

19



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 694 169 A5

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

51 Int. Cl.⁷: F 01 D 001/00
F 01 D 005/02
F 01 D 025/16

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 00175/00

22 Anmeldungsdatum: 28.01.2000

30 Priorität: 29.01.1999 JP 11-23021

24 Patent erteilt: 13.08.2004

45 Patentschrift
veröffentlicht: 13.08.2004

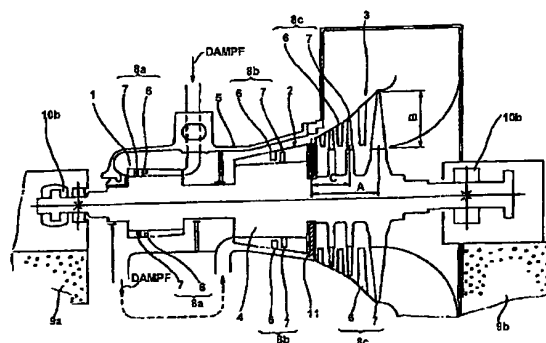
73 Inhaber:
Kabushiki Kaisha Toshiba
72 Horikawa-cho, Saiwai-ku
Kawasaki-shi, Kanagawa-ken 210 (JP)

72 Erfinder:
Toru Takahashi
3-22-10-205, Baba, Tsurumi-Ku,
Yokohama-Shi, Kanagawa-Ken (JP)
Kenichi Imai
3-160-102, Negishi-Cho, Naka-Ku,
Jokohama-Shi, Kanagawa-Ken (JP)
Ryou Oda
1-24-6-207, Kagahara, Tsuzuki-Ku
Jokohama-Shi, Kanagawa-Ken (JP)
Tsuda, Yoichi
1-21-19, Honkomagome
Bunkyo-Ku, Tokyo (JP)

74 Vertreter:
E. Blum & Co., Patentanwälte, Vorderberg 11
8044 Zürich (CH)

54 Dampfturbine.

57 Eine Dampfturbine enthält einen Hochdruckturbinenabschnitt (1), einen Mitteldruckturbinenabschnitt (2) und einen Niederdruckturbinenabschnitt (3), wobei wenigstens zwei oder mehr dieser Druckabschnitte miteinander kombiniert sind, und einen Turbinenrotor (4), der einer thermischen Gradientenbehandlung mit unterschiedlichen thermischen Behandlungstemperaturen an den jeweiligen Druckabschnitten unterworfen wird. Der Turbinenrotor wird von Lagern (10a, 10b) drehbar gehalten und ist in einem Turbinengehäuse aufgenommen. Wenn ein axialer Abstand von einer Festlegposition einer beweglichen Turbinenschaufel einer letzten Stufe des Niederdruckturbinenabschnittes und einer Festlegposition einer Trennplatte (11), die angeordnet ist, wenn die thermische Gradientenbehandlung an jedem der Druckabschnitte mit verschiedenen Behandlungstemperaturen durchgeführt wird, als A definiert ist, eine Schauffellänge der beweglichen Turbinenschaufel als B definiert ist, und ein axialer Abstand zwischen einer vorhergehenden Stufe der letzten Stufe des Niederdruckturbinenabschnittes und der Festlegposition der Trennplatte als C definiert ist, wird die Festlegposition der Trennplatte auf einen Bereich von $(A/B) \geq 0,9$ und $C \geq 300$ mm festgelegt.



Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Dampfturbine gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei einer herkömmlichen Dampfturbine ist, um die Ausgangsleistung zu vergrössern, ein Turbinengehäuse in ein Hochdruckturbinengehäuse, ein Mittel-
druckturbinengehäuse und ein Niederdruckturbinen-
gehäuse unterteilt, und in jedem der Gehäuse ist ein
Turbinenrotor (Turbinenwelle) mit einer Turbinendüse
und einer beweglichen Turbinenschaufel aufgenom-
men, wodurch ein Hochdruckturbinenabschnitt, ein
Mittel-
druckturbinenabschnitt und ein Niederdruckturbinen-
abschnitt gebildet sind. Die herkömmliche Dampf-
turbine wird als so genannter Leistungszug betrieben,
bei dem die Wellen der Turbinenrotoren des hohen,
mittleren und niedrigen Turbinendruckabschnitts in
Form eines Zuges miteinander verbunden sind.

Wenn die Hoch-, Mittel und Niederdruckturbinen-
abschnitte als Leistungszug angeordnet sind, nimmt
die Dampfturbine eine Spannweite bzw. Länge von
wenigstens etwa 30 Metern an, wobei dies von der
Grösse der Ausgangsleistung abhängt. Es wurde
deshalb eine Turbine der so genannten Hoch-Nie-
derdruckintegrierten Bauart oder Turbine der
Hoch-Mittel-
druckintegrierten Bauart ausgeführt, bei
der zwei oder mehr der Hoch-, Mittel- und Nieder-
druckturbinenabschnitte in einem Gehäuse kombi-
niert und aufgenommen sind, um die Spannweite zu
vermindern.

Wenn die Dampfturbine eine Turbine der
Hoch-Niederdruckintegrierten Bauart oder der
Hoch-Mittel-
druckintegrierten Bauart ist, muss ihr
Turbinenrotor unvermeidlich viele Arten von Dampf
mit unterschiedlichen Temperaturen verarbeiten, in
jüngerer Zeit wurde eine Turbine der Hoch-Nieder-
druckintegrierten Bauart oder eine Turbine der
Hoch-Mittel-
druckintegrierten Bauart ausgeführt, bei
der ein Teil eines Turbinenrotors, der Dampf mit ho-
hem Druck und hoher Temperatur unter verschiede-
nen thermischen Behandlungsbedingungen ausge-
setzt ist, mit Hochtemperaturfestigkeit versehen und
ein anderer Bereich davon, der Dampf mit relativ
niedrigem Druck und niedriger Temperatur ausge-
setzt ist, mit Zugfestigkeit und Niedertemperaturzä-
higkeit versehen. Eine solche Turbine der Hoch-Nie-
derdruckintegrierten Bauart oder einer Hoch-Mittel-
druckintegrierten Bauart hat eine Anzahl guter
Praxiswerte gezeigt.

Weiter wurde in einem neueren thermischen Kraft-
werk eine Anzahl von Kraftwerken mit kombiniertem
Zyklus ausgeführt, bei dem an Stelle eines her-
kömmlichen Kraftwerks eine Dampfturbine und eine
Abwärmewiedergewinnungseinrichtung in einer Gas-
turbine kombiniert sind.

Eine in diesem mit kombiniertem Zyklus arbeiten-
den Kraftwerk verwendete Dampfturbine wird in ei-
nem Zustand verwendet, dass bezüglich der Dampf-
turbine, wobei im Hinblick auf den derzeitigen Status
von Gasturbinenausgangsleistungen von 100 MW,
eine mit einer Ausgangsleistung von 100 MW ge-
wählt ist, ein Dampfdruck auf 100 kg/cm² festgelegt
ist, eine Dampftemperatur auf 500°C festgelegt ist,
eine Höhe einer beweglichen Turbinenschaufel der
letzten Stufe der Niederdruckturbine auf 91,4 cm

oder mehr in einem Bereich von 50 Hertz bei 3000
U/min festgelegt ist, und die Höhe auf 85,1 cm oder
mehr in einem Bereich von 60 Hertz bei 3600 U/min
festgelegt ist. In diesem Fall ist die Dampfturbine als
eine Turbine der so genannten uniaxialen Bauart
ausgeführt, bei der eine Dampfturbinenwelle direkt
mit der Gasturbine verbunden ist. Daher wird als
eine Turbine der Hoch-Niederdruckintegrierten Bau-
art oder eine Turbine der Hoch-Mittel-
druckintegrierten Bauart als die Dampfturbine verwendet, wodurch
eine Spannweite zwischen den Lagern verkürzt ist
und eine Einbaufäche vermindert ist.

Wie vorstehend beschrieben, ist bei dem Kraft-
werk mit kombiniertem Zyklus, das an Stelle des
herkömmlichen Kraftwerks der Hauptentwicklungs-
richtung entspricht, die Anzahl der Wellen der Gas-
turbinen, die direkt mit den Dampfturbinen verbun-
den sind, auf fünf oder mehr festgelegt, sodass eine
Gesamtausgangsleistung 1000 MW oder höher wird,
wobei die Dampfturbine als Turbine der Hoch-Nie-
derdruckintegrierten Bauart oder als Turbine der
Hoch-Mittel-
druckintegrierten Bauart ausgeführt ist,
sodass eine Einbaufäche der fünf Wellenanordnung
weiter vermindert ist, um einen Platz oder ein Grund-
stück wirksam auszunutzen.

