bis 5) einschließlich dazugehöriger Läuferseiben (2, 3) verwendet. Das Verschweißen der Läuferteile (1 bis 5) erfolgt durch Elektronenstrahlschweißung und entsprechende Schweißnähte (13) sind in möglichst großen Abstand zur Mittelachse (M) des Läufers gelegt.



Die Erfindung betrifft Verfahren zur Herstellung eines Turbinenläufers nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und einen Turbinenläufer nach dem Oberbegriff des Anspruchs 2.

Der Läufer einer zur Stromerzeugung verwendeten Turbine, so auch einer Dampfturbine, unterliegt hohen Beanspruchungen. Um dem gerecht zu werden und dennoch hohe Standzeiten zu erreichen, andererseits
5 aber die Fertigungskosten in akzeptablen Grenzen zu halten, hat man eine Vielzahl von Konstruktionsmöglichkeiten erdacht, die alle bestimmte Vorteile, aber selbstverständlich auch Nachteile mit sich bringen.

Eine besonders solide, aber in gleicher Weise aufwendige Herstellungsmethode ist es, einen Einstückläufer aus dem Vollen zu schmieden. Die vor der Fertigung erforderliche Materialbestellung kann dabei erst nach Auftragseingang erfolgen und bedingt oft eine lange Lieferzeit, die nicht zuletzt durch die geringe Anzahl
10 der zur Auswahl stehenden Lieferanten verursacht wird. Weiterhin ist keine auftragsunabhängige Vorfertigung und auch keine Parallelbearbeitung von Einzelteilen möglich, so daß sich hohe Fertigungsdurchlaufzeiten ergeben. Schwierigkeiten bereitet auch das Einsetzen von Laufradschaufeln, soweit es sich um axial einsetzbare Schaufelfüße handelt, da zur Nutbearbeitung ein größerer axialer Abstand zwischen den Laufradscheiben erforderlich wird, um mit entsprechenden Werkzeugen arbeiten zu können. Breite Abstände zwischen den Laufrädern verschlechtern jedoch die Rotordynamik.

Eine andere Konstruktion ermöglicht die Herstellung gefügter Läufer mit aufgezogenen, geschrumpften Laufscheiben. Beim Schrumpfen entstehen jedoch zusätzliche Spannungen im Läufer, außerdem besteht an den Fügstellen die Gefahr von Reibkorrosion. Weiterhin ist bekannt, miteinander verzahnte Scheiben über einen Zuganker zusammenzuschrauben, was aber auch nicht unproblematisch ist, da langfristig mit einer
15 Lockerung der Verschraubung gerechnet werden muß.

Einigen der vorgenannten Nachteilen kann man dadurch aus dem Wege gehen, daß man einzelne Läufersegmente bildet, und diese dann zu einer den Läufer bildenden Einheit verschweißt. Derartige Läufer sind z. B. aus der BBC-Firmendruckschrift "Geschweißte Rotoren für Dampfturbinen", Druckschrift Nr. CH-T 060 072 D sowie aus der DE 22 35 961 A1 und der DE 25 22 277 bekannt. Nachteilig bei Läu-
20

Das bedeutet, daß der Läufer wie bei einem aus dem Vollen geschmiedeten Rotor als großes und schweres Einzelstück fertig bearbeitet werden muß. Durch die Segmentierung und weitere Maßnahmen soll der Läufer leichter gemacht werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung eines Läufers und einen Läufer für eine Turbine nach dem im Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. dem Oberbegriff des Anspruchs 2 zu schaffen, der eine ein-
30 fache Fertigung bei geringer Durchlaufzeit ermöglicht.

Diese Aufgabe wird jeweils durch die in den Ansprüchen 1 und 2 gekennzeichneten Merkmale gelöst.

Zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Erfindungsgegenstandes sind in den Unteransprüchen genannt.

