



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 14 955 T2** 2008.04.10

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 408 201 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 14 955.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 022 981.9**

(96) Europäischer Anmeldetag: **10.10.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.04.2004**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **18.07.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **10.04.2008**

(51) Int Cl.⁸: **G01N 21/954** (2006.01)

G01N 29/26 (2006.01)

F01D 21/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

2002297068 10.10.2002 JP

(73) Patentinhaber:

Kabushiki Kaisha Toshiba, Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:

HOFFMANN & EITLE, 81925 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, GB, IT

(72) Erfinder:

Saito, Kazuhiro, Minato-ku Tokyo, JP; Fujiyama, Kazunari, Minato-ku Tokyo, JP; Hirasawa, Taiji, Minato-ku Tokyo, JP; Nagai, Satoshi, Minato-ku Tokyo, JP; Fujiwara, Toshihiro, Minato-ku Tokyo, JP; Kichise, Hitoshi, Minato-ku Tokyo, JP; Kodama, Hirotsugu, Minato-ku Tokyo, JP; Okazaki, Mitsuyoshi, Minato-ku Tokyo, JP

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Inspektion von Dampfturbinen**

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).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Untersuchen bzw. zur Inspektion eines Komponententeils von einer Vorrichtung, die in einem Dampfturbinensystem enthalten ist.

Beschreibung des Stands der Technik

[0002] Eine Dampfturbine weist immer eine Möglichkeit auf, dass ein Schaden aufgrund der Verschlechterung bzw. dem Qualitätsverlust im Alter und Erosion bzw. Verschleiß der Komponententeile auftritt. Um die Nennleistung und Effizienz der Turbine beizubehalten, wird die Turbine in regelmäßigen Zeitabständen untersucht, um beschädigte Teile zu finden, bevor die Teile ernsthaft beschädigt sind.

[0003] In regelmäßigen Zeitabständen zu untersuchende Hauptkomponententeile der Dampfturbine umfassen sich bewegende Flügel, Düsen, einen Rotor, Gehäuse von Hoch- und Mitteldruckstufen-Turbinen, Ventile und Dampffrohe. Die meisten Defekte, die in jenen Hauptteilen auftreten, sind Risse und Sprünge aufgrund von Ermüdung oder Kriechen, und eine Dickenverringerung und ein Zerbrechen aufgrund von Erosion. Obwohl es möglich ist, dass sich Risse in Abschnitten einer äußeren Oberfläche von einem Turbinengehäuse ausbilden, an der die Belastung konzentriert ist, treten die meisten Defekte an Oberflächen der Komponententeile auf, die hohen Temperaturen und Dampf ausgesetzt sind, und somit anfällig für eine Qualitätsverschlechterung, Kriechen, thermische Ermüdung und Erosion.

[0004] Beim Untersuchen einer Turbine wird die obere Hälfte des Gehäuses entfernt, und radiale und axiale Abstände zwischen den rotierenden und stationären Komponententeilen werden gemessen. Dann wird der Rotor hochgezogen, wobei der Rotor, die sich bewegenden Flügel, die Düsen und das Turbinengehäuse visuell auf Defekte, Erosion und Risse untersucht werden, und eine zerstörungsfreie Untersuchung, wie beispielsweise PT, MT oder UT, wird ausgeführt. Dann wird beurteilt, ob die Komponententeile repariert oder ausgetauscht werden sollten, und falls nötig werden sie repariert oder ausgetauscht. Dann wird der Rotor in das Turbinengehäuse zurückgeführt, Abstände werden gemessen und angepasst und die obere Hälfte des Gehäuses wird an den Platz gesetzt.

[0005] Wenn Defekte (z.B. Risse) durch eine Untersuchung an Komponententeilen gefunden werden, die in ihnen keine Defekte zulassen, wie beispielsweise rotierende Teile, ist es üblich unmittelbar Maß-

nahmen zu ergreifen, um die Defekte zu beseitigen.

[0006] Wenn Defekte durch visuelle Untersuchung an einem nicht rotierenden Komponententeil gefunden werden, wie beispielsweise ein Turbinengehäuse oder ein Ventilgehäuse, wird das Risiko möglicher Schwierigkeiten basierend auf Daten des Grads der Verschlechterung des Materials und von Belastungsverteilungen in dem Komponententeil bestimmt. Der Grad der Verschlechterung des Materials wird mittels Replikation, Härtemessung oder elektrochemischem Test überprüft. Die Belastungsverteilung wird durch sehr genaue Analyse unter Verwendung eines FEM (Finite-Elemente-Verfahren) abgeschätzt.

[0007] Ausführlicher, wenn ein Defekt durch eine Untersuchung gefunden wird und dann die Größe und Form des Defekts gemessen werden, wird die verbrauchte Lebensdauer (d.h. in den beschädigten Teilen angesamelter Kriechschaden und/oder Ermüdungsschaden) des beschädigten Teils berechnet, basierend auf dem Betriebsnachweis des beschädigten Teils und dem Grad der Verschlechterung des Materials, das mittels des zerstörungsfreien Tests überprüft wurde. Basierend auf dem Berechnungsergebnis, wird die verbleibende Lebensdauer, die von der Möglichkeit der Ausbildung und Entwicklung von Rissen abhängt, des beschädigten Teils abgeschätzt, durch Verwendung der Faktoren, die umfassen: Temperatur-/Belastungs-Wahrscheinlichkeitsverteilung, bestimmt durch das Finite-Elemente-Verfahren, basierend auf der Form und dem Betriebszustand des Element; zukünftiger Betriebsmodus; und die Verschlechterung im Alter des Materials. Dann wird der Zustand des beschädigten Teils bestimmt, basierend auf der abgeschätzten verbleibenden Lebensdauer, der Grad des Risikos des Defekts wird bestimmt und Gegenmaßnahmen, um den Defekt zu beseitigen, werden geplant.

[0008] Falls jedoch die Turbine zur Untersuchung demontiert wird, ist eine beträchtlich lange Untersuchungszeit notwendig, das heißt, es dauert ungefähr dreißig Tage von der Außerbetriebnahme bzw. dem Herunterfahren der Turbine bis zum Betrieb der Turbine bei der Nenntemperatur nach einem Neustart der Turbine.

[0009] Außerdem beansprucht eine Abschätzung der Belastungsverteilung für die Bestimmung des Risikograds des Defekts Zeit, und die abgeschätzte Belastungsverteilung hängt sehr von einem Temperaturgrenzzustand ab, der bei einer Analyse durch ein FEM verwendet wird. Da die meisten Anlagen keine ausreichenden Daten aufweisen, ist daher die Genauigkeit der Analyse durch ein FEM nicht notwendigerweise zufriedenstellend. Folglich ist die Genauigkeit der Bestimmung des Risikograds eines Defekts, wie beispielsweise ein Riss, der durch visuelle Untersuchung gefunden wird, begrenzt.

[0010] Um die Untersuchungszeit zu verkürzen wurde ein Untersuchungsverfahren ohne Demontage vorgeschlagen. In dem Verfahren wird das Gehäuse nicht geöffnet und ein Fiberendoskop oder eine CCD-Kamera wird durch das Flanschende eines Dampfrohrs in das Turbinengehäuse eingeführt. Dieses Untersuchungsverfahren lässt einen Schritt des Öffnens des Gehäuses weg, und einen Schritt des Anpassens der Abstände zwischen dem Gehäuse und den Flügeln, was unvermeidlich ist, wenn das Turbinengehäuse geöffnet wird. Bei diesem Verfahren wird jedoch das Fiberendoskop oder die CCD-Kamera in das Turbinengehäuse zur Untersuchung eingeführt, nachdem die Temperatur des Inneren des Turbinengehäuses nahezu auf eine gewöhnliche Temperatur gefallen ist. Somit nimmt dieses Verfahren einen beträchtlich langen Zeitraum in Anspruch, und weist auch das Problem bei der ungenügenden Genauigkeit der Bestimmung des Risikogrades auf.

[0011] Ein Verfahren zum Untersuchen einer Zielkomponente von einer Vorrichtung, die in einem Dampfturbinensystem enthalten ist, gemäß dem Stand der Technik, wird in der Druckschrift WO 02/25241 gezeigt.