Bei einem jüngeren thermischen Kraftwerk wird
eine der Turbine der Hoch-Niederdruckintegrierten
Bauart und der Turbine der Hoch-Mittel-
druckintegrierten Bauart als eine Dampfturbine ausgewählt,
die in dem mit kombiniertem Zyklus arbeitenden
Kraftwerk verwendet wird, wodurch die Einbaufäche
weiter vermindert wird. Dabei bestehen jedoch noch
die folgenden Probleme:

(1) Bei einer mit einem Turbinenrotor versehenen
Dampfturbine enthält der Turbinenrotor einen Hoch-,
Mittel-, Niederdruckabschnitt oder einen Hoch-Nieder-
druckabschnitt, wobei ein Hoch-Mittel-
druckabschnitt mit hoher Temperaturfestigkeit (Kriechfestigkeit) ver-
sehen ist und ein Niederdruckabschnitt mit hoher
Zugfestigkeit und hoher Zähigkeit versehen ist. Eine
solche Dampfturbine ist bereits dabei, Grenzen zu er-
reichen, um gleichzeitig die sich jeweils widerspre-
chenden Funktionen hoher Temperaturfestigkeit, ho-
her Zugfestigkeit und Ähnlichem zu erfüllen und diese
Festigkeiten weiter zu erhöhen. Das heisst, wenn ver-
sucht wird, ein Volumen einer einzigen Dampfturbine
weiter zu vergrössern, ist es unvermeidlich not-
wendig, die Temperatur des Dampfes zu vergrössern
und die Länge der Turbinenschaufel zu vergrössern.
Bei einem Turbinenrotor mit dem herkömmlichen
Hoch-Mittel-Niederdruckabschnitt oder dem Hoch-Nie-
derdruckabschnitt ist es jedoch schwierig, ausreichen-
de Festigkeit einschliesslich hoher Temperaturfestig-
keit und Vibrationsfestigkeit sicherzustellen. Aus die-
sem Grunde ist eine Gegenmassnahme erforderlich,
um die Festigkeit des Turbinenrotors sicherzustellen,
die im Hinblick auf die hohe Temperatur des Dampfes
erforderlich ist.

(2) Wenn die thermischen Behandlungstemperatu-
ren des Hoch-, Mittel-
druckabschnitts und des Nieder-
druckabschnitts gegenseitig verändert werden, um
den Hoch-Mittelabschnitt oder den Hochdruckab-
schnitt mit hoher Temperaturfestigkeit zu versehen
und den Niederdruckabschnitt mit Zugfestigkeit und
Zähigkeit zu versehen, wird zwischen dem Hoch-

Mitteldruckabschnitt und dem Niederdruckabschnitt ein Spalt vorgesehen. Weiter wird in dem Spalt eine Trennplatte vorgesehen, und die thermische Temperaturgradientenbehandlung wird durchgeführt. Wenn der Krümmungsradius eines Nutgrundes (nachfolgend Hitzennut) des Spaltes klein ist, besteht das Problem, dass bei der thermischen Temperaturgradientenbehandlung ein Abschreck-, bzw. ein Härteriss in dem Turbinenrotor erzeugt wird.

(3) Wenn die thermische Temperaturgradientenbehandlung in einem Zustand durchgeführt wird, bei dem der Spalt zwischen dem Hoch-Mitteldruckabschnitt und dem Niederdruckabschnitt ausgebildet ist und die Trennplatte in dem Spalt vorgesehen ist, ist, wenn die Dampftemperatur an der Stelle, an der die Trennplatte angeordnet ist, 400°C oder mehr beträgt, die Hochtemperaturfestigkeit des Hoch-Mitteldruckabschnitts nach der thermischen Behandlung nicht ausreichend, und die Hochtemperaturzähigkeit ist nicht ausreichend, was nachteilig und fehlerhaft ist.

(4) Wenn der Hoch-Mitteldruckabschnitt und Ähnliches und der Niederdruckabschnitt der thermischen Temperaturgradientenbehandlung unterworfen werden, wird, da es notwendig ist, eine Stelle, an der die Trennplatte angeordnet ist, zu sichern, der Turbinenrotor mit dem Spalt versehen, und deshalb nimmt die Spannweite des Turbinenrotors unvermeidlich zu. Beim Sichern der Stelle zur Anordnung der Trennplatte ist es daher notwendig, die Spannweite des Turbinenrotors zu verkürzen, um die Stelle zu sichern, an der die Trennplatte angeordnet ist.

Zusammenfassung der Erfindung

Die Erfindung wurde im Hinblick auf die vorstehenden Umstände gemacht, und eine Aufgabe der Erfindung liegt darin, eine Dampfturbine zu schaffen, die eine ausreichend sichere Festigkeit des Turbinenrotors mit einem Hoch-Mittel-Niederdruckabschnitt oder einem Hoch-Niederdruckabschnitt gegen eine hohe Temperatur des Dampfes hat und eine lange Länge der Turbinenschaufel entsprechend der Zunahme des Volumens einer einzigen Vorrichtung.

Diese und andere Aufgaben können erfindungsgemäss erfüllt werden, indem eine Dampfturbine mit einem Hochdruckturbinenabschnitt, einem Mitteldruckturbinenabschnitt und einem Niederdruckturbinenabschnitt geschaffen wird, bei der wenigstens zwei oder mehr der Druckabschnitte miteinander kombiniert sind, und einem Turbinenrotor, der einer thermischen Gradientenbehandlung bei unterschiedlichen thermischen Behandlungstemperaturen an den jeweiligen Druckabschnitten unterworfen wird, welcher Turbinenrotor von Lagern drehbar getragen und in einem Turbinengehäuse aufgenommen ist, wobei die Verbesserung der Dampfturbine darin besteht, dass, wenn ein axialer Abstand zwischen einer Festlegposition einer beweglichen Turbinenschaufel einer letzten Stufe des Niederdruckturbinenabschnitts und einer Festlegposition einer Trennplatte, die beim Durchführen der thermischen Gradientenbehandlung an jedem der Druckabschnitte mit verschiedenen thermischen Behandlungstemperaturen angeordnet ist, als A definiert wird, eine Schaufellänge der beweglichen Turbinenschaufel als B definiert wird und

ein axialer Abstand zwischen einer vorherigen Stufe der letzten Stufe des Niederdruckturbinenabschnitts und der Festlegposition der Trennplatte mit C bezeichnet wird, die Festlegposition der Trennplatte auf einen Bereich von $(A/B) \geq 0,9$ und $C \geq 300$ mm festgelegt wird.

In bevorzugten Ausführungsformen bezüglich des vorstehenden Aspekts ist ein Spalt des Turbinenrotors, in dem die Trennplatte angeordnet ist, als H definiert, und ein Krümmungsradius des Nutgrundes des Spaltes ist als R definiert, wobei der Spalt H und der Krümmungsradius R des Nutgrundes auf Bereiche von $H \geq 140$ mm und $R \geq 70$ mm festgelegt sind.

Die Trennplatte ist an einer Stelle angeordnet, an der eine Dampftemperatur 400°C oder weniger beträgt.

Die Trennplatte ist an der Position eines jeden von räumlichen Bereichen eines Niederdruckdampfeinlasses und einer Niederdruckentnahmeöffnung des Niederdruckturbinenabschnitts angeordnet.

Wenn eine Lagerspannweite des Turbinenrotors mit L bezeichnet wird, ist die Lagerspannweite auf einen Bereich von $L \geq 5700$ mm festgelegt.

Eine Schaufellänge der beweglichen Turbinenschaufel in der letzten Stufe des Niederdruckturbinenabschnitts beträgt 76,2 cm oder mehr.

Zumindest einer der Turbinenabschnitte wird mit einem Dampf mit einem Druck von 100 kg/cm² oder mehr und einer Temperatur von 500°C versorgt

Wie vorstehend beschrieben, wird bei einer erfindungsgemässen Dampfturbine, wenn der Hoch-, Mitteldruckturbinenabschnitt und der Niederdruckturbinenabschnitt oder der Hochdruckturbinenabschnitt und der Niederdruckturbinenabschnitt des Turbinenrotors der thermischen Gradientenbehandlung unterschiedlichen Temperaturen unterworfen werden, eine Festlegposition der letzten Stufe des Niederdruckturbinenabschnitts als ein Bezug genommen, eine Schaufellänge der beweglichen Schaufel in der letzten Stufe, ein axialer Abstand zwischen der letzten Stufe und der Festlegposition der Trennplatte für die thermische Gradientenbehandlung, und ein axialer Abstand zwischen der zweiten Stufe von der letzten Stufe und der Festlegposition der Trennplatte für die thermische Gradientenbehandlung werden umfassend berücksichtigt, um eine geeignete Position der Trennplatte für die thermische Gradientenbehandlung festzulegen. Daher kann durch den Hoch-Mitteldruckturbinenabschnitt oder den Hochdruckturbinenabschnitt eine hohe Temperaturfestigkeit sichergestellt werden, und kann durch den Niederdruckturbinenabschnitt eine hohe Zugfestigkeit und Zähigkeit sichergestellt werden. Es ist daher möglich, der Tendenz zu hohen Temperaturen eines einzelnen Vorrichtungsvolumens und zu einer hohen Ausgangsleistung in genügender Weise entgegenzukommen.

Da die Lagerspannweite auf eine geeignete Position festgelegt ist, sodass die rechnerische bzw. Nenndrehzahl des Turbinenrotors ausreichend weit weg von dem kritischen Drehzahlbereich verschoben bzw. verstimmt werden kann, ist es bei der erfindungsgemässen Dampfturbine weiter möglich, den Turbinenrotor sicher und stabil zu betreiben.