Durch den Aufbau eines aus standardisierten Läuferteilen bestehenden Baukastensystems, das weitgehende fertig bearbeiten der einzelnen Teile und die Anwendung einer Elektronenstrahlschweißung bei der Verbindung der Läuferteile gelingt es, unter Verwendung von Stangenmaterial geschmiedete Scheiben als Lagerware zu beschaffen und hierdurch kürzere Lieferzeiten bei größerer Lieferantenauswahl zu erreichen. Die Vorfertigung kann in großem Umfang auftragsunabhängig und unter Parallelbearbeitung der Einzelelemente auf relativ kleinen Werkzeugmaschinen bei verkürzter Durchlaufzeit erfolgen. Die vereinfachten, stabilen Einzelteile ermöglichen eine NC-Fertigung. Die weitgehend fertig bearbeiteten Läuferteile besitzen nur ein geringes Aufmaß an den wichtigsten Passungsstellen, während Planflächen, die Nuten der Laufschaufelfüße etc. fertig bearbeitet sind, so daß nach einer radialen Verschweißung mit dem Elektronenstrahl und einer anschließenden Wärmebehandlung, die Fertigbearbeitung sich auf das Fertigdrehen der Restpassungen beschränkt. Das Zudampfwellenende kann bis auf die Lagerstellen, den Ausgleichskolben und ggf. die Schaufelbefestigung fertig bearbeitet werden. Das Abdampfwellenende kann bis auf die Lagerstellen und den Kupplungsanschluß fertig bearbeitet werden und die Laufräder können bis auf die Außendurchmesser im Schweißnahtbereich fertig bearbeitet werden. Alternativ können die Laufräder auch komplett als Gußteile hergestellt werden, wobei auch Powdermet zum Einsatz kommen kann.
35
40
45

Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß es gelingt besonders kompakte kurze Läufer mit durch das verringerte Gewicht auch besseren dynamischen Eigenschaften zu bauen. Da die weitgehend fertig bearbeiteten Laufscheiben auch bereits mit den für ihre Beschaufelung erforderlichen Nuten versehen sind, muß bei der Vorgabe ihres gegenseitigen Abstandes nicht mehr darauf geachtet werden, daß dieser groß genug ist, um geeigneten Werkzeugen zum Bearbeiten der Nuten ausreichenden Bewegungsraum zu bieten. Der Abstand der aneinandergfügten Laufscheiben kann somit unter rotordynamischen Gesichtspunkten minimiert werden.
50
55

In Weiterbildung des Erfindungsgegenstandes ist es auch möglich, einzelne oder alle Läuferscheiben zu beschaufeln und gegebenenfalls auch schon auszuwuchten, bevor sie miteinander verschweißt werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, zur besseren Werkstoffausnutzung und Anpassung an die Betriebsverhält-

nisse, den Läufer aus Teilen verschiedener Werkstoffe zusammenzusetzen.

Als besonders vorteilhaftes zum Baukastensystem gehöriges Läuferteil hat sich eine Doppellaufscheibe erwiesen, da sich mit dieser eine Optimierung der Modularisierung erreichen läßt. Durch die Vereinigung zweier Läufer-scheiben zu einer Doppellaufscheibe wird einerseits eine hohe Stabilität des Bauelementes gewährleistet, und andererseits eine gute Zugänglichkeit, insbesondere bei der Bearbeitung der Nuten für die Fußteile der Schaufeln erreicht, und außerdem die Zahl der Schweißnähte gegenüber Einzelscheiben reduziert. Ebenso wie die Werkzeuge von außen beidseitig an die Nuten herangeführt werden können, können auch die Schaufeln mit ihrem Schaufelfuß axial in die entsprechend geformten Nuten bequem eingesteckt werden.

In zweckmäßiger Weise besitzen die Läufer-teile eine axiale Bohrung, die zur Aufnahme eines axialen Zugankers dient, der die Teile zusammenhält, so daß diese durch Elektronenstrahlschweißung miteinander verbunden werden können.

Zu dem für die Herstellung eines Läufers konzipierten Baukastensystem gehören außer den bereits genannten Doppellaufscheiben noch Einzellaufscheiben, Zudampfwellenenden, Abdampfwellenenden und Kondensationsendstufentrommeln.

