



(11) **EP 1 577 492 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
21.09.2005 Patentblatt 2005/38

(51) Int Cl.7: **F01D 5/02, F01D 21/00**

(21) Anmeldenummer: **04006256.4**

(22) Anmeldetag: **16.03.2004**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK

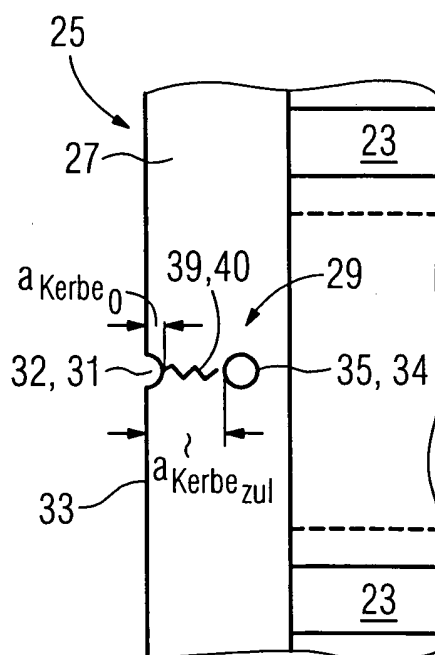
(72) Erfinder:
• **Hohmann, Christian, Dr.**
45472 Mülheim (DE)
• **Schaal, Reimar, Dr.**
45470 Mülheim (DE)
• **Setz, Werner, Dr.**
51503 Rösrath (DE)

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
80333 München (DE)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Erkennen des Zustands des Rotors einer Strömungsmaschine**

(57) Die Erfindung betrifft einen Rotor (3) einer Strömungsmaschine, der im freigelegten Zustand einen von außen sichtbaren Kontrollbereich (29) aufweist, in dem beim Betrieb der Strömungsmaschine eine vergleichsweise unkritische Beanspruchung auftritt und der im freigelegten Zustand einen von außen nicht sichtbaren Überwachungsbereich (37) aufweist, in dem beim Betrieb der Strömungsmaschine eine vergleichsweise kritische Beanspruchung auftritt. Um eine Erhöhung der Verfügbarkeit der Strömungsmaschine zu erreichen wird vorgeschlagen, dass im Kontrollbereich (29) eine Schwachstelle (31) nach Art einer Sollbruchstelle vorgesehen ist und dass eine beim Betrieb der Strömungsmaschine im Überwachungsbereich (37) möglicherweise auftretende Beschädigung des Rotors (3) durch einen im Bereich der Schwachstelle (31) auftretenden und von dieser Stelle aus wachsenden unkritischen Defekt (39) erkennbar ist.

FIG 3



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Rotor für eine Strömungsmaschine, der im freigelegten Zustand einen von außen sichtbaren Kontrollbereich aufweist, in dem beim Betrieb der Strömungsmaschine eine vergleichsweise unkritische Beanspruchung auftritt und der im freigelegten Zustand einen von außen nicht sichtbaren Überwachungsbereich aufweist, in dem beim Betrieb der Strömungsmaschine eine vergleichsweise kritische Beanspruchung auftritt. Ferner betrifft die Erfindung eine Strömungsmaschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 11 und ein Verfahren zum Erkennen des Zustands des Rotors einer Strömungsmaschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 13.

[0002] Es ist bekannt, dass die Komponenten des Rotors einer Gasturbine bereits vor ihrem Zusammenbau auf Fehlstellen untersucht werden, um Beschädigungen zu vermeiden, die bei dem Betrieb der Gasturbine auftreten können. Der Rotor ist aus mehreren aneinanderliegenden Rotorscheiben und einem Zuganker aufgebaut. Neben den thermischen Beanspruchungen ist er besonders den durch die Fliehkraft entstehenden mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt, so dass dessen Komponenten auf Fehlstellen untersucht werden.

[0003] Insbesondere die Rotorscheiben werden durch die bekannten Materialprüfungen wie z. B. Ultraschall auf Fehlstellen, die als Anzeigen erscheinen, untersucht, welche nach der Herstellung der Rotorscheiben vorhanden sein können. Die Anzeigen deuten dabei auf Fehlstellen, Fremdmaterialeinschlüsse, Inhomogenitäten in der Materialstruktur oder auch Risse hin. Die nach dieser Erstprüfung als anzeigefrei erkannten Rotorscheiben werden dann für den Bau des Rotors verwendet. Anzeigefrei bedeutet, dass tatsächlich keine Fehlstellen vorhanden sind oder dass in der Komponente vorhandene Fehlstellen derart klein sind, dass theoretisch gemäß einer bruchmechanischen Berechnung während des Betriebs der Gasturbine von ihnen aus keine kritischen Risse entstehen und wachsen können.

