

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 991 850 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:

13.02.2002 Patentblatt 2002/07

(51) Int Cl.7: **F01D 5/08**, F01D 25/12

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/DE98/01618

(21) Anmeldenummer: **98936164.7**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 99/00583 (07.01.1999 Gazette 1999/01)

(22) Anmeldetag: **15.06.1998**

(54) **TURBINENWELLE EINER DAMPFTURBINE MIT INTERNER KÜHLUNG SOWIE VERFAHREN ZUR KÜHLUNG EINER TURBINENWELLE**

INTERNALLY COOLED STEAM TURBINE SHAFT AND METHOD FOR COOLING THE SAME

ARBRE DE TURBINE A VAPEUR AVEC REFROIDISSEMENT INTERNE ET PROCEDE POUR
REFROIDIR UN ARBRE DE TURBINE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT CH DE ES FR GB IT LI PT SE

(30) Priorität: **27.06.1997 DE 19727406**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

12.04.2000 Patentblatt 2000/15

(73) Patentinhaber: **SIEMENS**

AKTIENGESELLSCHAFT

80333 München (DE)

(72) Erfinder:

• **FELDMÜLLER, Andreas**

D-44789 Bochum (DE)

• **KUHN, Ralf**

D-40549 Düsseldorf (DE)

• **SASSE, Stefan**

D-47198 Duisburg (DE)

• **ULMA, Andreas**

D-45481 Mülheim an der Ruhr (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

WO-A-97/25521

US-A- 4 573 808

US-A- 5 498 131

US-A- 5 507 620

US-A- 5 695 319

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).

EP 0 991 850 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Turbinenwelle einer Dampfturbine, insbesondere zur Aufnahme der Hochdruck- und Mitteldruck-Beschaufelung, sowie ein Verfahren zur Kühlung der Turbinenwelle einer Dampfturbine.

[0002] Zur Steigerung des Wirkungsgrades einer Dampfturbine trägt die Verwendung von Dampf mit höheren Drücken und Temperaturen bei. Die Verwendung eines solchen Dampfes stellt erhöhte Anforderungen an die entsprechende Dampfturbine. Bei einer Dampfturbine in einem Leistungsbereich von einigen 100 MW eignet sich eine einsträngige Dampfturbine mit Hochdruck- und Mitteldruckteilturbine sowie nachgeschalteter Niederdruckteilturbine. Von der gegebenenfalls aus mehreren Segmenten zusammengesetzten Turbinenwelle werden sowohl die Hochdruck-Laufschauflern als auch die Mitteldruck-Laufschauflern aufgenommen. Jede Teilturbine kann ein Innengehäuse und ein Außengehäuse aufweisen, welche jeweils z.B. horizontal geteilt und miteinander verschraubt sind. Der durch den Hochdruck-Dampf gekennzeichnete Frischdampfzustand kann bei etwa 170 bar und 540 °C liegen. Im Zuge der Steigerung des Wirkungsgrades kann ein Frischdampfzustand bis 270 bar und 600 °C angestrebt werden. Der Hochdruck-Dampf wird der Turbinenwelle zugeführt und durchströmt die Hochdruck-Beschaufelung bis zu einem Austrittsstutzen. Der hierbei entspannte und abgekühlte Dampf kann einem Kessel zugeführt und dort erneut aufgeheizt werden. Der Dampfzustand am Ende der Hochdruck-Teilturbine wird im folgenden als "kalte Zwischenüberhitzung" und der Dampfzustand nach Verlassen des Kessels als "heiße Zwischenüberhitzung" bezeichnet. Der aus dem Kessel austretende Dampf wird der Mitteldruck-Beschaufelung zugeführt. Der Dampfzustand kann bei 30 bar bis 50 bar und 540 °C liegen, wobei eine Steigerung auf einen Dampfzustand von etwa 50 bar bis 60 bar und 600 °C angestrebt wird. In einem Dampfeinströmbereich, insbesondere der Mitteldruck-Teilturbine, können konstruktive Maßnahmen durchgeführt sein, bei denen über eine Wellenabschirmung die Turbinenwelle vor einem unmittelbaren Kontakt mit dem Dampf geschützt ist.

[0003] In der DE 19531290 A1 ist ein Rotor für thermische Turbomaschinen, bestehend aus einem auf einer Welle angeordneten Verdichterteil, einem Mittelteil und einem Turbinenteil, angegeben. Der Rotor ist vorwiegend aus einzelnen miteinander verschweißten Rotationskörpern zusammengebaut, deren geometrische Form zur Ausbildung von axialsymmetrischen Hohlräumen zwischen den jeweils benachbarten Rotationskörper führt. Der Rotor weist einen axialgerichteten, sich vom einströmseitigen Ende des Rotors bis zum stromaufwärts letzten Hohlraum reichenden zylinderförmigen Hohlraum, auf. In diesem zylindrischen Hohlraum sind zumindest zwei Rohre mit voneinander verschiedenen Durchmessern und Längen platziert. Hierdurch soll der

Rotor der Turbomaschine innerhalb kürzester Zeit auf seinen Betriebszustand bringbar und leicht thermisch regulierbar sein, d.h. je nach Anforderung mit relativ wenig Aufwand heiz- oder kühlbar sein.

[0004] Die US-PS 5,054,996 betrifft einen Gasturbinenrotor aus mit einem axialen Zuganker miteinander verbundenen Rotorscheiben. Durch den Gasturbinenrotor wird Luft geleitet, wodurch der Rotor und die Rotorscheiben im wesentlichen gleichmäßig heizbar und kühlbar sind.

[0005] In dem Patent Abstract of Japan N-303, June 20, 1984, Vol. 8, No. 132 zur japanischen Patentanmeldung JP-A-59-34402 ist eine Turbinenwelle für eine Dampfturbine beschrieben. Diese Turbinenwelle einer einzigen Dampfturbine weist in ihrem Inneren eine axiale Bohrung auf, in die mittig Kühlfluid eingeleitet wird, welches beidseitig an den Enden der Bohrung wieder hinausströmt.