Zusammenfassung der Erfindung

[0012] Die vorliegende Erfindung wurde in Hinblick auf die vorangehenden Probleme gemacht, und es ist deshalb eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Turbinensystem-Untersuchungsverfahren bereitzustellen, das in einem kurzen Zeitraum und höchst genau ausgeführt werden kann, wobei die Bestimmung des Risikogrades einer durch die Untersuchung gefundenen Abnormalität schnell erzielt wird.

[0013] Das erfinderische Konzept der vorliegenden Erfindung ist wie folgt. In dem Fall, dass durch das Zielkomponententeil (d.h. das zu untersuchende Komponententeil) ein Hochtemperaturdampf durchströmt, wie beispielsweise ein Turbinengehäuse oder ein Ventilgehäuse, werden Belastungen in das Komponententeil induziert, aufgrund eines inneren Dampfdrucks und einer Temperaturverteilung. (Nachstehend in dieser Beschreibung wird die aufgrund des inneren Dampfdrucks induzierte Belastung als „Innendruck-bezogene Belastung“ bezeichnet, und die aufgrund der Temperaturverteilung induzierte Belastung wird als „thermische Belastung“ bezeichnet.)

[0014] Im Allgemeinen sind Komponententeile der Dampfturbine, durch welche ein Hochtemperatur-Dampf strömt, derart ausgestaltet, dass die Innendruck-bezogene Belastung geringer ist als die thermische Belastung, um einen Schaden aufgrund von Kriechen auf das geringste Ausmaß zu begrenzen. Somit hat die thermische Belastung eine große

Wirkung auf die Entwicklung von Rissen in den Komponententeilen. Deshalb ist es, um das Risiko von Rissen, die sich in derartigen Komponententeilen ausgebildet haben, genau zu bestimmen, sehr wichtig, die in den rissigen Abschnitt induzierte thermische Belastung genau zu wissen.

[0015] Falls sich die thermische Belastung entspannt, wird der Riss geschlossen. Falls die in den rissigen Abschnitt induzierte Belastung beachtlich hoch ist, wird der Riss geöffnet. Die Abmessung oder die Größe der Öffnung des Risses steht in engem Zusammenhang mit der thermischen Belastung, die in den rissigen Abschnitt induziert wird. Mit anderen Worten kann die in den rissigen Abschnitt induzierte thermische Belastung, die lediglich durch ein FEM schwierig genau zu berechnen ist, mit einer hohen Genauigkeit abgeschätzt werden, basierend auf der Abmessung oder der Größe der Öffnung des Risses. Deshalb kann der Risikograd des Risses genau bestimmt werden, durch Überprüfen der Abmessung oder der Größe der Öffnung des Risses, wenn eine thermische Belastung in den rissigen Abschnitt induziert wird, vorzugsweise wenn eine maximale thermische Belastung in den rissigen Abschnitt induziert wird.

[0016] Im Allgemeinen wird eine maximale thermische Belastung in das obige Komponententeil, wie beispielsweise ein Turbinengehäuse, während der Inbetriebnahme bzw. des Anfahrens und der Außerbetriebnahme des Dampfturbinensystems induziert.

[0017] Der Abstand zwischen angrenzenden Komponententeilen (z.B. sich bewegende Flügel der ersten Stufe und ein Turbinengehäuse) während des Betriebs ist ein sehr wichtiger Parameter, der die Leistung und Effizienz der Turbine bestimmt. Ähnlich zu der thermischen Belastung, wie oben diskutiert, hängt der Abstand von der thermischen Ausdehnungsverteilung in den Komponententeilen aufgrund einer Temperaturverteilung ab. Deshalb kann der Risikograd des Abstands genau bestimmt werden durch Messen des Abstands, wenn die Temperatur der Komponententeile über einen breiten Bereich verteilt ist.

[0018] Hinsichtlich des obigen ist es vorteilhaft, dass die Untersuchung durchgeführt wird, wenn die atmosphärische Temperatur des Innenraums der Vorrichtung (z.B. eine Turbine und ein Ventil), die in dem Turbinensystem enthalten ist, vorzugsweise nicht weniger als 100°C beträgt, bevorzugter 100°C bis 300°C. Es wird auch bevorzugt, dass die Untersuchung durchgeführt wird, wenn ein Zeitraum in einem Bereich von 24 bis 100 Stunden von dem Außerbetriebnehmen des Turbinensystems vorübergeht. Gemäß dem obigen kann die Untersuchung durchgeführt werden, während die Temperaturverteilung breit genug ist.

[0019] Es ist vorteilhaft, dass die Komponententeile nicht demontiert werden. Dies ist so, weil bei einer Demontage die Komponententeile das meiste der darin induzierten thermischen Belastung verlieren, und der Abstand nicht gemessen werden kann. Außerdem verlängert eine Demontage die Untersuchungszeit.

[0020] Folglich stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Untersuchen eines Zielkomponententeils von einer Vorrichtung bereit, die in einem Dampfturbinensystem enthalten ist, wobei das Zielkomponententeil Dampf ausgesetzt ist, der durch einen Raum strömt, welcher durch ein umschließendes Element der Vorrichtung definiert wird, wenn das Dampfturbinensystem im normalen Betrieb ist. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte: Außerbetriebnehmen des Dampfturbinensystems, welches im normalen Betrieb war; Erhalten, nach dem Außerbetriebnehmen des Turbinensystems, erster Daten mittels einer Untersuchungseinrichtung, wobei die ersten Daten eine Abmessung eines in dem Zielkomponententeil ausgebildeten Risses betreffen, oder einen Abstand zwischen dem Zielkomponententeil und einem angrenzenden Komponententeil betreffen, das angrenzend an das Zielkomponententeil angeordnet ist, wobei der Schritt des Erhaltens durchgeführt wird, wenn ein Zeitraum in einem Bereich von 24 bis 100 Stunden von dem Außerbetriebnehmen des Turbinensystems vorübergeht, oder bevor eine atmosphärische Temperatur des Raums auf 100°C erniedrigt ist, und wobei der Schritt des Erhaltens ohne eine Demontage des umschließenden Elements und des Zielkomponententeils von der Vorrichtung, welche das Zielkomponententeil aufweist, durchgeführt wird; und Beurteilen, ob das Zielkomponententeil repariert werden sollte, nach einem Vergleichen der Daten mit einem Beurteilungsstandard, oder einem Vergleichen eines Durchsatzes bzw. einer Ausgabe, der bzw. die berechnet wird durch Anwenden der Daten auf eine vorbestimmte Funktion mit einem Beurteilungsstandard.

[0021] Der Schritt des Erhaltens der ersten Daten kann durchgeführt werden, wenn die atmosphärische Temperatur des Raums nicht mehr als 300°C beträgt.

[0022] Das Verfahren kann ferner einen Schritt umfassen des Erhaltens, nachdem der Schritt des Erhaltens der ersten Daten durchgeführt ist, zweiter Daten mittels der Untersuchungseinrichtung, wobei die ersten Daten eine Abmessung eines in dem Zielkomponententeil ausgebildeten Risses betreffen, oder einen Abstand zwischen dem Zielkomponententeil und einem angrenzenden Komponententeil betreffen, das angrenzend an das Zielkomponententeil angeordnet ist, wobei der Schritt des Erhaltens der zweiten Daten ohne eine Demontage des umschließenden Elements und des Zielkomponententeils von der Vorrichtung, welche das Zielkomponententeil auf-

weist, durchgeführt wird, und wobei der Beurteilungsschritt durch ein Vergleichen der ersten Daten und/oder der zweiten Daten mit einem Beurteilungsstandard durchgeführt wird, oder einem Vergleichen eines Durchsatzes, der berechnet wird durch Anwenden der ersten Daten und/oder der zweiten Daten auf eine vorbestimmte Funktion mit einem Beurteilungsstandard.

[0023] Die ersten Daten, die den Abstand betreffen, können der Abstand selbst sein, eine Abmessung eines erodierten bzw. verschlissenen Abschnitts in dem Zielkomponententeil oder dem angrenzenden Komponententeil, oder eine Abmessung von einer Kesselstein- bzw. Ablagerungsschicht, die auf dem Zielkomponententeil oder dem angrenzenden Teil ausgebildet ist.