Die Natur und weitere charakteristische Merkmale

der Erfindung werden aus der nachfolgenden Beschreibung in Zusammenhang mit den beigegeführten Zeichnungen deutlich.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

In den Zeichnungen stellen dar;

Fig. 1 eine schematische Schnittansicht einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemässen Dampfturbine;

Fig. 2 ein schematisches Diagramm zur Erläuterung einer thermischen Gradientenbehandlungseinrichtung zur Durchführung an der erfindungsgemässen Dampfturbine;

Fig. 3 eine Kurve, die die FATT-Verteilung in der Nähe der Trennplatte zeigt, die zum Zeitpunkt der thermischen Gradientenbehandlung angeordnet ist; FATT (Fracture Appearance Transition Temperature = Übergangstemperatur der Kerbschlagfähigkeit)

Fig. 4 eine Kurve, die die FATT-Verteilung eines herkömmlichen Turbinenrotors zeigt, der keiner thermischen Gradientenbehandlung unterworfen wird;

Fig. 5 eine Kurve, die die FATT-Verteilung zum Festlegen einer notwendigen Position zur Anordnung der Trennplatte für die thermische Gradientenbehandlung von jeder der Positionen von L-1 und L-0 bei der thermischen Gradientenbehandlungseinrichtung zur Durchführung für die erfindungsgemässe Dampfturbine zeigt;

Fig. 6 eine Kurve, die die FATT-Verteilung zum Erhalten eines erlaubten Zähigkeitsunterschiedes in der Position L-0 in der thermischen Gradientenbehandlungseinrichtung zur Durchführung für die erfindungsgemässe Dampfturbine zeigt;

Fig. 7 eine Kurve, die die erlaubte Zähigkeitsunterschiedsverteilung zum Erhalten eines Verhältnisses zwischen einem axialen Abstand von der L-0-Position zu der Trennwand für die thermische Gradientenbehandlung und einer Länge einer beweglichen Turbinenschaufel in der L-0-Position zeigt;

Fig. 8 ein schematisches Diagramm einer zweiten Ausführungsform einer erfindungsgemässen Dampfturbine;

Fig. 9 eine schematische Schnittansicht einer dritten Ausführungsform einer zusammengebauten erfindungsgemässen Dampfturbine;

Fig. 10 ein schematisches Diagramm einer vierten Ausführungsform einer erfindungsgemässen Dampfturbine und

Fig. 11 eine Kurve einer kritischen Drehzahl eines Turbinenrotors zur Darstellung der Beziehung zwischen einer Spannweite zwischen Lagern und der kritischen Drehzahl.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

Im Folgenden werden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen und die darin angegebenen Bezugszeichen oder Symbole Ausführungsformen der erfindungsgemässen Dampfturbine erläutert.

Fig. 1 ist eine schematische Schnittansicht einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemässen Dampfturbine.

Eine Dampfturbine der ersten Ausführungsform

wird in einem mit kombinierten Zyklus arbeitenden Kraftwerk mit folgenden Hauptauslegungen verwendet: der Dampfdruck beträgt 100 kg/cm^2 oder mehr; die Dampftemperatur beträgt 500°C oder mehr und eine Länge der an einer letzten Stufe eines Niederdruckbereiches des Turbinenrotors vorgesehenen beweglichen Schaufel beträgt 30 inch (76,2 cm) oder mehr.

Die Dampfturbine dieser Ausführungsform hat beispielsweise einen Aufbau der Hoch-Mittel-Niederdruck-integrierten Bauart. Bei dieser Dampfturbine sind ein Hochdruckturbinenabschnitt 1, ein Mitteldruckturbinenabschnitt 2 und ein Niederdruckturbinenabschnitt 3 miteinander zu einem Hoch-Mittel-Niederdruckintegrierten Turbinenrotor (Turbinenwelle 4) integriert und in einem Turbinengehäuse 5 aufgenommen.

Der Hoch-Mittel-Niederdruck-integrierte Turbinenrotor 4 enthält eine Hochdruckturbinenstufe 8a, eine Mitteldruckturbinenstufe 8b und eine Niederdruckturbinenstufe 8c, in denen Turbinendüsen 6 und bewegliche Turbinenschaufeln 7 jeweils in dem Hochdruckturbinenabschnitt 1, dem Mitteldruckturbinenabschnitt 2 und dem Niederdruckturbinenabschnitt 3 kombiniert sind. Der Hoch-Mittel-Niederdruck-integrierte Turbinenrotor 4 ist von der so genannten Axialströmungsbauart, bei der eine Mehrzahl von Stufen, d.h. die Turbinenstufen 8a, 8b und 8c längs einer Strömungsrichtung ausgebildet sind.

Voneinander abgewandte Enden des Hoch-Mittel-Niederdruck-integrierten Turbinenrotors 4 werden von Lagern 10a und 10b drehbar getragen, beispielsweise von an jeweiligen Basisteilen 9a und 9b angebrachten Radiallagern.

Damit der Hochdruckturbinenabschnitt 1 und der Mitteldruckturbinenabschnitt 2 eine hohe Temperaturfestigkeit (Kriechfestigkeit) und der Niederdruckturbinenabschnitt 3 eine Raumtemperaturfestigkeit (Zugfestigkeit) und hohe Zähigkeit erhalten, ist bei dem Hoch-Mittel-Niederdruck-integrierten Turbinenrotor 4 eine Einsatznut 11a für eine Trennplatte 11 an einer Grenze zwischen dem Mitteldruckturbinenabschnitt 2 und dem Niederdruckturbinenabschnitt 3 vorgesehen, wobei die Trennplatte eingesetzt wird, wenn eine so genannte thermische Gradientenbehandlung ausgeführt wird, bei der Abkühl- bzw. Abschrecktemperaturen an jeweiligen Bereichen unterschiedlich sind. Im Fall des Hoch-Niederdruck-integrierten Turbinenrotors ist die Einsatznut 11a für die Trennplatte 11 an einer Grenze zwischen dem Hochdruckturbinenabschnitt 1 und dem Niederdruckturbinenabschnitt 3 vorgesehen.

Bei der thermischen Gradientenbehandlungseinrichtung ist, wie in Fig. 2 dargestellt, ein Hoch-Niederdruck- oder Hoch-Mittel-Niederdruck-integrierter Turbinenrotor 4 in einem thermischen Behandlungs-ofen 12, beispielsweise einem senkrechten elektrischen Ofen aufgenommen, wobei die Trennplatte 11 in einer Grenze zwischen dem Mitteldruckturbinenabschnitt 2 und dem Niederdruckturbinenabschnitt 3 vorgesehen ist (im Fall des Hoch-Niederdruck-integrierten Turbinenrotors ist die Trennplatte 11 an der Grenze zwischen dem Hochdruckturbinenabschnitt 1 und dem Niederdruckturbinenabschnitt 3 vorgesehen), wobei der Hochdruckturbinenabschnitt 1 und

der Mitteldruckturbinenabschnitt 2 auf eine Temperatur von beispielsweise 955°C erhitzt werden, und der Niederdruckturbinenabschnitt 3 beispielsweise auf eine Temperatur von 900°C erhitzt wird. Anschließend werden der Hochdruckturbinenabschnitt 1 und der Mitteldruckturbinenabschnitt 2 von einem Ventilator 13 für relativ lange Zeit zwangsabgekühlt und der Niederdrucktemperaturabschnitt wird von Sprühwasser aus einem Sprühbereich 14 rasch abgekühlt.

Im Fall des Hoch-Mittel-Niederdruck-integrierten Turbinenrotors 4, bei dem der Hochdruckturbinenbereich 1 und der Mitteldruckturbinenbereich 2 bei einer von der Temperatur des Niederdruckturbinenabschnitts 3 verschiedenen Temperatur gradientenerhitzt werden und nach dem Gradientenerhitzen diese Druckabschnitte, wie in Fig. 3 dargestellt, mit unterschiedlicher Geschwindigkeit abgekühlt werden, wird in einem Zwischenbereich als eine Grenze der für die thermische Gradientenbehandlung angeordneten Trennplatte 1 zwischen einem stabilen FATT-Wert (Fracture Appearance Transition Temperature Value = Bruchaussehensübergangstemperaturwert), der für die Konstruktion auf der Seite des Hochdruckturbinenbereiches 1 und des Mitteldruckturbinenabschnitts 2 erforderlich ist, und dem stabilen FATT-Wert, der für die Konstruktion auf der Seite des Niederdruckturbinenabschnitts 3 erforderlich ist, ein Übergang erzeugt. Dieser Übergangsbereich ist ein Bereich, in dem die Raumtemperaturfestigkeit (Zugfestigkeit) und die Zähigkeit aus Sicht des Niederdruckturbinenabschnitts 3 instabil sind, und die Hochtemperaturfestigkeit (Kriechfestigkeit) aus Sicht des Hochdruckturbinenabschnitts 1 und des Mitteldruckturbinenabschnitts 2 instabil ist. Wenn die letzte Niederdruckturbinenstufe 8c in dem Niederdruckturbinenabschnitt 3 beispielsweise in dem Übergangsbereich angeordnet ist, kann aus diesem Grund die Niederdruckturbinenstufe 8c einer Zentrifugalkraft nicht standhalten, die während der Drehung der beweglichen Turbinenschaufel 7 erzeugt wird, und es besteht die Gefahr, dass der Hoch-Mittel-Niederdruck-integrierte Turbinenrotor 4 zerstört wird.