[0006] Aus der US-Patentschrift 5,498,131 geht eine Dampfturbinenanlage mit einem System zur Reduzierung thermomechanischer Spannungen hervor, die beim Anfahren oder Abfahren der Dampfturbinenanlage in einer Turbinenwelle auftreten können. Hierzu weist die Dampfturbinenanlage eine Hochdruckteilturbine und eine Mitteldruckteilturbine auf mit einer einzigen Turbinenwelle, welche eine vollständig durchgehende zentrale Bohrung aufweist. Der zentralen Bohrung kann über ein separates Zuführungssystem für Warmdampf jeweils außerhalb des Gehäuses der Teilturbinen während des Anfahrens oder Abfahrens der Dampfturbinenanlage Warmdampf zugeführt werden. Zwischen den beiden Teilturbinen, d.h. etwa in der Mitte der Turbinenwelle, wird dieser Warmdampf aus der zentralen Bohrung wieder abgeführt. Durch dieses System ist ein verbessertes und kontrolliertes Durchlaufen des transienten Anfahr- oder Abfahrzustands in kurzer Zeit möglich.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Turbinenwelle einer Dampfturbine anzugeben, die insbesondere lokal auftretenden hohen betrieblichen Temperaturbelastungen langzeitstabil standhält. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Kühlung einer Turbinenwelle einer Dampfturbine anzugeben.

[0008] Erfindungsgemäß wird die auf eine Turbinenwelle einer Dampfturbine gerichtete Aufgabe dadurch gelöst, daß die Turbinenwelle entlang der Rotationsachse gerichtet ist und einen ersten Beschaufelungsbereich einer ersten Teilturbine, einen zweiten Beschaufelungsbereich einer zweiten Teilturbine sowie dazwischen ein Lagerungsbereich, eine Manteloberfläche und im Inneren eine Kühlleitung zur Führung von Kühldampf in Richtung der Rotationsachse aufweist, wobei die Kühlleitung einerseits mit zumindest einer Abströmleitung zur Abführung von Kühldampf und andererseits mit zumindest einer Zuströmleitung zur Zuströmung von Kühldampf verbunden ist.

[0009] Durch eine im Inneren der Turbinenwelle verlaufende Kühlleitung ist Kühldampf in Richtung der Rotationsachse durch die Turbinenwelle hindurchführbar

und durch die Abströmleitung leitbar. Hierdurch ist sowohl ein stark temperaturbelasteter Bereich der Turbinenwelle, insbesondere der Dampfeinströmbereich, von innen heraus sowie an der Manteloberfläche und im Bereich von Befestigungen von Laufschaufeln kühlbar. Die Kühlleitung kann gegenüber der Rotationsachse geneigt oder gegenüber dieser gewunden verlaufen, wobei sie einen Transport von Kühldampf in Richtung der Rotationsachse ermöglicht. Weiterhin ist auch eine Kühlung der in der Turbinenwelle verankerbaren Laufschaufeln, insbesondere deren Schaufelfüße, durchführbar. Es versteht sich, daß je nach Herstellung der Kühlleitung die Abströmleitung und die Zuströmleitung einen Teil der Kühlleitung darstellen können. Weiterhin versteht es sich, daß mehr als eine Kühlleitung vorgesehen sein kann, wobei mehrere Kühlleitungen untereinander in Verbindung stehen und jeweils mit einer oder mehreren Abströmleitungen bzw. Zuströmleitungen verbunden sein können. Es ist ebenfalls möglich, in Richtung der Rotationsachse benachbarte Abströmleitungen in vorgebbaren Abständen anzuordnen und mit der Kühlleitung zu verbinden. Eine Kühlung stark temperaturbelasteter Wellenabschnitte kann somit ohne erheblichen Aufwand an Rohrleitungen, Gehäuse-Durchführungen und einer Einbindung in die Turbinenregelung erfolgen. Ein solch hoher konstruktiver Aufwand wäre beispielsweise bei einer Kühlung einer Turbinenwelle mittels kaltem Dampf von außen durch das Gehäuse und die Leitschaufeln hindurch bis zur Turbinenwelle erforderlich, um die Manteloberfläche der Turbinenwelle direkt zu kühlen.

[0010] Vorzugsweise eignet sich die Turbinenwelle für eine einsträngige Dampfturbine mit einer Hochdruck- und einer Mitteldruck-Teilturbine. Die Turbinenwelle kann hierbei aus zwei im Lagerbereich miteinander verbundenen Turbinensegmenten bestehen, wobei jedes Turbinenwellensegment eine Kühlleitung aufweist, und die Kühlleitungen in dem Lagerbereich ineinander übergehen. Jedes Turbinenwellensegment oder die ganze Turbinenwelle kann hierbei aus einem jeweiligen Schmiedestück hergestellt sein. Es ist hierdurch möglich, den stark temperaturbelasteten Dampfeinströmbereich der Mitteldruck-Teilturbine, welche insbesondere zweiflutig ausgeführt ist, mit Dampf aus der Hochdruck-Teilturbine zu kühlen. Da im Vergleich zum Hochdruck-Teil im Mitteldruck-Teil infolge niedrigerer Dampfdrücke deutlich höhere Volumenströme und damit größere Wellendurchmesser und längere Schaufeln erforderlich sind, ist die thermomechanische Beanspruchung der Laufschaufelfüße und der Turbinenwelle im Mitteldruck-Teil größer als im Hochdruck-Teil. Da zudem im Hochdruck- und Mitteldruck-Teil jeweils ähnliche Temperaturen herrschen, sind die Werkstoffkennwerte der Turbinenwelle, wie beispielsweise Zeitstandfestigkeit und Kerbschlagzähigkeit, ebenfalls ähnlich, wodurch aufgrund der höheren thermomechanischen Belastung des Mitteldruck-Teils dieser als kritischer als der Hochdruck-Teil zu bewerten ist. Diese Problematik ist