[0004] Trotz der Erstprüfung der Rotorscheiben können diese unerkannte oder in ihrer Auswirkung unterschätzte Fehlstellen aufweisen, so dass aus Gründen der Betriebssicherheit die Gasturbine nach einer vorgegebenen Anzahl von Starts zu Servicezwecken geöffnet und der Rotor in einer Wiederholungsprüfung untersucht wird.

[0005] Die Rotoren müssen zur Prüfung entstapelt, das heißt in ihre Rotorkomponenten zerlegt werden, um die im Inneren des Rotors von außen nicht sichtbaren und somit nicht untersuchbaren Bereiche der Rotorscheiben auf Risse zu untersuchen.

[0006] Zur Überprüfung der einzelnen Rotorscheiben auf Risse werden die bereits bekannten Verfahren zum wiederholten Male eingesetzt.

[0007] Ferner ist bekannt, dass mittels einer deterministischen Analyse die zulässige Startzahl der Gastur-

bine ermittelt werden kann, nach der eine Überprüfung der Rotorkomponenten auf Defekte vorzunehmen ist. Dabei sind die bruchmechanischen Randbedingungen und die angenommenen Betriebsbeanspruchungen so gewählt, dass die zulässige Startzahl konservativ ausgelegt ist, d.h. dass die zulässige Startzahl zu niedrig geschätzt wird.

[0008] Dazu zeigt Figur 5 ein Startzahl-Risslänge-Diagramm nach dem Stand der Technik.

[0009] Dargestellt ist das Wachstumsverhalten eines Risses in einer Rotorscheibe. Die Kennlinie 51 wird dabei gemäß der o.g. Analyse ermittelt. Mit zunehmender Startzahl nimmt die Risslänge a überproportional zu. Während des Betriebs darf jedoch ein Riss die berechnete maximal zulässige Risslänge a_{zul} nicht überschreiten.

[0010] Um den sicheren Betrieb der Gasturbine zu gewährleisten, wird eine Fehlstelle angenommen, die theoretisch ein Risswachstum gemäß der Kennlinie 51 auslöst. Da die maximal zulässige Risslänge a_{zul} nicht überschritten werden darf, kann somit mittels der Kennlinie 51 die Anzahl an zulässigen Starts N_{zul} bestimmt werden. Spätestens bei Erreichen der zulässigen Startzahl N_{zul} wird der Rotor zerlegt und die Rotorscheiben auf Defekte untersucht.

[0011] Die Zerlegung und Überprüfung des Rotors vergrößert jedoch die Zeitdauer der Revision und vermindert so die Verfügbarkeit der Gasturbine.

[0012] Demgemäß ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Rotor einer Strömungsmaschine anzugeben, mit dem eine Erhöhung der Verfügbarkeit der Strömungsmaschine erreicht wird. Ferner ist es Aufgabe der Erfindung hierzu eine Strömungsmaschine und ein Verfahren zum Erkennen des Zustandes eines Rotors anzugeben.

[0013] Die auf den Rotor gerichtete Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1, die auf die Strömungsmaschine gerichtete Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 11 und die auf das Verfahren gerichtete Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 13 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0014] Die Lösung der auf den Rotor gerichteten Aufgabe sieht vor, dass im Kontrollbereich des Rotors eine Schwachstelle nach Art einer Sollbruchstelle vorgesehen ist und dass eine beim Betrieb der Strömungsmaschine im Überwachungsbereich möglicherweise auftretende Beschädigung des Rotors durch einen zwangsweise im Bereich der Schwachstelle auftretenden und von dieser Stelle aus wachsenden für die Rotorscheibe unkritischen Defekt erkennbar ist.

[0015] Mit der Erfindung ist es erstmals möglich, das Risswachstum unter der bisher tatsächlichen aufgetretenen Beanspruchung, die durch die Betriebsweise hervorgerufen worden ist, zu beobachten. Dazu wird in dem für die Integrität der Rotorscheibe vergleichsweise unkritischen Kontrollbereich eine Schwachstelle angeordnet, von der aus ein von dem bisher tatsächlichen Be-

anspruchungskollektiv hervorgerufener unkritischer Defekt wachsen kann. Auf der Basis des unkritischen Defekts werden Rückschlüsse auf eine mögliche Beschädigung des Rotors gezogen, die im von außen nicht einsehbaren Überwachungsbereich liegen.