Zur Materialeinsparung einerseits aber auch zur Erleichterung der Elektronenstrahlschweißung andererseits ist bei den Läufer-teilen mindestens einseitig symmetrisch zur Mittelachse eine Aussparung vorgesehen, durch die eine symmetrisch zur Achse liegende ringförmige Manschette entsteht, die am benachbarten Läufer-teil anliegt und die Lage der Schweißnaht definiert.

Bei Stählen mit hoher mechanischer Festigkeit, also insbesondere solchen mit einem relativ hohen Kohlenstoff- und/oder Nickelgehalt, ist die Herstellung guter Schweißnähte erschwert. Um dieses Problem zu beseitigen, ist in weiterer Ausbildung des Erfindungsgegenstandes vorgesehen, die ringförmige Manschette aus einem leichter zu schweißenden Material, vorzugsweise einem Stahl mit niedrigerem Kohlenstoff- und/oder Nickelgehalt herzustellen, als andere Bereiche des Läufer-teils. Dies kann durch entsprechende Verarbeitungsmethoden, wie z. B. Einschmelzen im Vakuum oder eine Schlackenschmelze erzielt werden.

Alternativ dazu ist es auch möglich, den von der Mittelachse entfernter liegenden Bereich der Läufer-scheiben, an dem die Schaufeln befestigt sind, aus einem Stahl höherer mechanischer Festigkeit herzustellen. Die ringförmige Manschette und gegebenenfalls auch der übrige Teil der Läufer-scheibe kann aus einem gut schweißfähigen Material hergestellt werden.

Um eine Verringerung der Festigkeit im Bereich der Schweißnähte entgegenzuwirken, besteht weiterhin die Möglichkeit, daß an dem zur Mittelachse gelegenen Außenbereich der Läufer-teile Verzahnungen vorgesehen sind, die in entsprechende Verzahnungen des benachbarten Läufer-teils eingreifen. Diese Verzahnungen können mindestens einen Teil der Rotationskräfte aufnehmen, wodurch sich eine Entlastung der Schweißnähte ergibt. Zweckmäßig ist es, diese Verzahnungen dann aus einem Stahl höherer mechanischer Festigkeit herzustellen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 einen Ausschnitt aus einem geschweißten Dampfturbinenläufer seitlich im Schnitt,

Fig. 2 die obere Hälfte eines Dampfturbinenläufers teilweise im Schnitt,

Fig. 3 die obere Hälfte eines Dampfturbinenläufers in einer zweiten Variante teilweise im Schnitt und wie Fig. 2 in Seitenansicht,

Fig. 4 eine teilweise beschauelte Läufer-scheibe mit axialen Nuten,

Fig. 5 eine der Figur 4 entsprechende Darstellung mit anderen Axialnuten.

Der in Figur 1 dargestellte Ausschnitt aus einem Läufer entspricht einem Ausschnitt aus Figur 2. Danach besteht der Läufer dieser Ausführung aus einem Zudampfwellenende 1, zwei Doppellaufscheiben 3, einer Einzellaufscheibe 2 und einem Abdampfwellenende 4. Ein Regelrad 6 ist Teil des Dampfwellenendes 1, das aber auch noch weiter unterteilt sein kann. Bei dem Läufer nach Figur 3 kommt zu den bereits aufgezählten Läufer-teilen 1 bis 4 noch eine Kondensationsendstufentrommel 5 hinzu.

Symmetrisch zur Mittelachse M sind die Läufer-teile 1 bis 5 mit unterschiedlichen Ausnehmungen 7a, 7b, 7c versehen, die dafür sorgen, daß ringartige Manschetten 9a, 9b entstehen, die sich gegenseitig übergreifen und so eine konzentrische Ausrichtung zur Achse bewirken.