[0024] Der Schritt des Erhaltens der ersten Daten kann mit der Untersuchungseinrichtung in den Raum durch einen Einführungspfad eingeführt, der sich durch das umschließende Element erstreckt, durchgeführt werden.

[0025] Bei einer Ausführungsform ist die in einem Dampfturbinensystem enthaltene Vorrichtung eine Turbine, und das umschließende Element ist ein Turbinengehäuse; und der Einführungspfad umfasst ein Dampfrohr bzw. eine Dampfleitung, zum Zuführen oder Ablassen des Dampfes in die oder aus der Turbine, wenn das Turbinensystem im normalen Betrieb ist, oder eine Öffnung, die in dem Turbinengehäuse ausschließlich zum Einführen der Untersuchungseinrichtung ausgebildet ist.

[0026] Die Untersuchungseinrichtung kann eine Bildaufnahmeeinrichtung umfassen, die geeignet ist, ein Bild des Zielkomponententeils aufzunehmen. Die Bildaufnahmeeinrichtung kann eine CCD-Kamera, ein Fiberendoskop oder dergleichen sein.

[0027] Das Zielkomponententeil kann das umschließende Element sein, mit einer inneren Oberfläche, die dem Raum zugewandt ist, und einer äußeren Oberfläche, und wobei der Schritt des Erhaltens der ersten Daten mit der Untersuchungseinrichtung an der äußeren Oberfläche des umschließenden Elements angebracht, durchgeführt werden kann.

[0028] In diesem Fall kann die Untersuchungseinrichtung eine Sonde einer Ultraschall-Fehlerortsbestimmungs- bzw. Rissprüfvorrichtung umfassen.

[0029] Bei einer Ausführungsform kann die in dem Dampfturbinensystem enthaltene Vorrichtung ein Ventil zum Anhalten oder Steuern eines Stroms des Dampfes sein, und wobei das umschließende Element ein Ventilgehäuse sein kann.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0030] Die obigen und andere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden augenscheinlicher aus der folgenden Beschreibung werden, in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen genommen, in denen:

[0031] [Fig. 1](#) eine Untersuchungseinrichtung zeigt, die in ein Dampfturbinengehäuse eingeführt ist;

[0032] [Fig. 2](#) eine Untersuchungseinrichtung zeigt, die an einem Ventilgehäuse angebracht ist;

[0033] [Fig. 3A](#) eine grafische Darstellung ist, welche die Abhängigkeit des Temperaturunterschieds zwischen dem Inneren und dem Äußeren eines Turbinengehäuses von der Turbinen-Innentemperatur zeigt;

[0034] [Fig. 3B](#) eine grafische Darstellung ist, welche die Abhängigkeit der thermischen Belastung von der Turbinen-Innentemperatur zeigt;

[0035] [Fig. 4](#) eine grafische Darstellung ist, welche die Temperaturänderung nach einem Außerbetriebnehmen der Turbine zeigt, und auch einen Wartungsplan des herkömmlichen Verfahrens zeigt;

[0036] [Fig. 5\(a\)](#), [\(b\)](#) und [\(c\)](#) grafische Darstellungen sind, welche die Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Temperatur bei einer visuellen Untersuchung zeigen, unter Verwendung einer CCD-Kamera oder eines Fiberendoskops, einer Untersuchung unter Verwendung einer piezoelektrischen Einrichtung (d.h. die Sonde der Ultraschall-Fehlerortsbestimmungsvorrichtung), und einer Untersuchung unter Verwendung von sowohl einer visuellen Beobachtung als auch einer piezoelektrischen Einrichtung; und

[0037] [Fig. 6](#) eine grafische Darstellung ist, welche einen Beurteilungsstandard zeigt, der zum Beurteilen verwendet wird, ob der rissige Abschnitt repariert werden sollte.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0038] Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben.

[0039] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Untersuchen eines Zielkomponententeils (d.h. eines zu untersuchenden Komponententeils) von einer Vorrichtung, die in einem Dampfturbinensystem enthalten ist, wobei das Zielkomponententeil Dampf ausgesetzt ist, der durch einen Raum strömt, welcher durch ein umschließendes Element der Vorrichtung definiert wird, wenn das Dampfturbinensystem

tem im normalen Betrieb ist.

[0040] Unter Bezugnahme auf die [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) wird die folgende Beschreibung für ein Beispiel vorgenommen, in dem: die Vorrichtungen eine Hochdruck-Dampfturbine mit einer Doppelgehäusestruktur **2** sind, und ein Ventil **6** zum Steuern oder Anhalten des Stroms des Dampfes (bei dieser Ausführungsform ein Hauptabsperrenteil (main stop valve, MSV)); wobei die Zielkomponententeile ein inneres Turbinengehäuse **2b** und ein sich bewegender Flügel **3** der Hochdruck-Dampfturbine **1** sind, und ein Ventilgehäuse **7** des Ventils **6**; und wobei die Untersuchungselemente Risse sind, die an einer Innenseite des inneren Turbinengehäuses **2b** und eines Ventilgehäuses **7** ausgebildet sind, und ein Abstand zwischen der Spitze des sich bewegenden Flügels **3** und der inneren Oberfläche des inneren Turbinengehäuses **2b**.

[0041] Das Dampfturbinensystem, das im normalen Betrieb war, hält an oder wird außer Betrieb genommen.

[0042] Dann wird, wie in [Fig. 1](#) gezeigt, eine ferngesteuerte CCD-Kamera **10** (d.h. eine Bildaufnahme-einrichtung) in einen Innenraum der Turbine eingeführt und nimmt Bilder von verschiedenen Abschnitten der inneren Oberfläche des inneren Gehäuses auf, wenn der vorbestimmte Zeitraum (vorzugsweise 24 bis 100 Stunden) von der Außerbetriebnahme des Turbinensystems vorüber gegangen ist, oder wenn eine atmosphärische Temperatur des Innenraums **4** der Turbine in der Umgebung des Zielkomponententeils auf eine vorbestimmte Temperatur (vorzugsweise 100°C bis 300°C) erniedrigt ist.

[0043] Vorzugsweise weist die CCD-Kamera **10** eine Einrichtung auf, wie beispielsweise Magnetrollen (nicht gezeigt), die zulässt, dass sich die CCD-Kamera **10** auf Oberflächen der Komponententeile der Turbine bewegt.

[0044] Das Einführen der CCD-Kamera **10** wird ohne eine Demontage der Turbinengehäuse **2a** und **2b** ausgeführt, oder einem Überholen der Turbine **1**. Die CCD-Kamera **10** wird in den Innenraum des Turbinengehäuses **1** von dem Flanschende **5a** des Dampfrohrs **5**, durch das Dampfrohr **5** eingeführt. In diesem Fall ist das Dampfrohr **5** zur Einführung der CCD-Kamera **10** eingeteilt. Der Einführungsweg kann irgendeiner derjenigen sein, die durch in [Fig. 1](#) gezeigte Kettenpfeile angedeutet sind. Die Turbine kann mit Löchern ausschließlich zum Einführen der CCD-Kamera **10** versehen sein, die in der Wand des Dampfrohrs **5** oder des Turbinengehäuses **2a**, **2b** ausgebildet sein können, und die abdichtend geschlossen sind, wenn das Turbinensystem im normalen Betrieb ist.

[0045] Die durch die CCD-Kamera **10** erhaltenen Bilddaten werden an einen Bildanalysator **11** geschickt. Falls irgendein Riss gefunden wird, wird die Abmessung oder Größe (z.B. Breite W und/oder Länge L) der Öffnung des Risses (d.h. Rissöffnungsabmessung) durch Bildanalyse bestimmt. Alternativ kann die Rissöffnungsabmessung manuell berechnet werden, basierend auf dem angezeigten Bild.

[0046] Vorzugsweise ist ein Temperatursensor (nicht gezeigt) an der CCD-Kamera **10** angebracht, um die atmosphärische Temperatur (d.h. Untersuchungstemperatur) des Innenraums **4** der Turbine **1** in der Umgebung des Zielkomponententeils zu messen.