vorzugsweise gelöst, indem die Turbinenwelle im Mitteldruck-Teil sowohl in ihrem Inneren, besonders der Wellenmitte, als auch an ihrer Manteloberfläche, insbesondere im Bereich der Laufschaufelfüße, durch Kühldampf kühlbar ist. Vorzugsweise wird aus der Hochdruck-Teilturbine Dampf aus dem Abdampfbereich oder zwischen zwei Stufen durch radiale Bohrung in das Innere der Welle geleitet. Dieser Kühldampf strömt aufgrund des Druckgefälles durch die hohlgebohrte Hochdruck- und Mitteldruckwelle in die Mitteldruck-Teilturbine. Insbesondere bei einer zweiflutigen Ausführung der Mitteldruck-Teilturbine tritt Dampf vorzugsweise unter einer Abdeckplatte der Turbinenwelle (Wellenabschirmung) des Dampfeinströmbereichs der Mitteldruck-Teilturbine aus der Turbinenwelle aus und führt aufgrund von Filmkühlungseffekten zu einer Absenkung der Temperatur der Turbinenwelle im Dampfeinströmbereich und im Bereich der ersten Turbinenstufen. Je nach Anwendungsfall kann der Kühldampf auch zwischen zwei axial voneinander beabstandeten Turbinenstufen ausströmen oder zur Kühlung von Laufschaufeln, die insbesondere zumindest bereichsweise hohl ausgeführt sind, verwendet werden. Der Druckunterschied zwischen dem Dampfaustrittsbereich der Hochdruck-Teilturbine und dem Dampfeintrittsbereich der Mitteldruck-Teilturbine kann beispielsweise zwischen 4 bar und 6 bar betragen. Durch eine entsprechende Bemessung des Querschnittes der Kühlleitung ist die Dampfströmung so regulierbar, daß auch über einen weiten Leitungsbereich der Dampfturbine eine ausreichende Kühlleistung gewährleistet ist.

[0011] In dem Lagerungsbereich, in dem die Turbinenwelle auf ein Lager auflagerbar ist, ist vorzugsweise eine Wärmeisolierung zur Verhinderung eines radialen Wärmefflusses vorgesehen. Durch eine Herabsetzung des Wärmeübergangs vom Kühldampf zu dem Werkstoff der Turbinenwelle wird eine übermäßige Aufheizung des Lagers vermieden. Vorzugsweise ist hierbei ein Zwischenraum zwischen der Kühlleitung und dem Turbinenwellenwerkstoff vorgesehen, welcher als Ringspalt ausgeführt sein kann. In diesem Zwischenraum ist ein Fluid, vorzugsweise Kühldampf, vorhanden, welches zu einer Isolierung und damit zu einer Verhinderung eines intensiven Wärmeübergangs durch erzwungene Konvektion vom durch die Kühlleitung strömenden Kühldampf an die Turbinenwelle führt. Die Kühlleitung ist hierbei im Lagerbereich vorzugsweise mit einem Isolierungsrohr versehen, welches von dem Hohlraum umgeben ist. Das Isolierungsrohr weist vorzugsweise zu dem Hohlraum zumindest eine Öffnung auf. Durch die Öffnung, insbesondere eine Bohrung, wird ein Druckausgleich zwischen dem Hohlraum und der Kühlleitung erreicht, wodurch eine Verformung des Isolierungsrohres durch den im stationären Betrieb der Dampfturbine auftretenden hohen Druck des Kühldampfes verhindert wird.

[0012] Der zweite Beschauelungsbereich ist vorzugsweise zweiflutig ausgeführt und dient der Aufnah-

me einer Mitteldruck-Beschaufelung. Eine solche Turbinenwelle wird in einer Dampfturbine mit einer Hochdruckteilturbine und mit einer zweiflutigen Mitteldruckteilturbine eingesetzt. Es ist ebenfalls möglich, den zweiten Beschaufelungsbereich einflutig auszuführen, wobei die Turbinenwelle in diesem Fall vorzugsweise in einer Dampfturbine mit einflutiger Mitteldruckteilturbine eingesetzt wird. Die Abströmleitung mündet vorzugsweise in einem Dampfeinströmbereich der Mitteldruck-Laufschaukeln, insbesondere im Bereich einer Wellenabschirmung der Turbinenwelle.

[0013] Die Kühlleitung ist vorzugsweise eine weitgehend zur Rotationsachse parallele Bohrung, die insbesondere eine zentrale Bohrung ist. Eine als Bohrung ausgebildete Kühlleitung ist besonders einfach und exakt auch nachträglich in der Turbinenwelle herstellbar. Bei einer zusammengesetzten Turbinenwelle wird vorzugsweise in jede Teilturbinenwelle eine zentrale Bohrung gleichen Durchmessers eingebracht, so daß bei Zusammenfügen der Teilturbinenwellen eine einzige Kühlleitung mit gleichem Durchmesser gebildet ist. Die Zuströmleitung verbindet vorzugsweise wie die Abströmleitung die Manteloberfläche mit der Kühlleitung. Hierdurch ist Kühldampf, insbesondere Dampf einer Hochdruck-Teilturbine, von der Manteloberfläche an einem Ende der Turbinenwelle durch das Innere der Turbinenwelle hindurch in den Dampfeinströmbereich des zweiten Beschaufelungsbereiches führbar. Dies ist besonders bei einer einsträngigen Hochdruck- und Mitteldruck-Turbinenwelle vorteilhaft, da somit Dampf aus dem Dampfaustrittsbereich der Hochdruck-Teilturbinen in den Dampfeinströmbereich der Mitteldruck-Teilturbine führbar ist. Die Zuströmleitung und/oder die Abströmleitung sind bzw. ist vorzugsweise eine im wesentlichen radiale Bohrung. Eine solche Bohrung ist einfach auch nach Herstellung der Turbinenwelle ausführbar, wobei eine solche Bohrung präzise mit einer als axiale Bohrung ausgebildeten Kühlleitung verbindbar ist. Durchmesser einer Bohrung sowie Anzahl mehrerer Bohrungen für die Zuströmleitung und die Abströmleitung richten sich nach der zur Kühlung vorgesehenen Dampfmenge.