Im Fall eines Turbinenrotors, der keiner thermischen Gradientenbehandlung ausgesetzt wird, wie in Fig. 4 dargestellt, in der die senkrechte Achse einen FATT-Wert und die waagrechte Achse eine Länge der Turbinenrotorwelle darstellen, liegt des Weiteren nur der mit einer durchgehenden Linie dargestellte FATT-Wert des Turbinenrotors unter dem FATT-Wert, der für die Konstruktion einer Niederdruckturbinenstufe 8c (im Folgenden Position L-2 oder L-2-Position) notwendig ist, die eine dritte Niederdruckturbinenstufe 8c von der letzten Stufe des Niederdruckturbinenabschnitts 3 ist, wie mit einer doppelt gepunkteten unterbrochenen Linie dargestellt. Weiter sind der FATT-Wert, der für die Konstruktion einer Niederdruckturbinenstufe 8c (im Folgenden Position L-1 oder L1-Position) notwendig ist, die eine zweite Niederdruckturbinenstufe von der letzten Stufe des Niederdruckturbinenabschnitts 3 ist, wie mit einer strichpunktierten Linie dargestellt, und der FATT-Wert, der für die Konstruktion bzw. den Entwurf einer Niederdruckturbinenstufe 8c (im Folgenden Position L-0 oder L-0-Position) notwendig ist, die die letzte Stufe des Niederdruckturbinenab-

schnitts 3 ist, wie mit einer gestrichelten Linie dargestellt, beide niedriger als der FATT-Wert des Turbinenrotors, der mit der ausgezogenen Linie dargestellt ist. Wenn eine an der Stelle L-1 oder L-0 angeordnete bewegliche Turbinenschaufel 7 30 inch (76,2 cm) lang oder länger ist, kann der Turbinenrotor daher der Zentrifugalkraft der beweglichen Turbinenschaufel 7, die während der Drehung erzeugt wird, nicht standhalten, und es besteht die Gefahr, dass der Turbinenrotor zerstört wird. Der vorstehende Punkt wird bei der vorliegenden Ausführungsform berücksichtigt. Bezug nehmend auf Fig. 1 ist die bewegliche Turbinenschaufel 7, die an der Stelle L-0 angeordnet ist, als ein Bezug definiert; ein axialer Abstand von der beweglichen Bezugsturbinschaufel 7 zu der Einschnubnut 11a für die Trennplatte ist als A definiert; eine Länge der beweglichen Turbinenschaufel an der Stelle L-0 ist als B definiert; und ein axialer Abstand von der beweglichen Turbinenschaufel 7 an der Stelle L-1 zu der Trennplatte 11 ist als C definiert. Ein Verhältnis A/B des axialen Abstandes A an der Position L-0 und der Schauffellänge B an der Position L-0 und der axiale Abstand C an der Position L-1 werden in den folgenden Bereichen festgelegt:

$$(A/B) \geq 0,9$$

$$C \geq 300 \text{ mm}$$

Als der Turbinenrotor konstruiert bzw. entworfen wurde, wurde der FATT-Wert an der Position L-1 als eine Entwurfsrichtlinie genommen, und der axiale Abstand C zwischen der beweglichen Turbinenschaufel 7 an der Position L-1 und der Trennplatte 11 wurde derart festgelegt, dass er gleich oder kleiner als 300 mm war, basierend auf den folgenden Gründen:

Es ist allgemein bekannt, dass in dem Hoch-Mittel-Nieder-integrierten Turbinenrotor 4 eine Spannung bzw. Beanspruchung an einem mittleren Bereich halb so gross oder kleiner als eine Bohrungsspannung bzw. -beanspruchung eines Turbinenrotors mit einer zentralen Bohrung ist. In diesem Fall ist bekannt, dass eine Bohrungsspannung bzw. -beanspruchung an der Position L-0 von einer Abmessung der beweglichen Turbinenschaufel 7 beeinflusst wird, aber eine Bohrungsbeanspruchung an der Position L-1 auf einem im Wesentlichen konstanten Wert aufrechterhalten wird, selbst wenn die Länge der beweglichen Turbinenschaufel 7 30 inch (76,2 cm) oder mehr beträgt. Da die Dampfauslegungstemperatur unabhängig von der Länge der beweglichen Turbinenschaufel 7 an der Position L-0 bestimmt wird, ist des Weiteren der für den Entwurf erforderliche FATT-Wert an der Position L-1 im Wesentlichen konstant, unabhängig von der Länge der an der Stelle L-1 angeordneten beweglichen Turbinenschaufel 7.

Unter diesen Umständen wird beim Entwurf des hoch-mittel-niedrig-integrierten Turbinenrotors 4 der FATT-Wert an der Stelle L-1 als ein Auswahlkriterium für den Entwurf festgelegt.

Wie in Fig. 5 dargestellt, ist der Turbinenrotor, der der thermischen Gradientenbehandlung unterworfen wurde, derart aufgetragen, dass die FATT-Verteilungslinie mit einer durchgehenden Linie dargestellt

ist, wohingegen die FATT-Verteilungslinie an der Position L-1, die für den Entwurf erforderlich ist, strichpunktiert dargestellt ist, und die FATT-Verteilungslinie an der Position L-0, die für den Entwurf erforderlich ist, unterbrochen dargestellt ist.

Dabei wurde nach einem Überblick herausgefunden, dass ein Schnittpunkt L-1 der FATT-Verteilungslinie an der Position L-1 und einer FATT-Verteilungslinie des Turbinenrotors, der der thermischen Gradientenbehandlung unterworfen wurde, 300 mm weg von einer Position war, an der die Trennplatte 11 für die thermische Gradientenbehandlung angeordnet war.

Wenn eine axiale Entfernung C der Position L-1 von der Position, an der die Trennplatte 11 für die thermische Gradientenbehandlung angeordnet ist, 300 mm übersteigt, wird der FATT-Wert, der für den Entwurf notwendig ist, daher zuverlässig sichergestellt. Da ein axialer Abstand A der Position L-0 durch einen Abstand zwischen der Trennplatte und der Stelle des Schnittpunktes L0 der FATT-Verteilungskurve an der Position L-0 und der Verteilungskurve des Turbinenrotors, der der thermischen Gradientenbehandlung unterworfen wurde, bestimmt wird, kann die Position L-0 an dem Schnittpunkt L0 oder einer entgegengesetzten Seite des Schnittpunktes L1 weg vom Schnittpunkt L0 angeordnet werden.

Als Nächstes wird das Verhältnis A/B des L-0 axialen Abstandes und der Schauffellänge an der L-0-Position auf $A/B > 0,9$ festgesetzt, basierend auf dem folgenden Grund.

Die FATT-Verteilungslinie des Turbinenrotors, der der thermischen Gradientenbehandlung unterworfen wurde, und die FATT-Verteilungslinie der L-0-Position, die für den Entwurf erforderlich ist, sind in Fig. 6 dargestellt. Im vorliegenden Fall wird eine festgesetzte Position der Trennplatte 11 für die thermische Gradientenbehandlung auf einen Punkt X1 bezüglich der L-0-Position festgelegt. Dabei ist der erlaubte Zähigkeitsunterschied des Niederdruckturbinenabschnitts 3 an der Position L-0 $\Delta FATT1$. Der erlaubte Zähigkeitsunterschied $\Delta FATT1$ des Niederdruckturbinenbereiches 3 an der L-0-Position ist dabei durch die folgende Gleichung definiert:

$\Delta FATT = (FATT\text{-Wert, der für den Entwurf an der L-0-Position erforderlich ist}) - (\text{aktueller FATT-Wert an der L-0-Position})$. Wenn die festgelegte Position der Trennplatte 11 für die thermische Gradientenbehandlung zu der stromaufwärtigen Seite des Dampfes (Turbinenantriebsdampf) von dem Punkt X1 zu dem Punkt X2 bewegt wird, wobei die L-0-Position als Bezug genommen wird, kommt bei dieser Definitionsgleichung die FATT-Verteilungslinie in eine durch die gestrichelte Linie dargestellte Position. Der erlaubte Zähigkeitsunterschied des Niederdruckturbinenabschnitts 3 in der L-0-Position ist dabei $\Delta FATT2$. Es wurde bestätigt, dass der erlaubte Zähigkeitsunterschied grösser wird, wenn die Festlegungsposition der Trennplatte 11 weg von der L-0-Position war.