Alle Läufer-teile besitzen eine axiale Bohrung, durch die ein Zuganker 8 geführt ist, der in das Zudampfwellenende 1 eingeschraubt wird und die Läufer-teile 1 bis 5 zusammenhält. Dort, wo die ringartigen Manschetten 9a mit den benachbarten Läufer-teilen zusammentreffen, können nun durch Elektronenstrahlschweißung Schweißnähte 13 gelegt werden, die für eine Verbindung der Läufer-teile 1 bis 5 zu einem einzigen Läufer sorgen.

Durch die Modularisierung des Läufers können die zum Schneiden der Nuten benötigten Werkzeuge sowohl bei den Einzellaufscheiben 2, als auch bei den Doppellaufscheiben 3 bequem von den Außenseiten her-

angeführt werden. Somit ist es möglich, beliebig unterschiedliche Nutenformen, wie sie in Figur 4 und 5 dargestellt sind, zu realisieren und Schaufeln 10 mit ihren Schaufelfüßen 11 und 12 axial in die Läuferscheiben 2 einzusetzen.

5 Somit ermöglicht diese Scheibenkonstruktion jede Art von Schaufelbefestigung und ihre Fertigung kann in einfacher Weise auf kleineren Werkzeugmaschinen durchgeführt werden. Eine Verarbeitung mit aufgeschweißten Schaufeln oder komplexen Laufscheiben aus Powdermet ist ebenfalls möglich. Durch Parallelbearbeitung sind sehr kurze Durchlaufzeiten erreichbar.

10 Auf die Darstellung einer die Schweißnähte entlastenden Verzahnung zwischen den Läuferteilen wurde verzichtet, da es sich um übliche, dem Fachmann geläufige Ausbildungen handelt.

Patentansprüche

- 15 1. Verfahren zur Herstellung des Läufers einer Turbine, insbesondere einer Dampfturbine, aus einzelnen zu einer Einheit zusammengeschweißten Läuferteilen (1 bis 5), **gekennzeichnet** durch folgende für den Herstellungsvorgang wesentliche Fertigungsschritte:
 - 20 - Basierend auf einem Baukastensystem mit Zudampfwellenenden (1), Einzellaufscheiben (2), Doppellaufscheiben (3), Abdampfwellenenden (4) und ggf. Kondensationsendstufentrommeln (5), zum Erstellen verschiedener Laufervarianten, werden auftragsabhängig die für eine bestimmte Turbine benötigten Teile des Läufers zeitparallel hergestellt und/oder bevorratete Teile vom Lager genommen,
 - die Herstellung der Teile erfolgt mit der Vorgabe die am zusammengesetzten Läufer noch erforderlichen Nacharbeiten zu minimieren, insbesondere werden die Nuten (14,15) zur Aufnahme der Laufschaufelfüße (11,12) fertig bearbeitet,
 - 25 - die Teile werden mit einem Strahl hoher Leistungsdichte, vorzugsweise einem Elektronenstrahl, verzugsarm verbunden,
 - es werden die benötigten Laufschaufeln ausgewählt und die Läuferscheiben schon vor oder erst nach dem Verbinden der Teile beschaufelt,
 - der aus den einzelnen Teilen zusammengesetzte Läufer wird fertig bearbeitet.
- 30 2. Läufer einer Turbine, insbesondere einer Dampfturbine, der aus einzelnen zu einer Einheit zusammengeschweißten Läuferteilen (1 bis 5) besteht, **dadurch gekennzeichnet**, daß die einzelnen Läuferteile (1 bis 5), einschließlich dazugehöriger Läuferscheiben (2, 3), weitgehend fertig bearbeitet und insbesondere Nuten (14,15) für die Laufschaufelfüße (11,12) bereits fertig sind und zu einem die Teile des Läufers standardisierenden Baukastensystem gehören, das eine den jeweiligen thermodynamischen und rotodynamischen Anforderungen entsprechende Auswahl ermöglicht, und daß das Verschweißen der Läuferteile (1 bis 5) durch einen Strahl hoher Leistungsdichte, vorzugsweise durch Elektronenstrahlschweißung, erfolgt und entsprechende Schweißnähte (13) in möglichst großem Abstand zur Mittelachse (M) des Läufers gelegt sind.
- 35 3. Läufer nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der Läuferscheiben (2, 3) komplett oder teilweise beschaufelt und gegebenenfalls auch ausgewuchtet ist.
- 40 4. Läufer nach einem der vorhergehenden Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Läuferteile (1 bis 5) aus verschiedenen Werkstoffen hergestellt sind.
- 45 5. Läufer nach einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine seiner Läuferscheiben als Doppellaufscheibe (3) ausgebildet ist.
- 50 6. Läufer nach einem der vorhergehenden Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die durch Elektronenstrahlschweißung miteinander zu verbindenden Läuferteile (1 bis 5) eine axiale Bohrung besitzen, die zur Aufnahme eines axialen Zugankers (8) dient, der während des Schweißvorganges die Teile zusammenhält.
- 55 7. Läufer nach einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß außer Doppellaufscheiben (3) noch Einzellaufscheiben (2), Zudampfwellenenden (1), Abdampfwellenenden (4), und Kondensationsendstufentrommeln (5) zu dem Baukastensystem gehören.
8. Läufer nach einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Läuferteile