[0014] Die Turbinenwelle weist vorzugsweise Ausnehmungen zur Aufnahme von Turbinenlaufschaukeln auf, wobei die Abströmleitung vorzugsweise in eine dieser Ausnehmungen mündet. Es ist hierbei auch möglich, daß in eine Schaufelkühlleitung einer Turbinenlaufschaukel Kühldampf zur Kühlung einführbar ist. Eine Ausnehmung zur Aufnahme einer Turbinenlaufschaukel kann dabei etwas größer als der Schaufelfuß der jeweiligen Laufschaukel ausgeführt sein, so daß sich zwischen einem entsprechenden Schaufelfuß und der Turbinenwelle ein Raum ausbildet, in den Dampf zur Kühlung des Schaufelfußes einströmen kann. Dieser Raum kann auch durch Kanäle gebildet sein, die mit der Abströmleitung und/oder untereinander in Verbindung stehen. Von einer Ausnehmung, in die eine Abströmleitung mündet, führt vorzugsweise eine Stichleitung zur Man-

teloberfläche der Turbinenwelle. Dadurch wird neben der Kühlung der Schaufelfüße zusätzlich eine Kühlung der Manteloberfläche und damit der Turbinenwelle von außen erreicht. Es ist ebenfalls möglich, daß die Abströmleitung zwischen axial voneinander beabstandeten Ausnehmungen an der Manteloberfläche mündet. Bei einer zweiflutigen Ausführung des zweiten Beschaufelungsbereiches mündet die Abströmleitung vorzugsweise in einem durch eine Wellenabschirmung gebildeten Hohlraum, wobei die Wellenabschirmung einer Stromteilung des einströmenden Dampfes in die beiden Fluten dient. Vorzugsweise erfolgt eine Kühlung der ersten Laufschaukelreihen der Mitteldruck-Teilturbine, insbesondere deren Schaufelfüße sowie deren Schaufelblätter. Durch die an die Wellenoberfläche mündende Abströmleitung und/oder Stichleitung ist auch eine Filmkühlung der Wellenoberfläche, insbesondere im Bereich der dem Dampfeinströmbereich nächstliegenden Turbinenschaufeln (erste Turbinenstufe) erzielt.

[0015] Die Zuströmleitung verbindet vorzugsweise den Dampfaustrittsbereich der Hochdruck-Teilturbine mit der Kühlleitung, wodurch Dampf von dort durch das Innere der Turbinenwelle in die Mitteldruck-Teilturbine führbar ist. Es ist ebenfalls möglich, daß die Zuströmleitung von der Manteloberfläche zwischen zwei axial voneinander beabstandeten Laufschaukelreihen des ersten Beschaufelungsbereiches in die Kühlleitung führt.

[0016] Die auf ein Verfahren zur Kühlung einer Turbinenwelle einer Dampfturbine gerichtete Aufgabe wird dadurch gelöst, daß bei einer Turbinenwelle mit einem ersten Beschaufelungsbereich zur Aufnahme der Hochdruck-Laufschaukeln und einem zweiflutigen zweiten Beschaufelungsbereich zur Aufnahme der Mitteldruck-Laufschaukeln Dampf aus dem Dampfbereich des ersten Beschaufelungsbereiches durch das Innere der Turbinenwelle über einen Lagerungsbereich hinweg zum zweiten Beschaufelungsbereich geführt wird. Die Dampfströmung im Inneren der Turbinenwelle kann hierbei durch geeignete Dimensionierung einer entsprechenden Kühlleitung, welche insbesondere als Bohrung ausgeführt ist, so reguliert werden, daß auch über einen weiten Leistungsbereich eine ausreichende Kühlung der Turbinenwelle gewährleistet ist. Da auch im Teillastbereich der Dampfturbine eine Druckdifferenz zwischen der Hochdruck-Teilturbine und der Mitteldruck-Teilturbine gegeben ist, ist ein einwandfreies Funktionieren des Verfahrens auch im Teillastbereich gewährleistet. Durch eine als axiale, vorzugsweise zentrale Bohrung, ausgeführte Kühlleitung steigen gegebenenfalls die tangentialen Spannungen im Inneren der Turbinenwelle auf etwas das Doppelte im Vergleich zu einer Turbinenwelle ohne Bohrung an. Diese gegebenenfalls vorhandene höhere Beanspruchung der Turbinenwelle wird allerdings durch die deutlich verbesserten Materialeigenschaften aufgrund der Innenkühlung der Turbinenwelle mehr als kompensiert. Das Verfahren eignet sich auch bei einer Turbinenwelle, die aus zumindest zwei Teilturbinenwellen (Turbinenwellensegmenten) zusammen-

gesetzt ist, wobei die Teilturbinenwellen im Lagerbereich aneinandergesetzt sind.

[0017] Anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele werden die Turbinenwellen sowie das Verfahren zur Kühlung der Turbinenwelle näher beschrieben. Es zeigen:

FIG 1 einen Längsschnitt durch eine Dampfturbine mit einer Hochdruck- und einer Mitteldruck-Teilturbine mit einer Turbinenwelle;

FIG 2 einen Ausschnitt einer Turbinenwelle im Dampfeinströmbereich einer Mitteldruck-Teilturbine; und

FIG 3 einen Ausschnitt der Turbinenwelle im Lagerbereich.