[0047] Die Daten über die Rissöffnungsabmessung und die Untersuchungstemperatur werden an einen Computer **12** geschickt oder in ihn eingegeben. Gemäß einer vorbestimmten Verfahrensweise, die später beschrieben wird, beurteilt der Computer **12**, ob der rissige Abschnitt repariert werden sollte, basierend auf der Rissöffnungsabmessung und der Untersuchungstemperatur.

[0048] Die CCD-Kamera **10** nimmt auch Bilder eines Spalts zwischen angrenzenden Komponententeilen auf, wie beispielsweise eine Spitze des sich bewegendes Flügels **3** und eine innere Oberfläche des inneren Turbinengehäuses **2b**.

[0049] Die Bilddaten werden an einen Bildanalysator **11** geschickt. Der Abstand zwischen den Komponententeilen wird durch Bildanalyse bestimmt. Der Temperatursensor misst auch die atmosphärische Temperatur (d.h. Untersuchungstemperatur) des Innenraums der Turbine in der Umgebung der Zielkomponententeile.

[0050] Die Daten über den Abstand und die Untersuchungstemperatur werden an einen Computer **12** geschickt oder in ihn eingegeben. Gemäß einer vorbestimmten Verfahrensweise, die später beschrieben wird, beurteilt der Computer **12**, ob der Abstand angepasst werden sollte, basierend auf dem gemessenen Abstand und der Untersuchungstemperatur.

[0051] Gleichzeitig mit der Untersuchung unter Verwendung der CCD-Kamera **10**, wird die Untersuchung des Ventilgehäuses **7** ausgeführt.

[0052] Wie in [Fig. 2](#) gezeigt, wird eine ferngesteuerte Sondereinheit **21** einer Ultraschall-Fehlerortsbestimmungsvorrichtung **20** (d.h. eine zerstörungsfreie Untersuchungseinrichtung) auf einer äußeren Oberfläche des Ventilgehäuses **7** angebracht. Die Sondereinheit **21** weist ein Paar von Ultraschallwandlern **21a** und **21b** auf, einen **21a** zum Aussenden einer Ultraschallwelle und den anderen **21b** zum Empfangen der reflektierten Ultraschallwelle. Die Sondereinheit

21 weist eine Einrichtung auf, wie beispielsweise Magnetrollen (nicht gezeigt), die zulässt, dass sich die Sondereinheit **21** auf der äußeren Oberfläche des Ventilgehäuses **7** bewegt.

[0053] Mittels der Ultraschall-Fehlerortsbestimmungsvorrichtung **20** wird die Abmessung eines Risses, wenn überhaupt einer, der in dem Ventilgehäuse ausgebildet ist, basierend auf dem Wellenmuster gemessen, das auf einer Anzeige **22** gezeigt wird. Die Daten über die Rissabmessung und die Untersuchungstemperatur werden an den Computer **12** geschickt oder in ihn eingegeben.

[0054] Gemäß einer vorbestimmten Verfahrensweise, die später beschrieben wird, beurteilt der Computer **12**, ob der rissige Abschnitt repariert werden sollte, basierend auf der Rissabmessung und der gemessenen Temperatur. Da es schwierig ist die atmosphärische Temperatur des Innenraums des Ventilgehäuses **7** direkt zu messen, kann die atmosphärische Temperatur abgeschätzt oder berechnet werden, basierend auf der Temperatur der äußeren Oberfläche des Ventilgehäuses.

[0055] Falls es beurteilt wird, dass der rissige Abschnitt repariert werden sollte, oder falls es beurteilt wird, dass der Abstand angepasst werden sollte, werden das äußere und das innere Gehäuse **2a** und **2b** der Turbine **1**, oder das Ventilgehäuse **7**, demontiert. Dann wird der rissige Abschnitt durch ein geeignetes herkömmliches Verfahren repariert, oder der Abstand wird durch ein geeignetes herkömmliches Verfahren angepasst.

[0056] Im Gegenteil, falls es beurteilt wird, dass das Reparieren des rissigen Abschnitts und die Abstandsanpassung nicht notwendig sind, werden die Turbine **1** und das Ventil **6** nicht überholt und das Turbinensystem kann unmittelbar neu gestartet werden. In diesem Fall ist die Wartungszeit drastisch verkürzt.

[0057] [Fig. 3A](#) ist eine grafische Darstellung, welche die Abhängigkeit des Temperaturunterschieds zwischen dem Inneren und dem Äußeren eines Turbinengehäuses von der Turbinen-Innentemperatur (d.h. atmosphärische Temperatur des Innenraums des Turbinengehäuses, wo Dampf strömt) nach einem Außerbetriebnehmen des Turbinensystems zeigt. [Fig. 3B](#) ist eine grafische Darstellung, welche die Abhängigkeit der thermischen Belastung von der Turbinen-Innentemperatur zeigt. Der Temperaturunterschied und die thermische Belastung sind hoch, wenn die Turbinen-Innentemperatur in dem Bereich von 100°C bis 300°C ist. Die Änderungen beim Temperaturunterschied und bei der thermischen Belastung zeigen eine ähnliche Tendenz nach einem Inbetriebnehmen des Turbinensystems.

[0058] Wie in [Fig. 4](#) gezeigt, ist die Turbinen-Innen-

temperatur auf ungefähr 300°C erniedrigt, wenn ungefähr 24 Stunden von dem Außerbetriebnehmen des Turbinensystems vergangen sind, und ist auf ungefähr 100°C erniedrigt, wenn ungefähr 100 Stunden von dem Außerbetriebnehmen des Turbinensystems vergangen sind.

[0059] Ähnlich ist die Änderung beim Abstand maximal, wenn die Turbinen-Innentemperatur in dem Bereich von 100°C bis 300°C ist. Das Ventilgehäuse zeigt eine ähnliche Tendenz.

[0060] Deshalb wird die Untersuchung vorzugsweise durchgeführt, wenn die Turbinen-Innentemperatur in dem Bereich von 100°C bis 300°C ist, oder wenn ein Zeitraum in einem Bereich von 24 bis 100 Stunden von dem Außerbetriebnehmen des Turbinensystems vorübergeht.

[0061] Die Untersuchungstemperatur sollte jedoch basierend auf der Temperaturabhängigkeit der Leistung der Untersuchungseinrichtungen entschieden werden. **Fig. 5(a), (b) und (c)** sind grafische Darstellungen, welche die Abhängigkeit der Empfindlichkeit bzw. Sensitivität von der Temperatur bei einer visuellen Untersuchung zeigen, unter Verwendung einer CCD-Kamera oder eines Fiberendoskops, einer Untersuchung unter Verwendung einer piezoelektrischen Einrichtung (d.h. die Sonde der Ultraschall-Fehlerortsbestimmungsvorrichtung), und einer Untersuchung unter Verwendung von sowohl einer visuellen Beobachtung als auch einer piezoelektrischen Einrichtung. Wenn eine CCD-Kamera verwendet wird, kondensiert Feuchtigkeit auf der Linse der CCD-Kamera bei Temperaturen, die nicht höher als 100°C sind, um die Empfindlichkeit zu erniedrigen. Die Messgenauigkeit einer piezoelektrischen Einrichtung fällt plötzlich ab, wenn die Temperatur über den Curie-Punkt hinaus zunimmt.

[0062] Deshalb sollte, falls die CCD-Kamera für die Untersuchung verwendet wird, die Untersuchungstemperatur nicht niedriger als 100°C sein. Falls die piezoelektrische Einrichtung für die Untersuchung verwendet wird, sollte die Untersuchungstemperatur nicht höher als der Curie-Punkt sein, typischerweise 300°C. Falls beide Einrichtungen verwendet werden, sollte die Temperatur in dem Bereich von 100°C bis 300°C sein, wie in **Fig. 5(c)** gezeigt. Einige piezoelektrische Einrichtungen weisen jedoch Curie-Punkte auf, die höher als 300°C sind. In einem derartigen Fall kann die Untersuchungstemperatur höher als 300°C sein.

[0063] Als nächstes wird die Beurteilung basierend auf der Messung beschrieben.