Die vorliegende Ausführungsform richtet die Aufmerksamkeit auf die Tatsache, dass, wenn die festgelegte Position der Trennplatte 11 weg von der L-0-Position war, der erlaubte Zähigkeitsunterschied grösser wurde. In Fig. 7 zeigt die senkrechte Achse

einen erlaubten Zähigkeitsunterschiedswert des Niederdruckturbinenabschnitts 3 in der L-0-Position und eine waagrechte Achse zeigt ein Verhältnis (A/B) des axialen Abstandes A zwischen der L-0-Position und der Trennplatte 11 und der Schauffellänge B. Es wurde herausgefunden, dass, wenn der erlaubte Zähigkeitsunterschied des Niederdruckturbinenbereiches 3 in der L-0-Position, erhalten, wenn der axiale Abstand A eine Variable war, aufgetragen wurde, sich eine Verteilungskurve gemäss der ausgezogenen Linie ergibt. Da der erlaubte Zähigkeitsunterschied des Niederdruckturbinenabschnitts 3 in der L-0-Position dabei aufgetragen wurde und die Verteilungslinie unterbrochen dargestellt wurde, wurde herausgefunden, dass das Verhältnis (A/B) des axialen Abstandes A und der Schauffellänge B, das der Schnittpunkt war, 0,9 betrug, und es war ein Grenzpunkt, wo die bewegliche Turbinenschaufel 7 in der L-0-Position angeordnet werden konnte.

Da das Verhältnis (A/B) des axialen Abstandes A und der Schauffellänge B in einem Bereich von $A/B \geq 0,9$ festgelegt wurde, ist es auf diese Weise bei der beschriebenen Ausführungsform möglich, zu erreichen, dass der hoch-mittel-nieder-integrierte Turbinenrotor 4, der der thermischen Gradientenbehandlung unterworfen wurde, sicher und stabil betrieben wird.

Fig. 8 ist eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemässen Dampfturbine.

Wenn bei der Dampfturbine entsprechend der zweiten Ausführungsform der hoch-mittel-niedrig-integrierte Turbinenrotor 4 der thermischen Gradientenbehandlung unterworfen wird, werden, wenn ein Abstand bzw. eine Breite eines Spalts EP zur Aufnahme der Trennplatte 11 für die thermische Gradientenbehandlung zwischen dem Niederdruckturbinenabschnitt 3 und dem Hochdruckturbinenabschnitt 1 oder dem Mitteldruckturbinenabschnitt 2 als H definiert wird und ein Krümmungsradius einer Heizgruppe eines Zwischenbereiches IP, der den Mitteldruckturbinenabschnitt 2 und den Niederdruckturbinenabschnitt 3 miteinander verbindet, als R definiert wird, H und R in den folgenden Bereichen festgelegt:

$$\begin{aligned} H &\geq 140 \text{ mm,} \\ R &\geq 70 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diese numerischen Werte sind vernünftige Werte, mit denen ein Abschreckriss bei der thermischen Gradientenbehandlung verhindert werden kann, und dies wurde im Experiment bestätigt.

Bei der Dampfturbine der vorliegenden Ausführungsform wird der Spalt EP, in dem die Trennplatte 11 für die thermische Gradientenbehandlung aufgenommen wird, an einer Stelle angeordnet, an der die Dampftemperatur (Turbinenantriebsdampf) 400°C oder weniger wird.

Wie vorstehend beschrieben, wird bei der vorliegenden Ausführungsform der Abstand H bzw. die Breite des Spaltes EP, in der die Trennplatte 11 für die thermische Gradientenbehandlung aufgenommen wird, zwischen dem Mitteldruckturbinenabschnitt 2 und dem Niederdruckturbinenabschnitt 3 auf einen

Bereich von $H \geq 140$ mm festgelegt, der Krümmungsradius R der Heizgruppe des Mitteldruckbereiches IP, an dem der Mitteldruckturbinenabschnitt 2 und der Niederdruckturbinenabschnitt 3 miteinander verbunden sind, wird auf den Bereich von $R \geq 70$ mm festgelegt, und der Spalt EP, in dem die Trennplatte 11 für die thermische Gradientenbehandlung aufgenommen wird, wird an einer Position angeordnet, an der die Dampftemperatur 400°C oder weniger wird. Damit ist es möglich, das Entstehen eines Abschreckrissses bei der thermischen Gradientenbehandlung zu verhindern, eine Spannungskonzentration, die auf während des Betriebes erzeugte thermische Spannungen zurückgeht, auf einen niederen Wert herabzudrücken und den Hochdruckturbinenabschnitt 1 und den Mitteldruckturbinenabschnitt 2 mit einer hohen Temperaturfestigkeit (Kriechfestigkeit) zu versehen und den Niederdrucktemperaturabschnitt 3 mit Raumtemperaturfestigkeit (Zugfestigkeit) und Zähigkeit zu versehen.

Fig. 9 ist eine schematische Schnittansicht einer dritten Ausführungsform einer zusammengebauten erfindungsgemässen Dampfmaschine. Denen der ersten Ausführungsform ähnliche Bestandteile sind mit den gleichen Bezugszeichen oder Symbolen belegt, und eine überlappende Erläuterung wird weggelassen.

Bei der Dampfturbine der dritten Ausführungsform wird jeder der räumlichen Bereiche LP eines Niederdruckdampfeinlasses 15 und einer Niederdruckentnahme (Öffnung 16) des Niederdruckturbinenabschnitts 3 des hoch-mittel-nieder-integrierten Turbinenrotors 4 als eine Festlegposition der Trennplatte 11 für die thermische Gradientenbehandlung verwendet.

Da die Festlegposition der Trennplatte 11 für die thermische Gradientenbehandlung bei der Dampfturbine sichergestellt werden muss, besteht in herkömmlicher Weise eine Tendenz dazu, dass eine Spannweite zwischen den Lagern des hoch-mittel-nieder-integrierten Turbinenrotors 4 gross wird. Wenn die Lagerspannweite gross wird, wird bei der herkömmlichen Dampfturbine jedoch ein kritischer Drehzahlbereich während des Betriebs vermindert, und wenn eine Wellenschwingung aus irgendwelchen Gründen vergrössert wird, gerät die Dampfturbine in einen gefährlichen Zustand.

Die vorliegende Ausführungsform ist unter Berücksichtigung dieses Punktes entstanden, und irgendeiner der räumlichen Bereiche LB des Niederdruckdampfeinlasses 15 und der Niederdruckentnahme 16 in dem Niederdruckturbinenabschnitt 3 wird als Festlegposition der Trennplatte 11 für die thermische Gradientenbehandlung verwendet, sodass die Lagerspannweite relativ kurz wird.

Da die Lagerspannweite des hoch-mittel-nieder-integrierten Turbinenrotors 4 relativ kurz ist, um den kritischen Drehzahlbereich zu vergrössern, ist es daher bei der vorliegenden Ausführungsform möglich, die Nennbetriebszahl des hoch-mittel-nieder-integrierten Turbinenrotors gegenüber dem kritischen Drehzahlbereich zu verstimmen bzw. zu verschieben, und die Turbine stabil zu betreiben.

Fig. 10 ist ein schematisches Diagramm einer vierten Ausführungsform der erfindungsgemässen

Dampfturbine. Denen der ersten Ausführungsform ähnliche Bestandteile sind mit den gleichen Bezugszeichen belegt.

Bei der Dampfturbine der vierten Ausführungsform werden der Hochdruckturbinenabschnitt 1 und der Mitteldruckturbinenabschnitt 2 der thermischen Gradientenbehandlung bei einer Temperatur unterworfen, die verschieden von der des Niederdrucktemperaturabschnitts 3 ist. Eine Lagerspannweite L zwischen Lagern 10A und 10B des hoch-mittel-nieder-integrierten Turbinenrotors 4 wird auf einen Bereich von $L \geq 5700$ mm festgelegt.

Wenn die Lagerspannweite L der Dampfturbine lang bzw. gross ist, wird ganz allgemein die kritische Geschwindigkeit bzw. Drehzahl der Welle vermindert, sodass sich die Drehzahl der Auslegungs- bzw. Nenndrehzahl annähert und die Turbine in einen gefährlichen Betriebszustand gelangt.

Die bei dem Längerwerden der Lagerspannweite L entstehende kritische Drehzahl wird bei der vorliegenden Ausführungsform in Betracht gezogen, und wie in Fig. 11 dargestellt, wird die Lagerspannweite L auf einen Bereich von $L \geq 5700$ mm festgelegt, sodass die Nenndrehzahl von dem kritischen Drehzahlbereich CP verschoben werden kann, wie durch die geneigten Linien dargestellt.

Wie vorstehend beschrieben, ist es bei der vorliegenden Ausführungsform, da die Lagerspannweite L auf dem Bereich von $L \geq 5700$ mm festgelegt ist, möglich, den hoch-mittel-nieder-integrierten Turbinenrotor sicher und stabil zu betreiben.

Es sei darauf hingewiesen, dass die vorliegende Erfindung nicht auf die beschriebenen Ausführungsformen beschränkt ist und dass viele weitere Änderungen und Modifizierungen durchgeführt werden können, ohne von dem Umfang der beigefügten Patentansprüche abzuweichen.