[0018] In Figur 1 ist eine Dampfturbine 23, 25 mit einer sich entlang einer Rotationsachse 2 erstreckenden Turbinenwelle 1 dargestellt. Die Dampfturbine weist eine Hochdruck-Teilturbine 23 und eine Mitteldruck-Teilturbine 25 mit jeweils einem Innengehäuse 21 und einem dieses umschließende Außengehäuse 22 auf. Die Hochdruck-Teilturbine 23 ist in Topfbauart ausgeführt. Die Mitteldruck-Teilturbine 25 ist zweiflutig ausgeführt. Es ist ebenfalls möglich, daß die Mitteldruck-Teilturbine 25 einflutig ausgeführt ist. Entlang der Rotationsachse 2 ist zwischen der Hochdruck-Teilturbine 23 und der Mitteldruck-Teilturbine 25 ein Lager 29b angeordnet, wobei die Turbinenwelle 1 in dem Lager 29b einen Lagerbereich 32 aufweist. Die Turbinenwelle 1 ist auf einem weiteren Lager 29a neben der Hochdruck-Teilturbine 23 aufgelagert. Im Bereich dieses Lagers 29a weist die Hochdruck-Teilturbine 23 eine Wellendichtung 24 auf. Die Turbinenwelle 1 ist gegenüber dem Außengehäuse 22 der Mitteldruck-Teilturbine 25 durch zwei weitere Wellendichtungen 24 abgedichtet. Zwischen einem Hochdruck-Dampfeinströmbereich 27 und einem Dampfaustrittsbereich 16 weist die Turbinenwelle 1 in der Hochdruck-Teilturbine 23 die Hochdruck-Laufbeschaufelung 11, 13 auf. Diese Hochdruck-Laufbeschaufelung 11, 13 stellt mit den zugehörigen, nicht näher dargestellten Laufschaufeln einen ersten Beschauelungsbereich 30 dar. Die Mitteldruck-Teilturbine 25 weist einen zentralen Dampfeinströmbereich 15 auf. Dem Dampfeinströmbereich 15 zugeordnet weist die Turbinenwelle 1 eine radialsymmetrische Wellenabschirmung 9, eine Abdeckplatte, einerseits zur Teilung des Dampfstromes in die beiden Fluten der Mitteldruck-Teilturbine 25 sowie zur Verhinderung eines direkten Kontaktes des heißen Dampfes mit der Turbinenwelle 1 auf. Die Turbinenwelle 1 weist in der Mitteldruck-Teilturbine 25 einen zweiten Beschauelungsbereich 31 mit den Mitteldruck-Laufschaufeln 11, 14 auf. Der durch den zweiten Beschauelungsbereich 31 strömende heiße Dampf strömt aus der Mitteldruck-Teilturbine 25 aus einem Abströmstutzen 26 zu einer strömungstechnisch

nachgeschalteten, nicht dargestellten Niederdruck-Teilturbine.

[0019] Die Turbinenwelle 1 ist aus zwei Teilturbinenwellen 1a und 1b zusammengesetzt, die im Bereich des Lagers 29b fest miteinander verbunden sind. Jede Teilturbinenwelle 1a, 1b weist eine als zentrale Bohrung 5 entlang der Rotationsachse 2 ausgebildete Kühlleitung 5 auf. Die Kühlleitung 5 ist mit dem Dampfaustrittsbereich 16 über eine radiale Bohrungen 8a aufweisende Zuströmleitung 8 verbunden. In der Mitteldruck-Teilturbine 25 ist die Kühlmittelleitung 5 mit einem nicht näher dargestellten Hohlraum unterhalb der Wellenabschirmung 9 verbunden. Die Zuströmleitungen 8 sind als radiale Bohrungen 8a ausgeführt, wodurch "kalter" Dampf aus der Hochdruck-Teilturbine 23 in die zentrale Bohrung 5 einströmen kann. Über die insbesondere auch als radial gerichtete Bohrung 7a ausgebildete Abströmleitung 7 gelangt der Dampf durch den Lagerbereich 32 hindurch in die Mitteldruck-Teilturbine 25 und dort an die Manteloberfläche 3 der Turbinenwelle 1 im Dampfeinströmbereich 15. Der durch die Kühlleitung 5 strömende Dampf 6 hat eine deutlich niedrigere Temperatur als der in den Dampfeinströmbereich 15 einströmende zwischenüberhitzte Dampf, so daß eine wirksame Kühlung der ersten Laufschaufelreihen 14 der Mitteldruck-Teilturbine 25 sowie der Manteloberfläche 3 im Bereich dieser Laufschaufelreihen 14 gewährleistet ist.

[0020] Figur 2 zeigt in vergrößertem Maßstab einen Ausschnitt des Dampfeinströmbereiches 15 der Mitteldruck-Teilturbine 25. In Ausnehmungen 10 der Turbinenwelle 1 sind jeweils entsprechende Laufschaufeln 11, 14 mit ihren jeweiligen Schaufelfüßen 18 angeordnet. Die Ausnehmungen 10 weisen jeweils um die Schaufelfüße 18 herum Kanäle 20 auf, wobei die Kanäle 20 einerseits mit der radial zur Rotationsachse 2 verlaufenden Abströmleitung 7 und andererseits mit jeweils einer Stichleitung 12 verbunden sind. Die Stichleitung 12 führt von der Ausnehmung 10 zur Manteloberfläche 3 und liegt einer Leitschaufel 19 der Dampfturbine gegenüber. Der aus den Abströmleitungen 7 strömende Dampf 6 gelangt in die Kanäle 20 der Ausnehmung 10 und kühlt somit die jeweils in einer entsprechenden Ausnehmung angeordneten Schaufelfüße 18. Der Dampf 6 strömt von den Kanälen 20 durch eine jeweilige Stichleitung 12 an die Manteloberfläche 3 der Turbinenwelle 1 und kühlt somit auch die Manteloberfläche 3 zwischen einander in Richtung der Rotationsachse 2 benachbarten Laufschaufeln 11. Bei einer Laufschaufel 11, die eine Schaufelkühlleitung 38 aufweist, strömt Dampf 6 ebenfalls durch diese Schaufelkühlleitung 38 und kühlt die Laufschaufel 11 von innen heraus. Dies ist schematisch an einer Laufschaufel 11 dargestellt.

[0021] Figur 3 zeigt einen Ausschnitt des Lagerbereiches 32 der Teilturbinenwelle 1b der Hochdruck-Teilturbine 23. In dem Lagerungsbereich 32 ist die Kühlleitung 5 auf einen größeren Durchmesser entlang einer vorgegebenen axialen Länge erweitert. In die so erweiterte Kühlleitung 5 ist eine Wärmeisolierung 33 umfassend

ein Isolierungsrohr 36 eingebracht. Das Isolierungsrohr 36 weist einen Innendurchmesser auf, der mit dem Durchmesser der nicht erweiterten Kühlleitung 5 übereinstimmt. Der Außendurchmesser des Isolierungsrohres 36 ist geringer als der vergrößerte Durchmesser der Kühlleitung 5, so daß ein Hohlraum 34, insbesondere ein Ringspalt 34, zwischen dem Isolierungsrohr 36 und dem Turbinenwellen-Werkstoff 35 verbleibt. Das Isolierungsrohr 36 weist Öffnungen 37 zu dem Hohlraum 34 auf. Bei einem Betrieb der Turbinenwelle 1 ist der Hohlraum 34 mit Kühldampf 6 gefüllt, welcher eine Wärmeisolierung zwischen dem Turbinenwellenwerkstoff 35 und dem permanent durch die Kühlleitung 5 strömenden Kühldampf 6 bewirkt. Hierdurch ist gewährleistet, daß eine Aufheizung des Lagers 29b während des Betriebes der Turbinenwelle 1 gering gehalten wird.