Erstes Beurteilungsverfahren

[0064] Das erste Beurteilungsverfahren ist ein sehr

einfaches Verfahren. Der Computer umfasst eine Datenbank, in der ein Beurteilungsstandard gespeichert ist, und beurteilt, ob das Komponententeil repariert werden sollte basierend auf dem Beurteilungsstandard.

[0065] Die grafische Darstellung von **Fig. 6** zeigt den Beurteilungsstandard. Die Daten über die Breite der Öffnung des Risses (nachstehend als „Rissöffnungsbreite“ bezeichnet) und die Untersuchungstemperatur sind in der grafischen Darstellung dargestellt. Falls das Diagramm in einem Bereich A oberhalb einer Linie L ist, wird es beurteilt, dass der Rissabschnitt repariert werden sollte. Falls das Diagramm in einem Bereich B unterhalb der Linie L ist, wird es beurteilt, dass der Rissabschnitt nicht repariert werden muss. Die grafische Darstellung kann durch sehr genaue Analyse unter Verwendung eines FEM angefertigt werden.

[0066] Der Beurteilungsstandard für den Abstand kann auf eine ähnliche Art und Weise angefertigt werden.

Zweites Beurteilungsverfahren

[0067] Wenn der Computer die Daten über die Rissöffnungsbreite und die Untersuchungstemperatur (z.B. 150°C) erhalten hat, hat der Computer eine Rissöffnungsbreite und die thermische Belastung abgeschätzt, die in den rissigen Abschnitt bei einer spezifischen Temperatur (z.B. 280°C) induziert wird, bei welcher eine maximale Belastung in den rissigen Abschnitt induziert wird. Der Computer wendet die abgeschätzte thermische Belastung an auf ein Belastbarkeits-Ermüdungsfestigkeits-Diagramm für das den rissigen Abschnitt ausbildende Material, das in dem Computer gespeichert ist, um die verbleibende Lebensdauer des rissigen Abschnitts abzuschätzen, basierend auf der Gesamtbetriebszeit und/oder den Außerbetriebnahme- und Inbetriebnahmezeiten des Turbinensystems. Falls die verbleibende Lebensdauer nicht genug ist, beurteilt der Computer, dass der rissige Abschnitt repariert werden sollte.

[0068] Die maximale thermische Belastung kann abgeschätzt oder berechnet werden unter Verwendung vereinfachter Modelle, wie beispielsweise ein zylindrisch geformtes Modell für das Turbinengehäuse, die auf dem technischen Gebiet der Materialien und Mechanik bekannt sind. Alternativ kann die Abschätzung durch sehr genaue Analyse unter Verwendung eines FEM gemacht werden. In diesem Fall kann das Berechnungsergebnis durch das FEM, das vorweg angefertigt wird, basierend auf dem Ergebnis der Messung korrigiert werden. Zum Beispiel, falls die durch das FEM berechnete Rissöffnungsbreite bei der Untersuchungstemperatur 1mm beträgt und die gemessene Rissbreite bei der Untersuchungstemperatur 1,5mm beträgt, wird die durch das FEM

berechnete maximale thermische Belastung korrigiert, durch ein Multiplizieren der berechneten thermischen Belastung mit einem Korrekturkoeffizienten, wie beispielsweise 1,5. Andere Korrekturverfahren, die einen abgeschätzten oder berechneten Wert durch Verwendung eines tatsächlichen Werts korrigieren, können verwendet werden.

[0069] In dem Fall, dass der Untersuchungsgegenstand der Abstand zwischen den Komponententeilen ist, wenn der Computer die Daten über den Abstand und die Untersuchungstemperatur (z.B. 150°C) erhalten hat, hat der Computer den Abstand bei einer spezifischen Temperatur abgeschätzt. Die spezifische Temperatur kann eine erste Temperatur von zum Beispiel ungefähr 280°C sein, bei der die Temperaturverteilung am breitesten ist. Die spezifische Temperatur kann eine zweite Temperatur von zum Beispiel ungefähr 550°C sein, die eine Nenntemperatur der Turbine ist, d.h. eine Temperatur der Turbine, wenn die Turbine im normalen Betrieb ist. Die Abschätzung kann auf die gleiche Art und Weise gemacht werden, wie diejenige bei der Abschätzung der thermischen Belastung. Der Computer beurteilt, ob der Abstand bei der spezifischen Temperatur zu irgendeiner Störung der Turbine oder zur Verringerung der Effizienz der Turbine führt, oder nicht. Falls es beurteilt wird, dass irgendein Problem besteht, wird der Abstand durch irgendein geeignetes Verfahren angepasst.

Drittes Beurteilungsverfahren

[0070] Dieses Verfahren verwendet zumindest zwei Daten, die bei unterschiedlichen Untersuchungstemperaturen erhalten wurden. Zum Beispiel werden die Rissöffnungsbreite bei einer ersten Untersuchungstemperatur von ungefähr 150°C und die Rissöffnungsbreite bei einer zweiten Untersuchungstemperatur von ungefähr 250°C gemessen. Somit kann die Abhängigkeit von Parametern der Defekte, wie beispielsweise die Rissöffnungsbreite, von der Temperatur bestimmt werden, durch Verwendung des Temperaturunterschieds und der gemessenen Daten. Die Rissöffnungsbreite bei Temperaturen, die jenseits des Bereichs von der ersten Untersuchungstemperatur zu der zweiten Untersuchungstemperatur liegen, und die Rissbreite bei Temperaturen zwischen der ersten und der zweiten Untersuchungstemperatur, können durch Interpolation oder Extrapolation basierend auf der Vielzahl von Untersuchungstemperaturen abgeschätzt werden. Dieses Verfahren kann auf die Bewertung der Abstände angewandt werden, die bei zwei oder mehr unterschiedlichen Untersuchungstemperaturen gemessen wurden.

[0071] Durch Verwendung der abgeschätzten Daten durch Interpolation oder Extrapolation kann der Computer beurteilen, ob ein Reparieren des Risses oder eine Abstandsanpassung notwendig ist, auf die

gleiche Art und Weise wie diejenige bei dem zweiten Beurteilungsverfahren.

[0072] Lediglich eine der zumindest zwei Daten können verwendet werden. Zum Beispiel wird die Beurteilung basierend auf der größten oder kleinsten Rissöffnungsbreite gemacht, oder dem größten oder kleinsten Abstand. In diesem Fall kann die Beurteilung auf die gleiche Art und Weise gemacht werden, wie diejenige bei dem ersten oder dem zweiten Beurteilungsverfahren.

[0073] Gemäß der vorliegenden Erfindung, da die Untersuchung durchgeführt wird, wenn eine relativ hohe thermische Belastung in das/die Komponententeil/e induziert wird oder eine Temperaturverteilung relativ breit ist, ist eine genaue Bewertung der thermischen Belastung oder des Abstands möglich, was durch das herkömmliche Verfahren schwierig ist. Deshalb ist es möglich angemessen zu beurteilen, ob eine Wartung notwendig ist oder nicht.

[0074] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die zuvor erwähnten Ausführungsformen beschränkt. Die Untersuchungseinrichtungen sind nicht auf die CCD-Kamera und die Ultraschall-Fehlerortsbestimmungsvorrichtung beschränkt, und irgendwelche anderen geeigneten Untersuchungseinrichtungen können verwendet werden. Zum Beispiel kann ein Fiberoskop für eine visuelle Untersuchung verwendet werden, anstelle der CCD-Kamera. Eine Einrichtung für einen Laser-UT- oder AE-(akustische Emission)Test können verwendet werden. Die Sondereinheit der Ultraschall-Fehlerortsbestimmungsvorrichtung kann in den Innenraum des Turbinengehäuses eingeführt werden, um die Größe des Risses zu messen.

[0075] Das Untersuchungselement ist nicht auf jene beschränkt, wie sie oben erwähnt werden. Zum Beispiel können Befestigungsbolzen für das Ventilgehäuse untersucht werden.