(1 bis 5) mindestens einseitig eine symmetrisch zur Mittelachse (M) liegende Aussparung (7) besitzen, durch die eine ringförmige Manschette (9) entsteht, die am benachbarten Läufer teil anliegt und die Lage der Schweißnaht (13) definiert.

- 5 **9.** Läufer nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die ringförmige Manschette (9) aus einem leichter zu schweißenden Material, vorzugsweise einem Stahl mit niedrigerem Kohlenstoff- und/oder Nickelgehalt, besteht als andere Bereiche des Läufer teils (1 bis 5).
- 10 **10.** Läufer nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der äußere, von der Mittelachse (M) entfernter liegende Bereich der Läufer scheiben, an dem die Schaufeln (10) befestigt sind, aus einem Stahl höherer mechanischer Festigkeit, vorzugsweise aus Stahl mit höherem Kohlenstoff- und/oder Nickelgehalt, besteht als andere Bereiche der Läufer scheibe, insbesondere die ringförmige Manschette (9).
- 15 **11.** Läufer nach einem der vorhergehenden Ansprüche 2 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß außen an dem zur Mittelachse (M) gelegenen Bereich der Läufer teile (1 bis 5) Verzahnungen vorgesehen sind, die in entsprechende Verzahnungen des benachbarten Läufer teils (1 bis 5) eingreifen.
- 20 **12.** Läufer nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Bereich der Verzahnungen aus einem Stahl höherer mechanischer Festigkeit, vorzugsweise aus Stahl mit höherem Kohlenstoff- und/oder Nickelgehalt, besteht als andere Bereiche der Läufer scheibe, insbesondere die ringförmige Manschette (9).