Patentansprüche

1. Dampfturbine mit einem Hochdruckturbinenabschnitt (1), einem Mitteldruckturbinenabschnitt (2) und einem Niederdruckturbinenabschnitt (3), wobei wenigstens zwei oder mehr der Druckabschnitte miteinander kombiniert sind, und mit einem Turbinenrotor (4), der einer thermischen Gradientenbehandlung mit unterschiedlichen thermischen Behandlungstemperaturen an den jeweiligen Druckabschnitten unterworfen wird, welcher Turbinenrotor drehbar von Lagern (10a, 10b) gehalten wird und in einem Turbinengehäuse (5) aufgenommen ist, wobei, wenn ein axialer Abstand zwischen einer Festlegposition einer beweglichen Turbinenschaufel einer letzten Stufe des Niederdruckturbinenabschnitts und einer Festlegposition einer Trennplatte (11), die beim Durchführen der an jedem der Druckabschnitte mit unterschiedlicher thermischer Behandlungstemperatur erfolgenden thermischen Gradientenbehandlung angeordnet ist, als A definiert ist, eine Schaufellänge der beweglichen Turbinenschaufel als B definiert ist, und ein axialer Abstand zwischen einer vorhergehenden Stufe der letzten Stufe des Niederdruckturbinenabschnitts und der Festlegposition der Trennplatte als C definiert ist, die Festlegposition der Trennplatte auf einen Bereich von $(A/B) \geq 0,9$ und $C \geq 300$ mm festgelegt ist.

2. Dampfturbine nach Anspruch 1, wobei, wenn ein Spalt des Turbinenrotors (4), in dem die Trennplatte (11) angeordnet wird, als H definiert ist und ein Krümmungsradius eines Nutgrundes des Spaltes als R definiert ist, der Spalt H und der Krümmungsradius R des Nutgrundes auf Bereiche von $H \geq 140$ mm und $R \geq 70$ mm festgelegt sind. 5
3. Dampfturbine nach Anspruch 1, wobei die Trennplatte (11) an einer Position angeordnet ist, an der eine Dampftemperatur 400°C oder weniger beträgt. 10
4. Dampfturbine nach Anspruch 1, wobei die Trennplatte (11) an einer Position eines von räumlichen Bereichen eines Niederdruckdampfeinlasses (15) und einer Niederdruckentnahmeöffnung (16) des Niederdruckturbinenabschnitts (3) angeordnet ist. 15
5. Dampfturbine nach Anspruch 1, wobei, wenn eine Lagerspannweite des Turbinenrotors als L definiert ist, die Lagerspannweite L auf einen Bereich $L \geq 5700$ mm festgelegt ist. 20
6. Dampfturbine nach Anspruch 1, wobei eine Schaufellänge der beweglichen Turbinenschaufel in der letzten Stufe des Niederdruckturbinenabschnittes auf 76,2 cm oder mehr festgelegt ist.
7. Dampfturbine nach Anspruch 1, wobei wenigstens einer der Druckturbinenabschnitte mit Dampf mit einem Druck von 100 kg/cm^2 oder mehr und einer Temperatur von 500°C beaufschlagt ist. 25