[0022] Die Erfindung zeichnet sich durch eine Turbinenwelle aus, welche eine Kühlleitung aufweist, über die zumindest eine Zuströmleitung mit einer Hochdruck-Teilturbine und zumindest über eine Abströmleitung mit dem Dampfeinströmungsbereich der Mitteldruck-Teilturbine verbunden ist. Die Zuströmleitung, die Kühlleitung sowie die Abströmleitung bilden ein Leitungssystem im Inneren der Turbinenwelle, durch welches "kalter" Dampf aus der Hochdruck-Teilturbine zu dem thermomechanisch hoch beanspruchten Dampfeinströmungsbereich der Mitteldruck-Teilturbine führbar ist. Hierdurch erfolgt ohne hohen konstruktiven Aufwand eine Kühlung sowohl der Laufschaufeln, insbesondere der Laufschaufelfüße, als auch der Manteloberfläche der Turbinenwelle in dem besonders stark beanspruchten Dampfeinströmungsbereich der insbesondere zweiflutig ausgeführten, Mitteldruck-Teilturbine. In einem Lagerbereich zwischen der Hochdruck-Teilturbine und der Mitteldruck-Teilturbine ist im Inneren der Turbinenwelle eine Wärmeisolierung vorgesehen, durch die eine übermäßige Aufheizung eines Lagers der Turbinenwelle vermieden wird.

Patentansprüche

1. Turbinenwelle (1) für eine Dampfturbine, welche entlang einer Rotationsachse (2) gerichtet ist, entlang der Rotationsachse (2) einen ersten Beschau-
felungsbereich (30) einer ersten Teilturbine (24), einen zweiten Beschau-
felungsbereich (31) einer zweiten Teilturbine (25) und dazwischen einen Lager-
ungsbereich (32), eine Manteloberfläche (3) und in ihrem Inneren (4) eine Kühlleitung (5) zur Füh-
rung von Kühldampf (6) in Richtung der Rotations-
achse (2) aufweist, wobei die Kühlleitung (5) einer-
seits mit zumindest einer Abströmleitung (7) zur Ab-
führung von Kühldampf (6) und andererseits mit zu-
mindest einer Zuströmleitung (8) zur Zuströmung
von Kühldampf (6) verbunden ist, und wobei ein
stark temperaturbelasteter Bereich der Turbinen-
welle kühlbar ist.

2. Turbinenwelle (1) nach Anspruch 1, bei der die Kühlleitung (5) in dem Lagerungsbereich (32) eine Wärmeisolierung (33) zur Verminderung eines radialen wärmefflusses aufweist.
3. Turbinenwelle (1) nach Anspruch 2, bei der die Wärmeisolierung (33) einen Hohlraum (34), insbesondere einen Ringspalt (34), zwischen Kühlleitung (5) und Turbinenwellenwerkstoff (35) aufweist.
4. Turbinenwelle (1) nach Anspruch 3, bei der die Wärmeisolierung (33) ein Isolierungsrohr (36) umfaßt.
5. Turbinenwelle (1) nach Anspruch 4, bei der das Isolierungsrohr (36) zumindest eine Öffnung (37) zum Hohlraum (34) aufweist.
6. Turbinenwelle (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche der Aufnahme von Hochdruck-Laufschaufeln (13) sowie von Mitteldruck-Laufschaufeln (14) einer kombinierten Hochdruck-Mitteldruck-Dampfturbine dient, wobei die Abströmleitung (7) in einem Dampfeinströmungsbereich (15) der Mitteldruck-Laufschaufeln (14) mündet.
7. Turbinenwelle (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der zweite Beschau-
felungsbereich (31) zweiflutig ausgeführt ist.
8. Turbinenwelle (1) nach Anspruch 6 in einer Dampfturbine, wobei der zweite Beschau-
felungsbereich (31) einflutig ausgeführt ist.
9. Turbinenwelle (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der sich die Zuströmleitung (8) von der Manteloberfläche (3) zur Kühlleitung (5) erstreckt.
10. Turbinenwelle (1) nach Anspruch 9, wobei die Zu-
strömleitung (8) in einem Dampfaustrittsbereich (15) des ersten Beschau-
felungsbereiches (30) und/oder im ersten Beschau-
felungsbereich (30) zwischen zwei axial beabstandeten. Ausnehmungen (10) zur Aufnahme von Turbinenlaufschaufeln (11) mündet.
11. Turbinenwelle (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Kühlleitung (5) eine weitgehend zur Rotationsachse (2) parallele, insbesondere zentrale, Bohrung (5) ist.
12. Turbinenwelle (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Zuströmleitung (8) und/oder die Abströmleitung (7) eine im wesentlichen radiale Bohrung (8a, 7a) sind bzw. ist.
13. Turbinenwelle (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die im zweiten Beschau-
felungsbereich

(31) Ausnehmungen (10) zur Aufnahme von Turbinenlaufschaufeln (11) aufweist, wobei die Abströmleitung (8) an der Manteloberfläche (3) zwischen zwei axial beabstandeten Ausnehmungen (10) oder in einer Ausnehmung (10) mündet und/oder mit einer Schaufelkühlleitung (38) einer Turbinenlaufschaufel (11) verbunden ist.