25

30

35

40

45

50

55

Fig.1

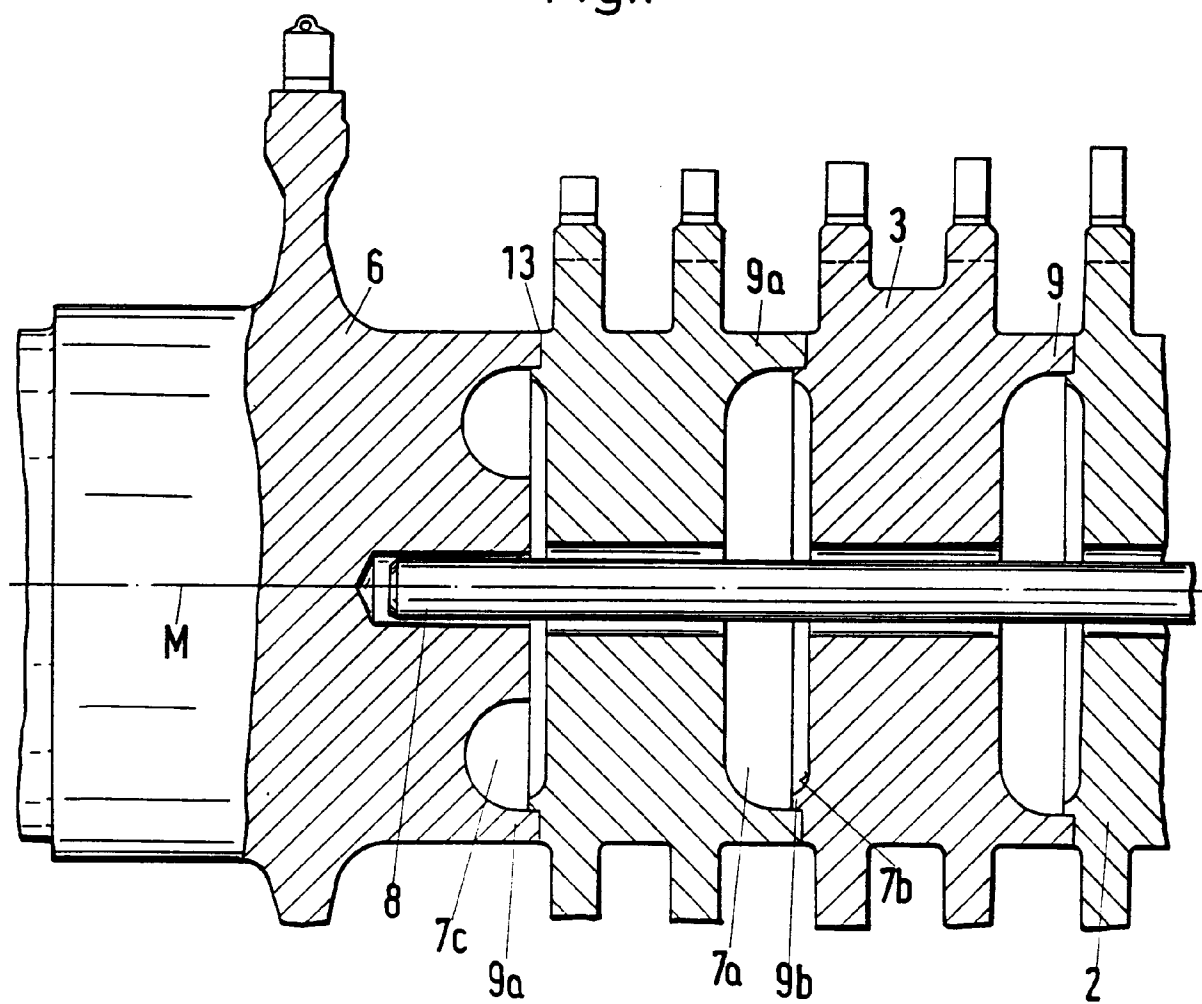


Fig.2

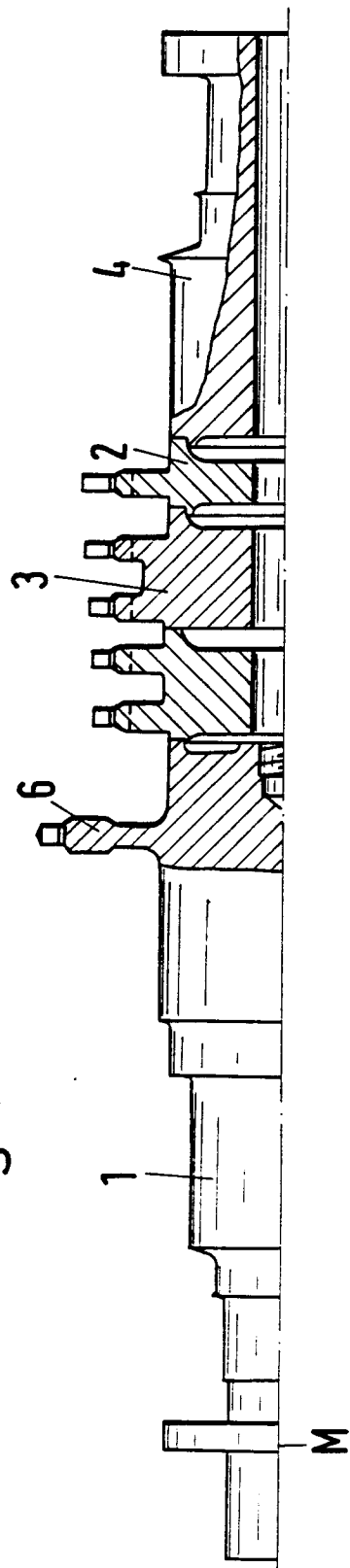


Fig.3

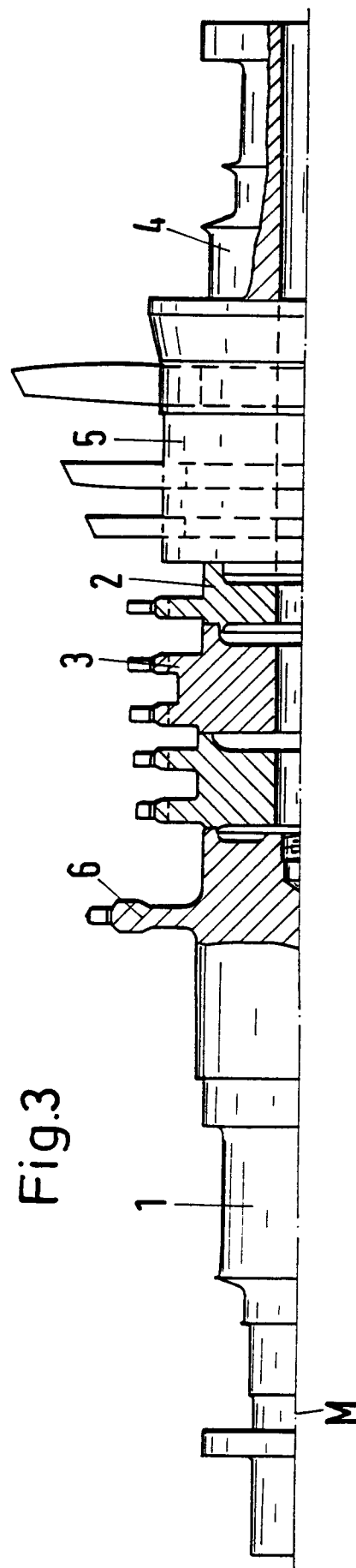


Fig.4

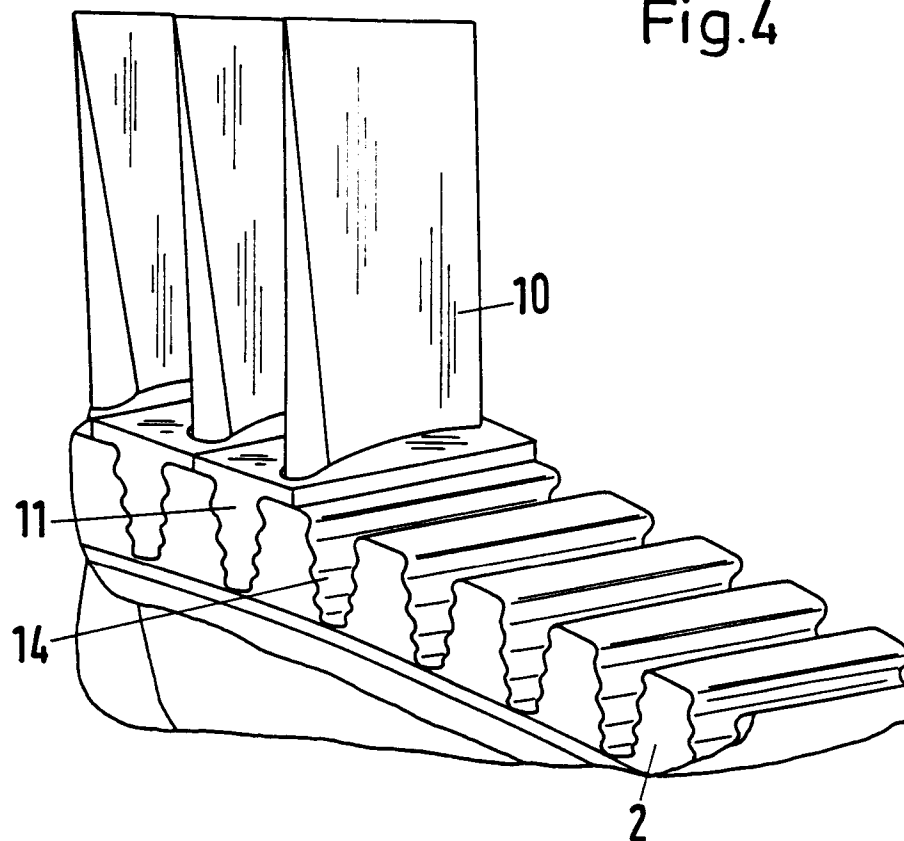
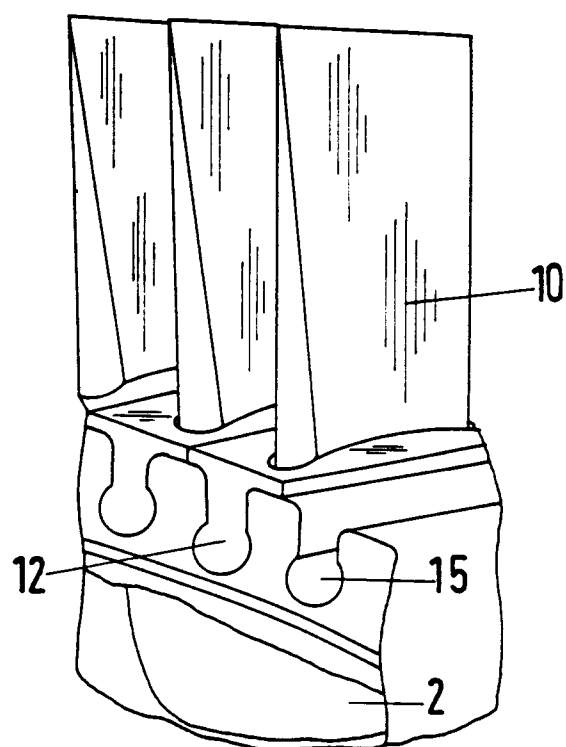


Fig.5





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 93 11 8704

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.5)
X A	FR-A-2 225 038 (ALSTHOM) * das ganze Dokument * ---	1,2,8,9 3-7	F01D5/06
X A	FR-A-2 211 039 (ALSTHOM) * das ganze Dokument * ---	1,2,5,7, 8 3,4,9,10	
X	DE-B-11 40 306 (DAIMLER - BENZ) * das ganze Dokument * ---	1,2	
X	FR-A-2 264 205 (CREUSOT - LOIRE) * das ganze Dokument * ---	1,2	
A	CH-A-419 186 (ESCHER WYSS) * das ganze Dokument * ---	1,2,4, 8-10	
A	US-A-2 637 521 (CONSTANTINE) * das ganze Dokument * ---	1,2,6	
A	CH-A-83 372 (ESCHER WYSS) Seite 3, like Spalte, letzter Absatz * Abbildungen 4,5 * ---	1,2,11	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.5)
A,D	DE-A-25 22 277 (ALSTHOM) * das ganze Dokument * ---	1,2,4,9, 10	F01D
D,A	DE-A-22 35 961 (ALSTHOM) ---		
A	GB-A-822 172 (ROLLS - ROYCE) -----		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 27. Januar 1994	Prüfer Iverus, D
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 01.82 (P04C03)