30

35

40

45

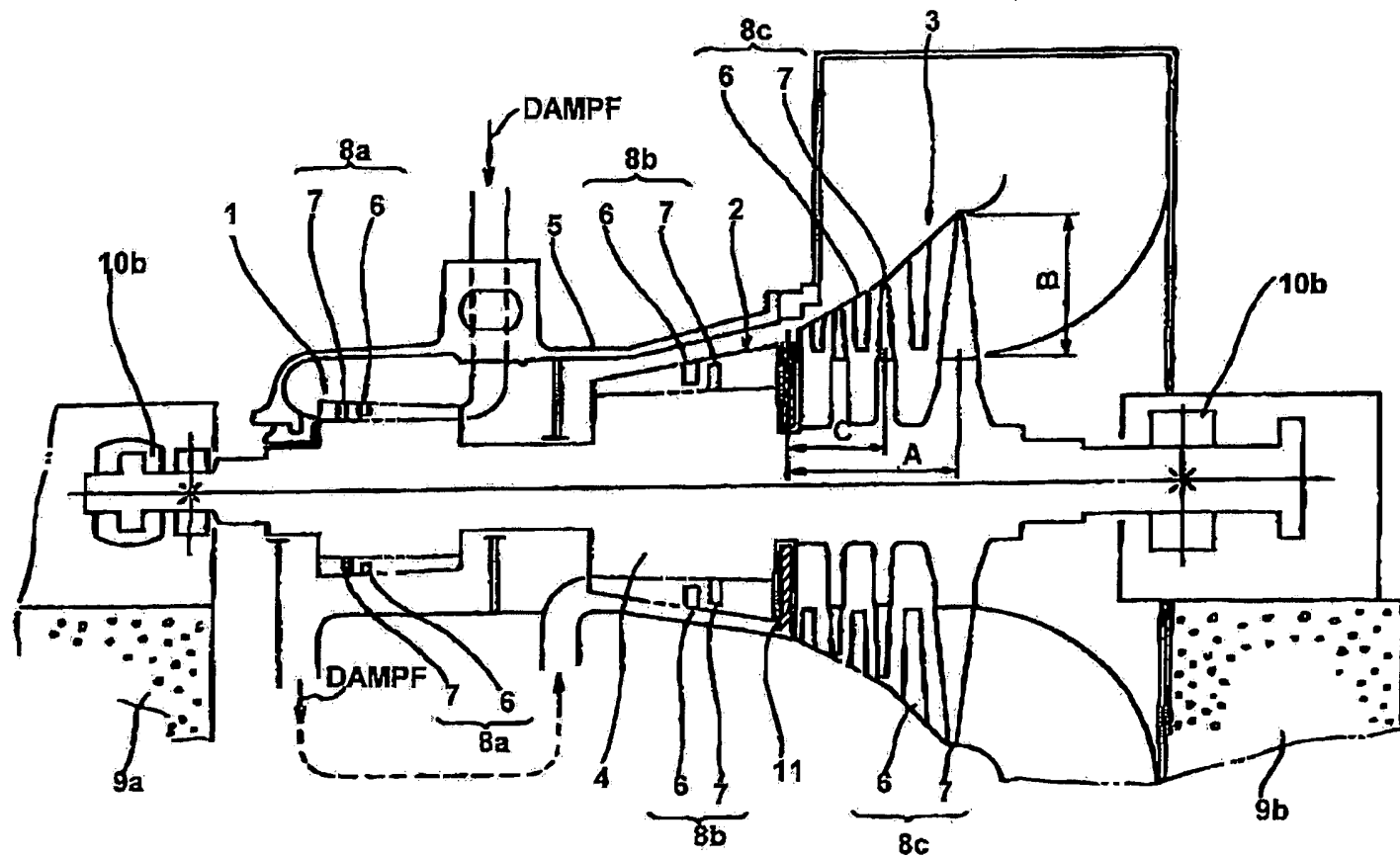
50

55

60

65

8



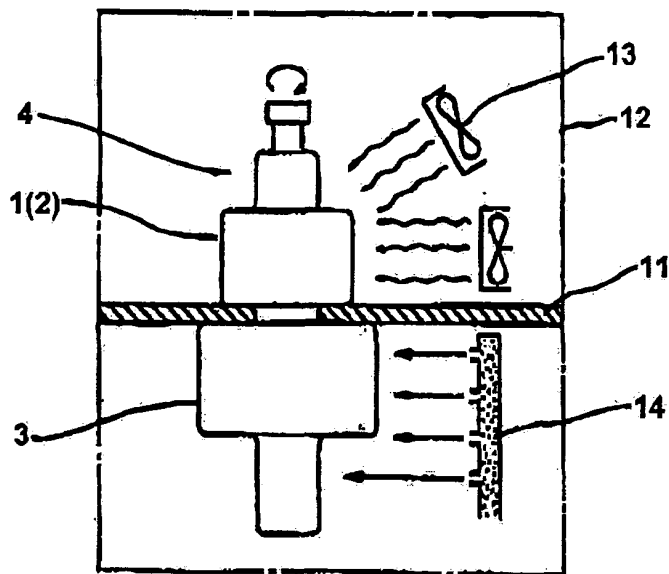


FIG. 2

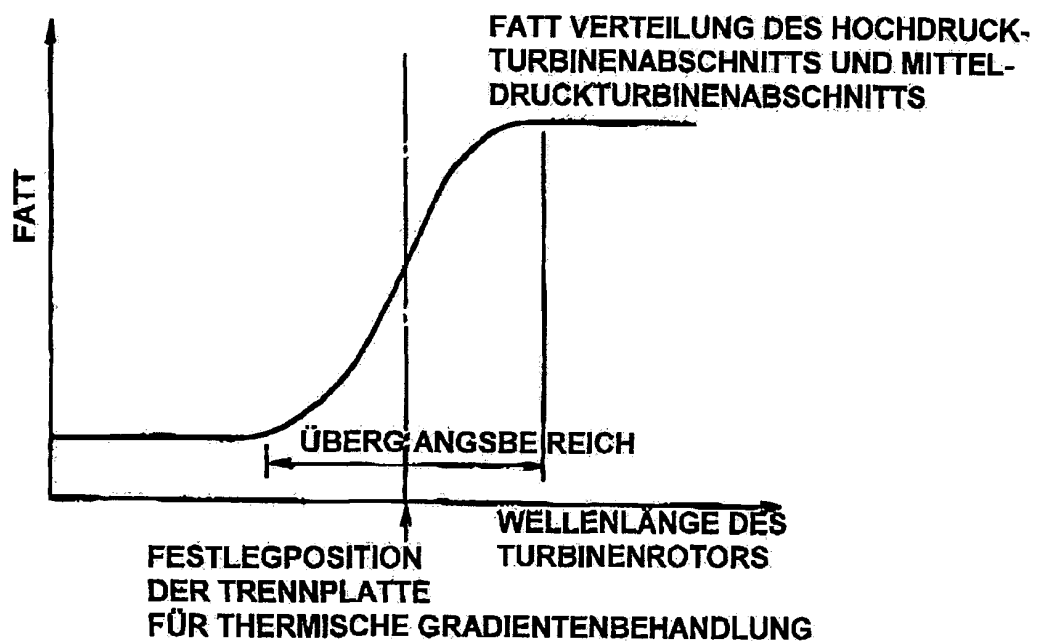


FIG. 3

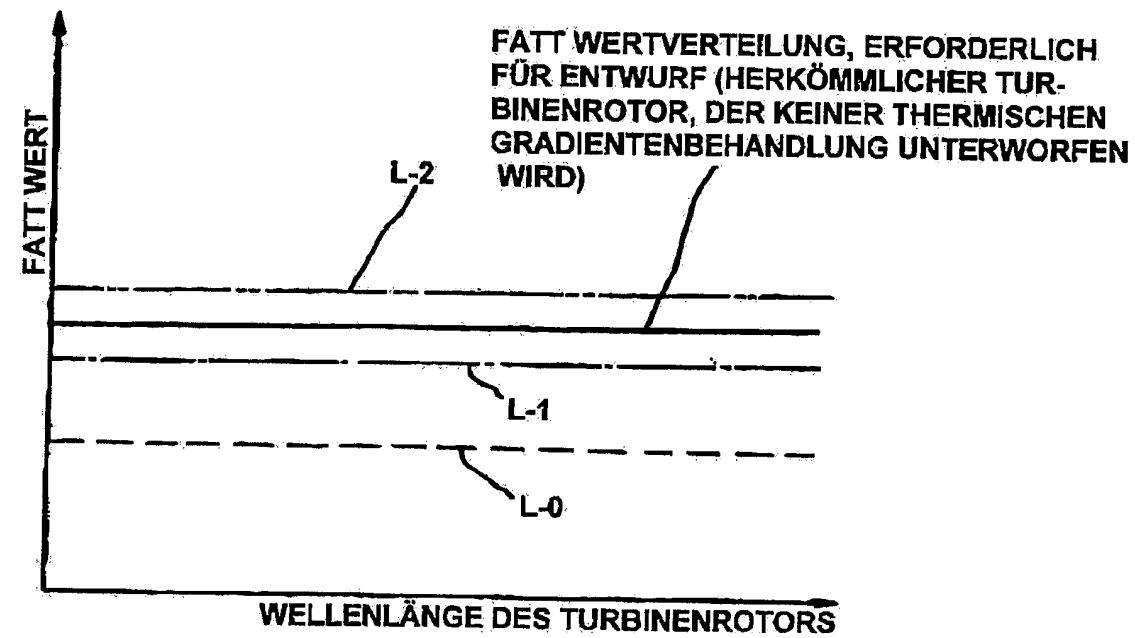


FIG. 4

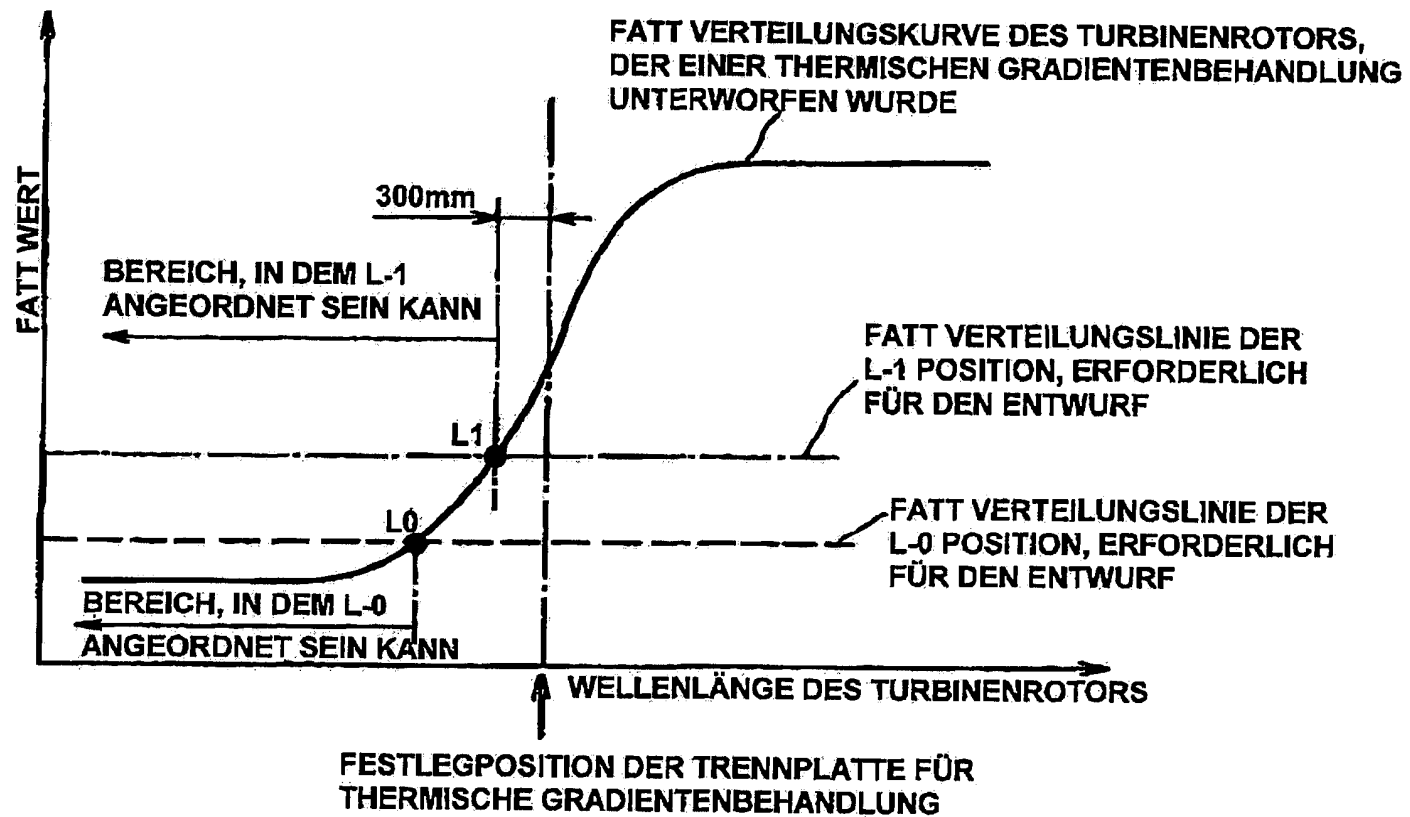