[0076] Sich bewegende Flügel oder irgendwelche anderen kritischen Teile, an die eine relativ geringe thermische Belastung induziert wird oder bei denen eine Temperaturverteilung relativ eng ist, können auf Risse oder Erosion untersucht werden, gleichzeitig mit der Untersuchung derartiger Teile, an die eine hohe thermische Belastung induziert wird oder bei denen eine Temperaturverteilung breit ist, wie beispielsweise die Turbine oder das Ventilgehäuse.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Untersuchen eines Zielkomponententeils von einer Vorrichtung, die in einem Dampfturbinensystem enthalten ist, wobei das Zielkomponententeil Dampf ausgesetzt ist, der durch einen Raum strömt, welcher durch ein umschließendes

Element der Vorrichtung definiert wird, wenn das Dampfturbinensystem im normalen Betrieb ist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

Außerbetriebnehmen des Dampfturbinensystems, welches im normalen Betrieb war;

Erhalten, nach dem Außerbetriebnehmen des Turbinensystems, erster Daten mittels einer Untersuchungseinrichtung, wobei die ersten Daten eine Abmessung eines in dem Zielkomponententeil ausgebildeten Risses betreffen, oder einen Abstand zwischen dem Zielkomponententeil und einem angrenzenden Komponententeil betreffen, das angrenzend an das Zielkomponententeil angeordnet ist, wobei der Schritt des Erhaltens durchgeführt wird, wenn ein Zeitraum in einem Bereich von 24 bis 100 Stunden von dem Außerbetriebnehmen des Turbinensystems vorübergeht, oder bevor eine atmosphärische Temperatur des Raums auf 100°C erniedrigt ist, und wobei der Schritt des Erhaltens ohne eine Demontage des umschließenden Elements und des Zielkomponententeils von der Vorrichtung, welche das Zielkomponententeil aufweist, durchgeführt wird; und

Beurteilen, ob das Zielkomponententeil repariert werden sollte, nach einem Vergleichen der ersten Daten mit einem Beurteilungsstandard, oder einem Vergleichen eines Durchsatzes, der berechnet wird durch Anwenden der ersten Daten auf eine vorbestimmte Funktion mit einem Beurteilungsstandard.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Erhaltens der ersten Daten durchgeführt wird, wenn die atmosphärische Temperatur des Raums nicht höher als 300°C ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, ferner mit einem Schritt des Erhaltens, nachdem der Schritt des Erhaltens der ersten Daten durchgeführt ist, zweiter Daten mittels der Untersuchungseinrichtung, wobei die ersten Daten eine Abmessung eines in dem Zielkomponententeil ausgebildeten Risses betreffen, oder einen Abstand zwischen dem Zielkomponententeil und einem angrenzenden Komponententeil betreffen, das angrenzend an das Zielkomponententeil angeordnet ist, wobei der Schritt des Erhaltens der zweiten Daten ohne eine Demontage des umschließenden Elements und des Zielkomponententeils von der Vorrichtung, welche das Zielkomponententeil aufweist, durchgeführt wird, und wobei der Beurteilungsschritt durch ein Vergleichen der ersten Daten und/oder der zweiten Daten mit einem Beurteilungsstandard durchgeführt wird, oder einem Vergleichen eines Durchsatzes, der berechnet wird durch Anwenden der ersten Daten und/oder der zweiten Daten auf eine vorbestimmte Funktion mit einem Beurteilungsstandard.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die ersten Daten, die den Abstand betreffen, der Abstand selbst ist, eine Abmessung eines erodierten Abschnitts in

dem Zielkomponententeil oder dem angrenzenden Komponententeil, oder eine Abmessung von einer Kesselsteinschicht, die auf dem Zielkomponententeil oder dem angrenzenden Teil ausgebildet ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Erhaltens der ersten Daten mit der Untersuchungseinrichtung in den Raum durch einen Einführungspfad eingeführt, der sich durch das umschließende Element erstreckt, durchgeführt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem: die in einem Dampfturbinensystem enthaltene Vorrichtung eine Turbine ist, und das umschließende Element ein Turbinengehäuse ist; und wobei der Einführungspfad ein Dampfrohr umfasst, zum Zuführen oder Ablassen des Dampfes in die oder aus der Turbine, wenn das Turbinensystem in dem normalen Betrieb ist, oder eine Öffnung, die in dem Turbinengehäuse ausschließlich zum Einführen der Untersuchungseinrichtung ausgebildet ist.

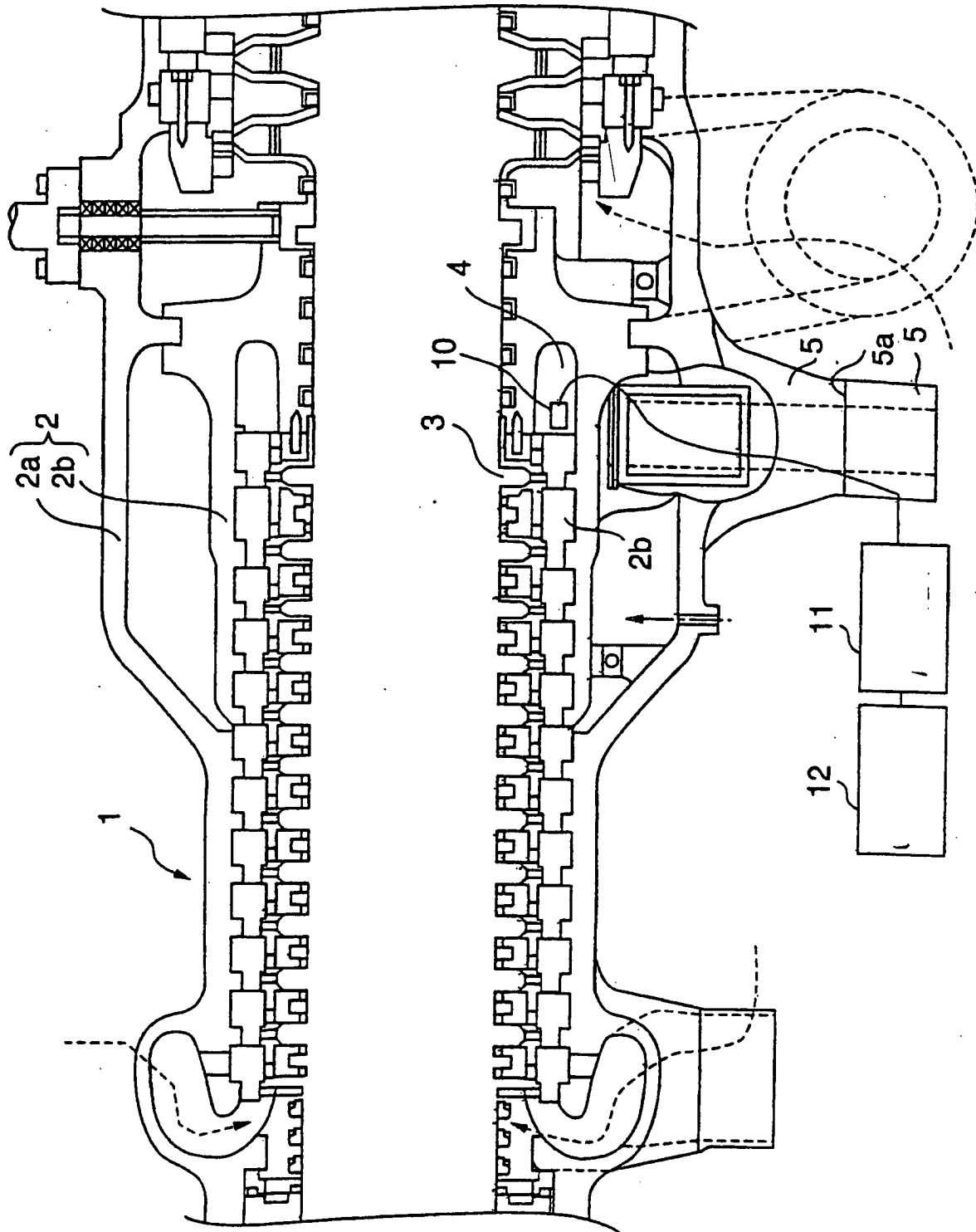
7. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Untersuchungseinrichtung eine Bildaufnahmeeinrichtung umfasst, die geeignet ist, ein Bild des Zielkomponententeils aufzunehmen.

8. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Zielkomponententeil das umschließende Element ist, mit einer inneren Oberfläche, die dem Raum zugewandt ist, und einer äußeren Oberfläche, und wobei der Schritt des Erhaltens der ersten Daten mit der Untersuchungseinrichtung an der äußeren Oberfläche des umschließenden Elements angebracht, durchgeführt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Untersuchungseinrichtung eine Sonde einer Ultraschall-Fehlerortsbestimmungsvorrichtung umfasst.

10. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die in dem Dampfturbinensystem enthaltene Vorrichtung ein Ventil zum Anhalten oder Steuern eines Stroms des Dampfes ist, und wobei das umschließende Element ein Ventilgehäuse ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen



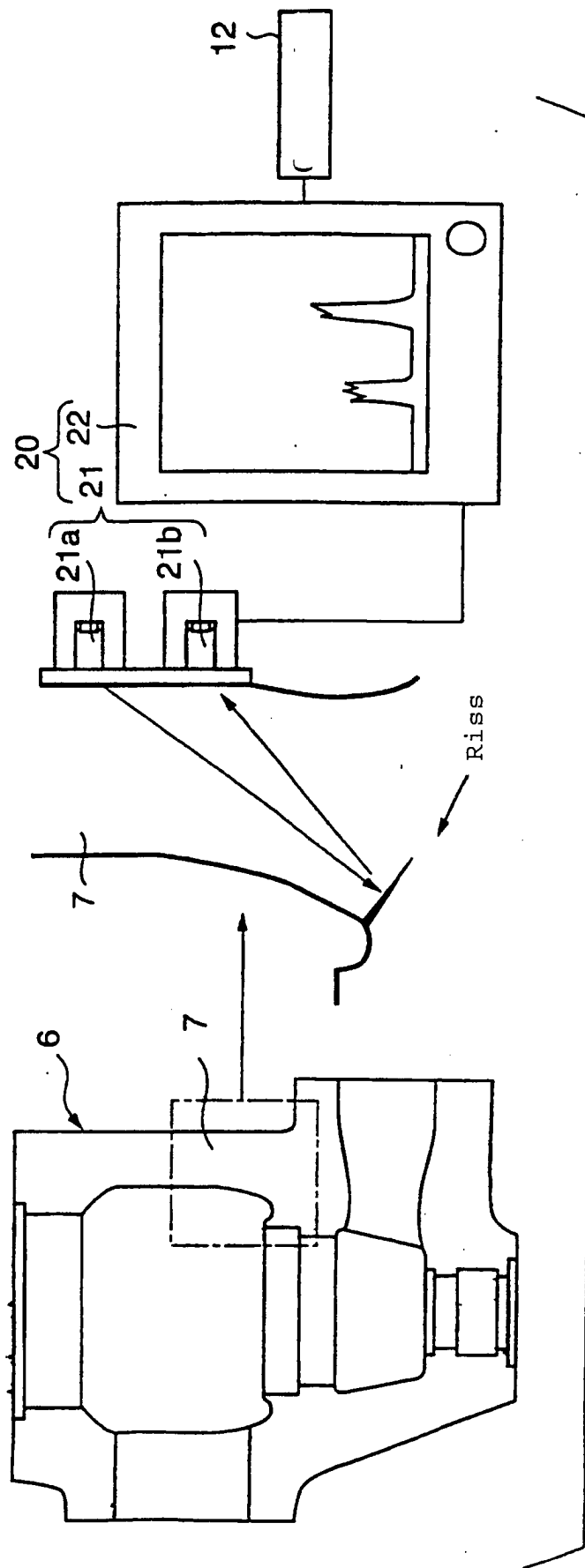


FIG. 2

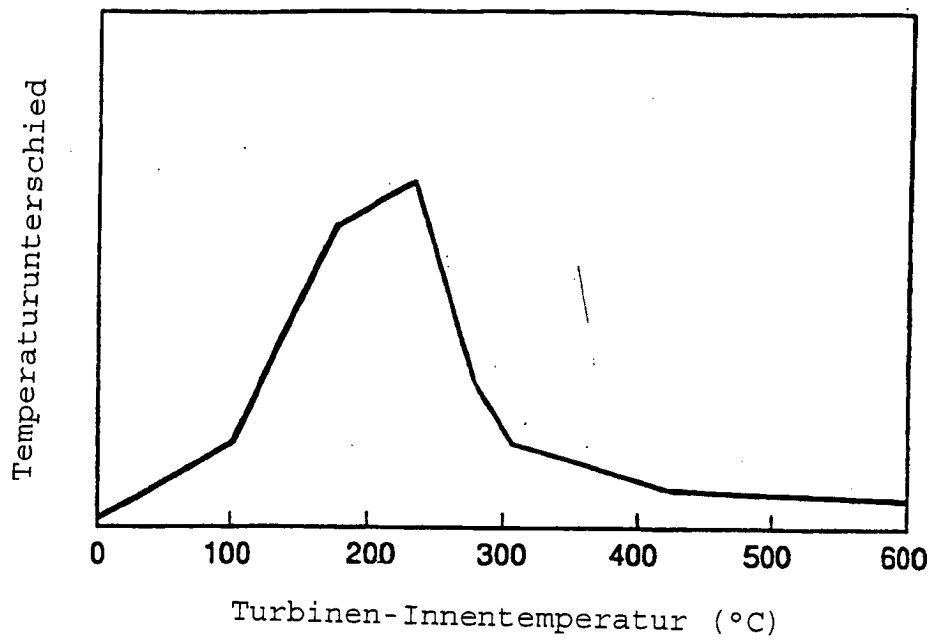


FIG. 3A

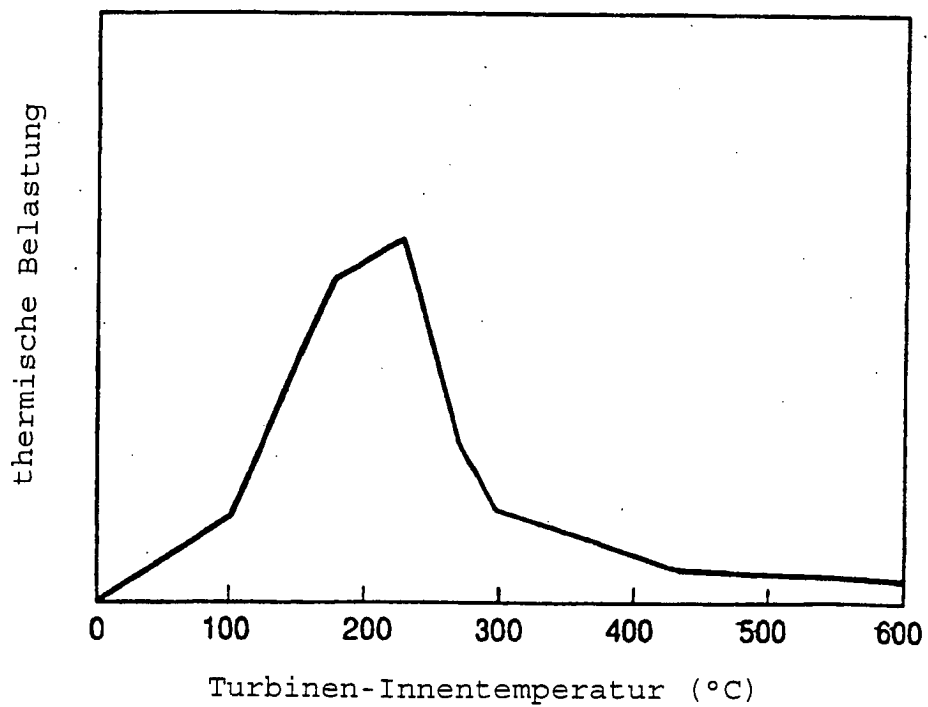


FIG. 3B

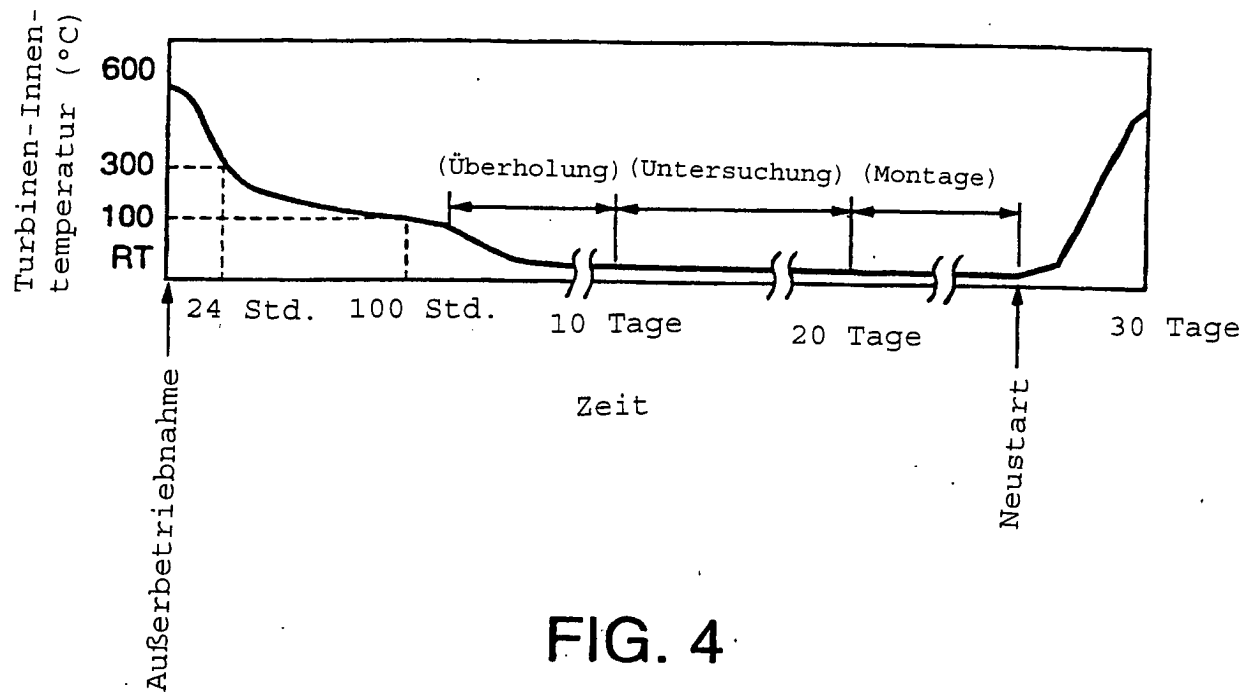


FIG. 4

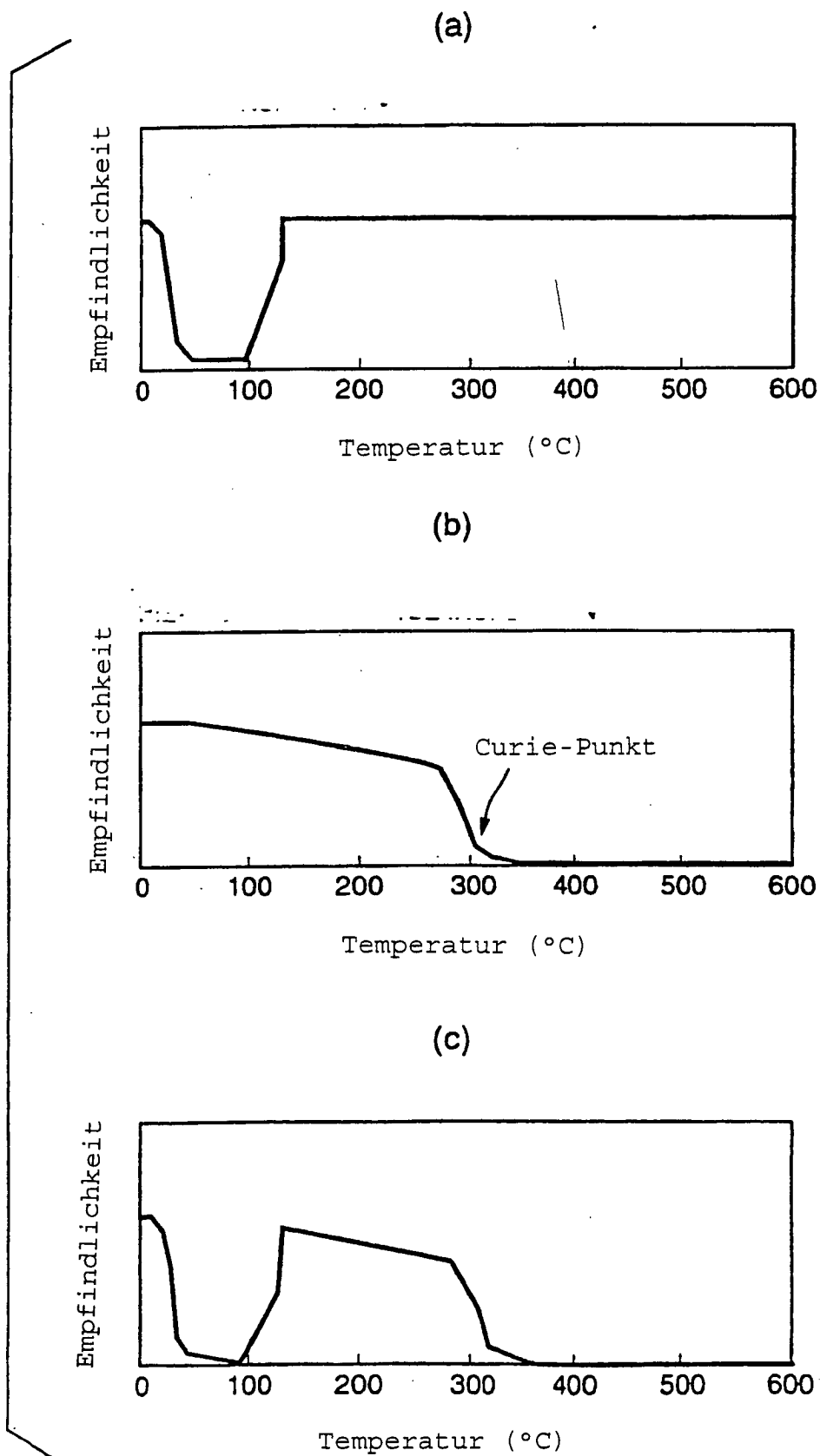


FIG. 5

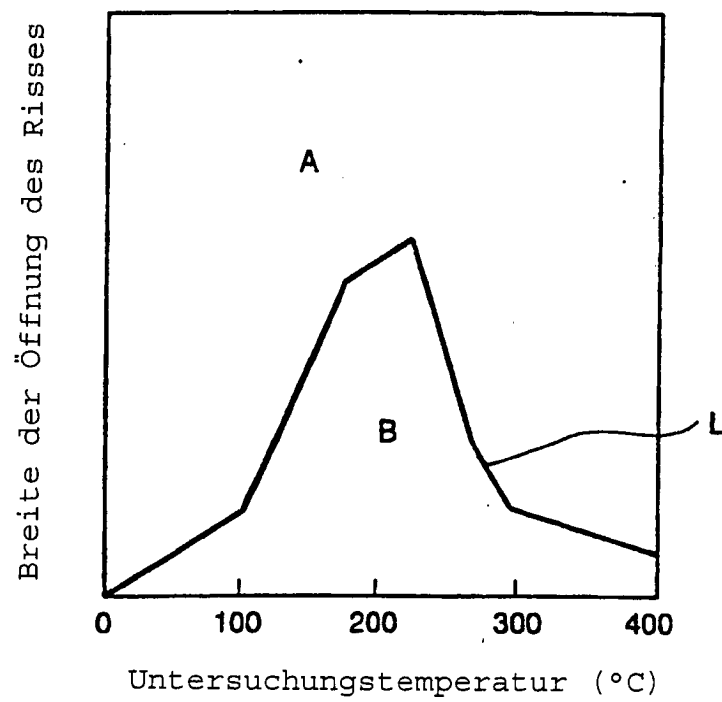


FIG. 6