14. Turbinenwelle (1) nach Anspruch 13, bei der die eine Abströmleitung (8) aufweisende Ausnehmung (10) zusätzlich über eine Stichleitung (12) mit der Manteloberfläche (3) verbunden ist. 10
15. Verfahren zur Kühlung einer Turbinenwelle (1) in einer Dampfturbine, wobei die Turbinenwelle (1) in einem ersten Beschaukelungsbereich (30) die Hochdruck-Laufschaufeln (13) der Hochdruck-Teilturbine (24) und in einem zweiflutigen zweiten Beschaukelungsbereich (31) die Mitteldruck-Laufschaufeln (14) der Mitteldruck-Teilturbine (25) trägt und Dampf (6) aus dem Dampfbereich (17) des ersten Beschaukelungsbereichs (30) durch das Innere (4) der Turbinenwelle (1) über einen Lagerungsbereich (32) hinweg zum zweiten Beschaukelungsbereich (31) geführt wird. 20 25

Claims

1. Turbine shaft (1) for a steam turbine, which is directed along a rotation axis (2) and has along the rotation axis (2) a first blading region (30) of a first turbine section (24), a second blading region (31) of a second turbine section (25) and, in between, a bearing region (32), a circumferential surface (3) and, in its interior (4), a cooling line (5) for passing cooling steam (6) in the direction of the rotation axis (2), the cooling line (5) being connected, on the one hand, to at least one outflow line (7) for the discharge of cooling steam (6) and, on the other hand, to at least one inflow line (8) for the inflow of cooling steam (6), and it being possible for a highly thermally loaded region of the turbine shaft to be cooled. 30 35
2. Turbine shaft (1) according to Claim 1, in which the cooling line (5) in the bearing region (32) has heat insulation (33) for reducing a radial heat flow. 40 45
3. Turbine shaft (1) according to Claim 2, in which the heat insulation (33) has a cavity (34), in particular an annular gap (34), between cooling line (5) and turbine-shaft material (35). 50
4. Turbine shaft (1) according to Claim 3, in which the heat insulation (33) comprises an insulating tube (36). 55
5. Turbine shaft (1) according to Claim 4, in which the insulating tube (36) has at least one opening (37) leading to the cavity (34).
6. Turbine shaft (1) according to one of the preceding claims, which serves to accommodate high-pressure moving blades (13) and intermediate-pressure moving blades (14) of a combined high-pressure/intermediate-pressure steam turbine, the outflow line (7) leading out in a steam-inflow region (15) of the intermediate-pressure moving blades (14).
7. Turbine shaft (1) according to one of the preceding claims, in which the second blading region (31) is of double-flow construction.
8. Turbine shaft (1) according to Claim 6 in a steam turbine, the second blading region (31) being of single-flow construction.
9. Turbine shaft (1) according to one of the preceding claims, in which the inflow line (8) extends from the circumferential surface (3) to the cooling line (5).
10. Turbine shaft (1) according to Claim 9, the inflow line (8) leading out in a steam-discharge region (16) of the first blading region (30) and/or in the first blading region (30) between two axially spaced-apart recesses (10) for accommodating turbine moving blades (11).
11. Turbine shaft (1) according to one of the preceding claims, in which the cooling line (5) is an, in particular central, bore (5) which is largely parallel to the rotation axis (2).
12. Turbine shaft (1) according to one of the preceding claims, in which the inflow line (8) and/or the outflow line (7) is an essentially radial bore (8a, 7a).
13. Turbine shaft (1) according to one of the preceding claims, which has, in the second blading region (31), recesses (10) for accommodating turbine moving blades (11), the outflow line (7) leading out at the circumferential surface (3) between two axially spaced-apart recesses (10) or in a recess (10) and/or is connected to a blade cooling line (38) of a turbine moving blade (11).
14. Turbine shaft (1) according to Claim 13, in which the recess (10) having an outflow line (7) is additionally connected via a branch line (12) to the circumferential surface (3).
15. Method of cooling a turbine shaft (1) in a steam turbine, the turbine shaft (1) carrying the high-pressure moving blades (13) of the high-pressure turbine section (24) in a first blading region (30) and the intermediate-pressure moving blades (14) of the in-

intermediate-pressure turbine section (25) in a double-flow second blading region (31), and steam (6) being passed from the steam region (17) of the first blading region (30) through the interior (4) of the turbine shaft (1) over a bearing region (32) to the second blading region (31).

Revendications

1. Arbre (1) de turbine pour une turbine à vapeur, qui est dirigé le long d'un axe (2) de révolution et qui comprend le long de l'axe (2) de révolution une première zone (30) d'aubage d'une première partie (24) de turbine, une deuxième zone (31) d'aubage d'une deuxième partie (25) de turbine et entre elles une zone (32) de palier, une surface (3) latérale et à l'intérieur (4) un conduit (5) de refroidissement pour faire passer de la vapeur (6) de refroidissement dans la direction de l'axe (2) de révolution, le conduit (5) de refroidissement communiquant, d'une part, avec au moins un conduit (7) d'évacuation destiné à évacuer la vapeur (6) de refroidissement et, d'autre part, avec au moins un conduit (8) d'admission destiné à apporter de la vapeur (6) de refroidissement, une zone très sollicitée en température de l'arbre de la turbine pouvant être refroidie.
2. Arbre (1) de turbine suivant la revendication 1, dans lequel le conduit (5) de refroidissement comporte dans la zone (32) de palier un calorifugeage (33) destiné à diminuer un flux radial de chaleur.
3. Arbre (1) de turbine suivant la revendication 2, dans lequel le calorifugeage (33) comporte une cavité (34), notamment un intervalle (34) annulaire, entre le conduit (5) de refroidissement et le matériau (35) de l'arbre de la turbine.
4. Arbre (1) de turbine suivant la revendication 3, dans lequel le calorifugeage (33) comprend un tube (36) isolant.
5. Arbre (1) de turbine suivant la revendication 4, dans lequel le tube (36) isolant a au moins une ouverture (37) menant à la cavité (34).
6. Arbre (1) de turbine suivant l'une des revendications précédentes, qui sert à recevoir des aubes (13) mobiles haute pression ainsi que des aubes (14) basse pression d'une turbine à vapeur combinée haute pression-moyenne pression, le conduit (7) d'évacuation débouchant dans une zone (15) d'entrée de la vapeur des aubes (14) mobiles moyenne pression.
7. Arbre (1) de turbine suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel la deuxième zone

(31) d'aubage est réalisée à deux flux.