FIG. 5

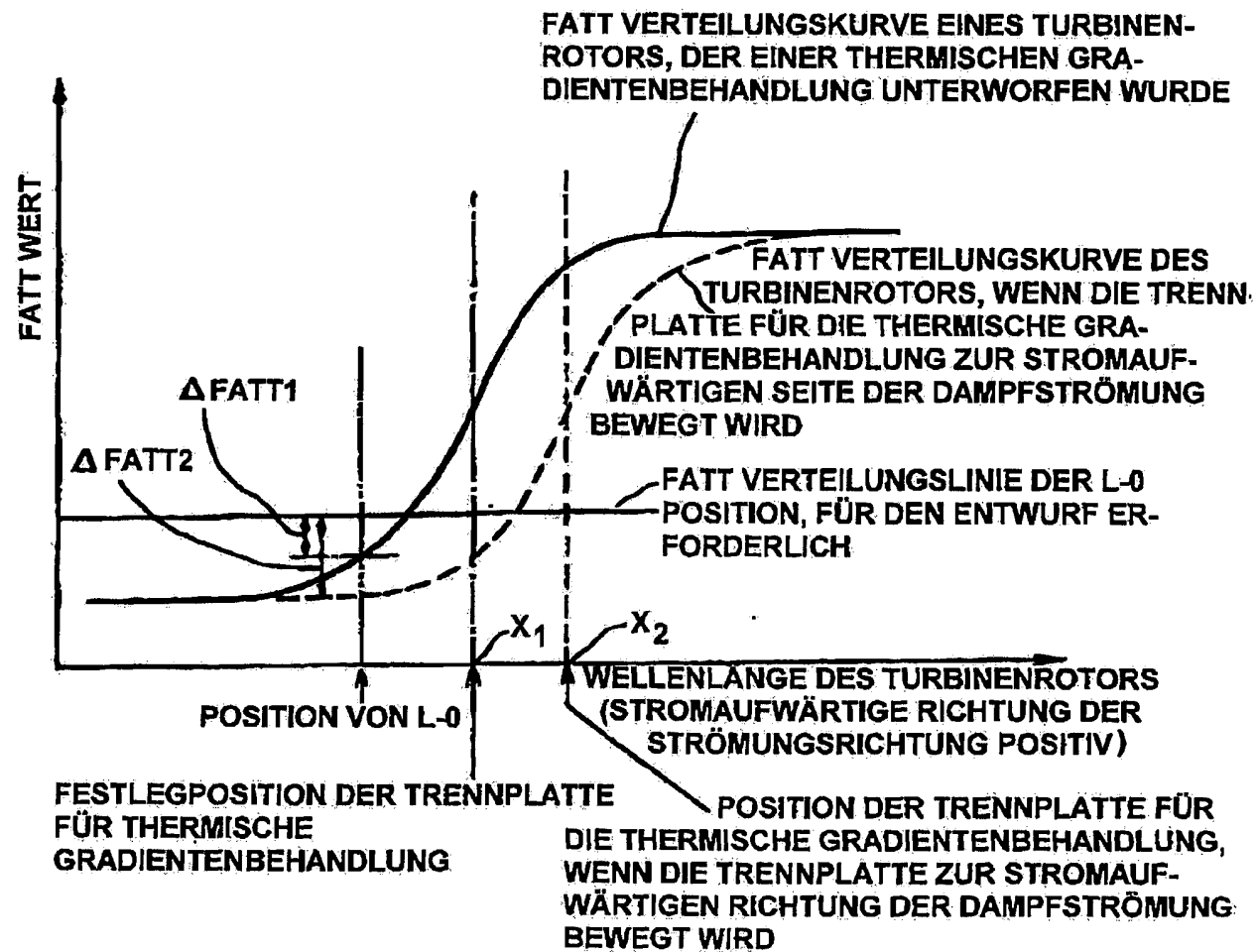


FIG. 6

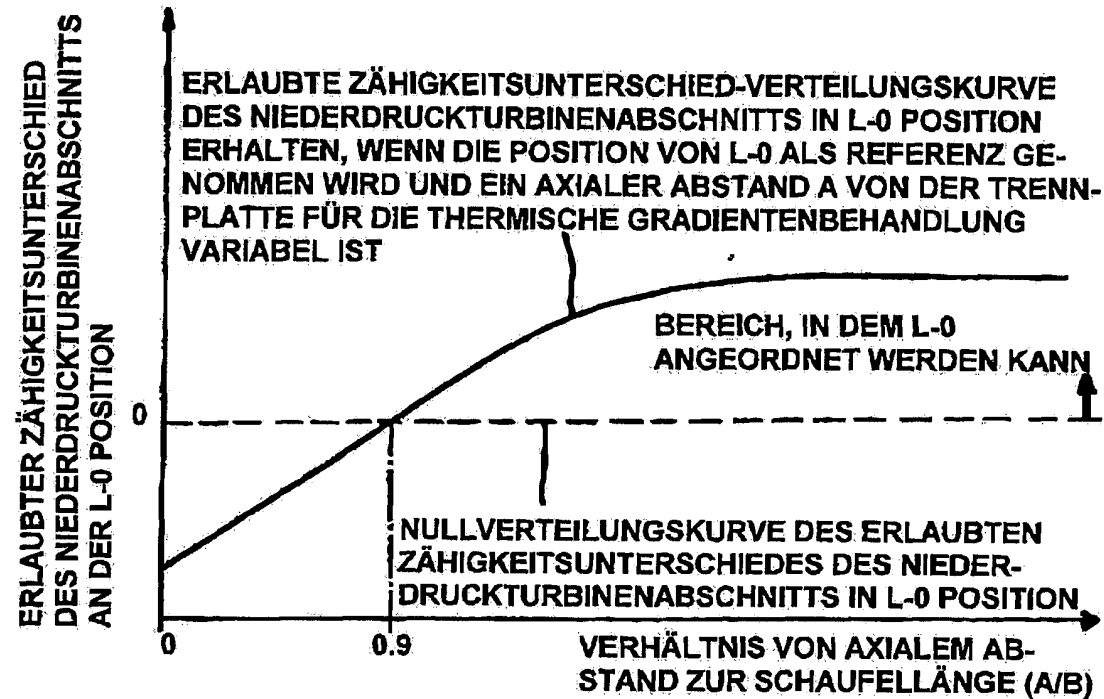


FIG. 7

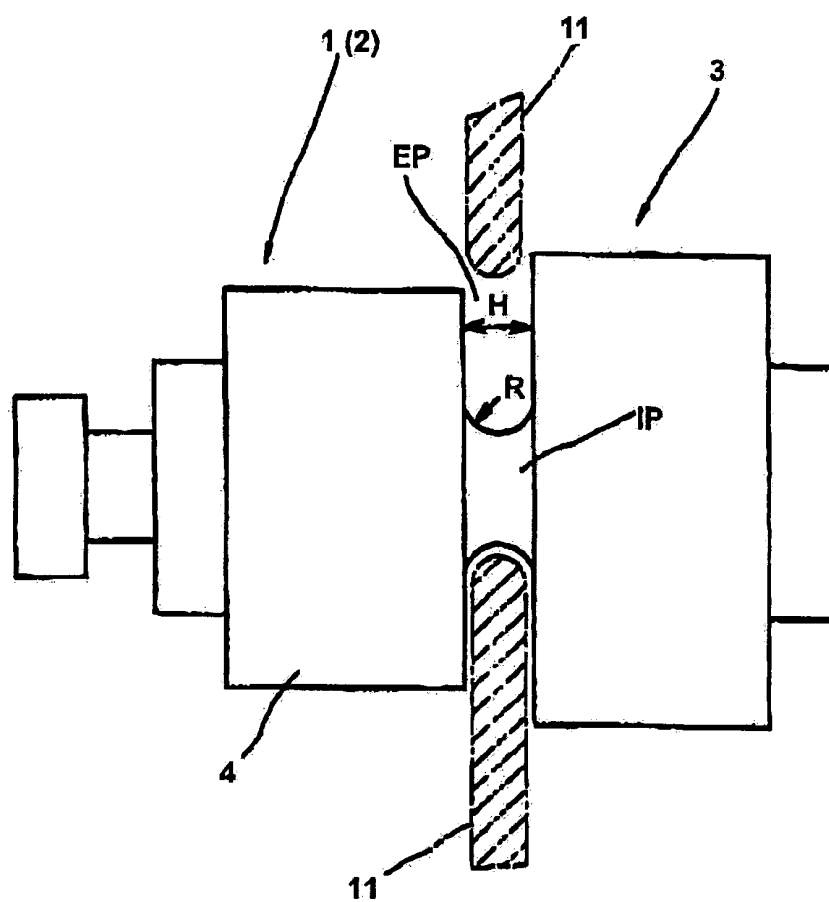


FIG. 8

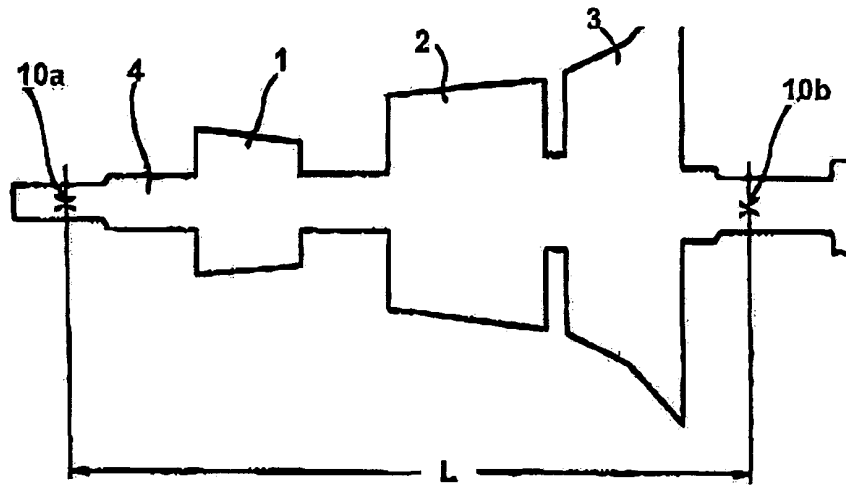


FIG. 10

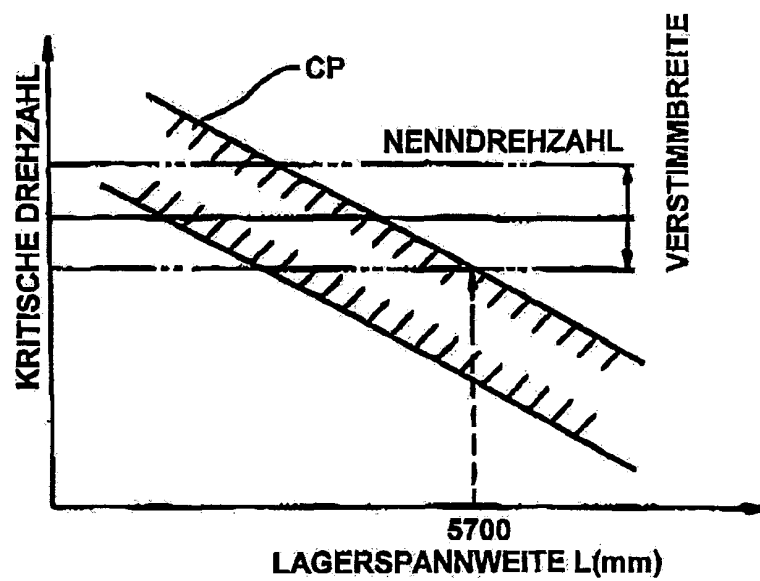


FIG. 11