8. Arbre (1) de turbine suivant la revendication 6, dans une turbine à vapeur dans lequel la deuxième zone (31) d'aubage est réalisée à un seul flux.
9. Arbre (1) de turbine suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel le conduit (8) d'admission s'étend de la surface (3) latérale au conduit (5) de refroidissement.
10. Arbre (1) de turbine suivant la revendication 9, dans lequel le conduit (8) d'admission débouche dans une zone (15) de sortie de la vapeur de la première zone (30) d'aubage et/ou de la première zone (30) d'aubage entre deux logements (10) qui sont à distance l'un de l'autre axialement et qui sont destinés à recevoir des aubes (11) mobiles de turbine.
11. Arbre (1) de turbine suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel le conduit (5) de refroidissement est un alésage (5) qui est dans une grande mesure parallèle à l'axe (2) de révolution, en étant notamment central.
12. Arbre (1) de turbine suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel le conduit (8) d'apport et/ou le conduit (7) d'évacuation est ou sont un trou (8a, 7a) sensiblement radial.
13. Arbre (1) de turbine suivant l'une des revendications précédentes, qui comporte dans la deuxième zone (31) d'aubage des logements (10) destinés à recevoir des aubes (11) mobiles de turbine, le conduit (8) d'évacuation débouchant à la surface (3) latérale entre deux logements (10) qui sont à distance l'un de l'autre axialement ou dans un logement (10) et/ou communiquant avec un conduit (38) de refroidissement d'une aube (11) mobile de turbine.
14. Arbre (1) de turbine suivant la revendication 13, dans lequel l'un des logements (10) ayant un conduit (8) d'évacuation communique en outre avec la surface (3) latérale par un piquage (12).
15. Procédé de refroidissement d'un arbre (1) d'une turbine à vapeur, l'arbre (1) de turbine portant, dans une première zone (30) d'aubage, les aubes (13) mobiles haute pression de la partie (24) de turbine haute pression et, dans une deuxième zone (31) d'aubage à deux flux, les aubes (14) mobiles moyenne pression de la partie (25) de turbine moyenne pression et de la vapeur passant de la zone (17) pour la vapeur de la première zone (30) d'aubage à la deuxième zone (31) d'aubage en passant par l'intérieur (4) de l'arbre (1) de la turbine sur une zone (32) de palier.

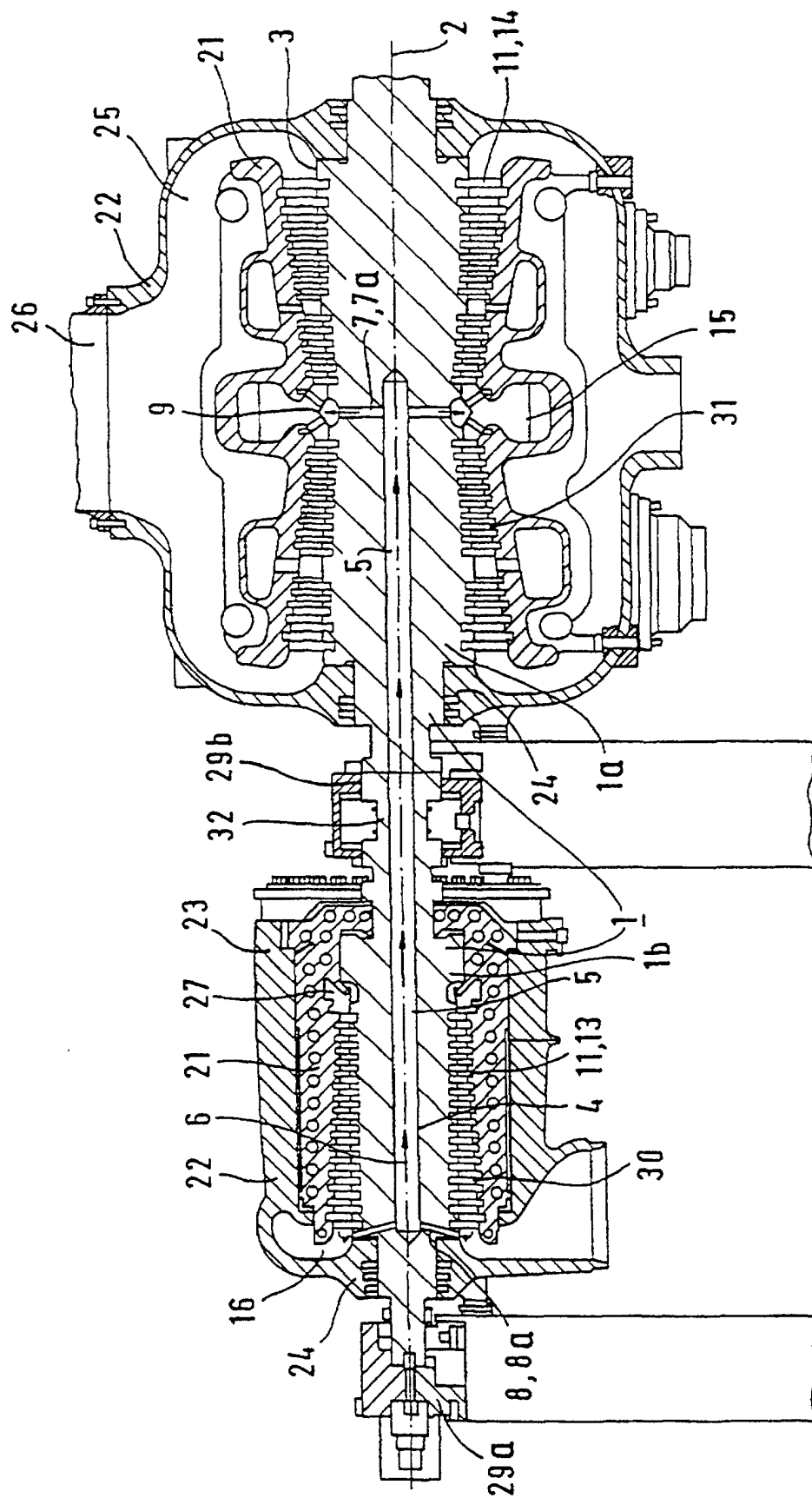


FIG 1