[0016] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass die bei der Erstprüfung nicht erfassten oder tolerierten Fehlstellen während des Betriebs der Strömungsmaschine ein Risswachstum auslösen können. Mit der erfindungsgemäß vorgesehenen Schwachstelle wird gezielt eine Fehlstelle in den von außen sichtbaren Kontrollbereich eingebracht. Von der Schwachstelle aus kann dann ein von dem Beanspruchungskollektiv hervorgerufener unkritischer Defekt wachsen. Nur wenn bei geöffneter Strömungsmaschine und bei weiterhin zusammengebautem Rotor ein im Kontrollbereich angeordneter unkritischer Defekt entdeckt wird, dessen Länge einen Grenzwert überschreitet, so ist der Zustand des Rotors als ‚zu überprüfen‘ erkannt. Erst dann ist die Zerlegung des Rotors und eine eingehende Überprüfung der Rotorkomponenten notwendig.

[0017] Folglich wurde sich von dem bisherigen Verfahren abgewendet, bei dem die Kriterien zur Entscheidung über das Zerlegen des Rotors von einer deterministischen Analyse unter Anwendung einer konservativen Randbedingung abgeleitet wurde. Stellte sich nämlich bei einer Überprüfung der zerlegten Rotorkomponenten heraus, dass kein Defekt im Innern des Rotors vorlag, so wurde bisher der Rotor unnötigerweise zerlegt und die Rotorkomponenten wurden damit unnötigerweise überprüft. Überschreitet keiner der Defekte der Kontrollbereiche den Grenzwert, so kann die Zerlegung des Rotors und die Überprüfung der Rotorkomponenten zeitlich gesehen nach hinten verlagert werden, was zu einer Steigerung der Verfügbarkeitsdauer der Strömungsmaschine führt und zu einer Reduzierung der Revisionskosten.

[0018] In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die Schwachstelle durch eine Materialschwächung gebildet, welche einfach und preiswert herstellbar ist.

[0019] Wenn die Schwachstelle als Kerbe ausgebildet ist, kann von dieser Kerbe aus im Kontrollbereich als Defekt ein Riss wachsen.

[0020] Besonders vorteilhaft ist zur Begrenzung der Schwachstelle eine Ausnehmung, insbesondere eine Entlastungsbohrung vorgesehen, in die der unkritische Defekt auslaufen kann. Ein Anwachsen des Defektes auf eine überkritische Länge und/oder aus dem Kontrollbereich hinaus wird somit verhindert.

[0021] Gemäss einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die Schwachstelle so ausgebildet, dass beim Betrieb der Strömungsmaschine an dieser Stelle ein unkritischer Defekt hervorgerufen wird, der mit einem weiteren, im Überwachungsbereich durch eine Fehlstelle ausgelösten Defekt proportional vergleichbar ist. Dadurch wird gewährleistet, dass im unkritischen Kontrollbereich Defekte entstehen können, die einen Rückschluss auf im kritischen Überwachungsbereich mögli-

cherweise auftretende Defekte zulassen. Dabei ist die Schwachstelle in Größe und Form so gewählt, dass sie einer nicht erkannten bzw. einer tolerierten Fehlstelle im Überwachungsbereich entspricht.

[0022] Nach einer Ausgestaltung umfasst der Rotor mehrere Rotorscheiben und zumindest einen die Rotorscheiben einspannenden Zuganker. Weist zumindest eine der Rotorscheiben im Kontrollbereich bei der Revision einen kritischen Defekt auf, so ist der Rotor zu zerlegen und zumindest die betreffende Komponente auf Defekte zu überprüfen.

[0023] Besonders vorteilhaft ist die Erfindung auf geschweißte oder einstückige Rotoren anwendbar, da bei diesen ein Zerlegen zwar nicht möglich ist, aber der Zustand des Rotors bestimmbar ist in Bezug auf innere kritische Defekte, welche ggf. zum Versagen des Rotors führen könnten.

[0024] Zweckmäßigerweise ist zumindest an einer der Rotorscheiben eine Schwachstelle vorgesehen. Besonders vorteilhaft ist die Ausgestaltung, bei der jede Rotorscheibe eine Schwachstelle aufweist. Ein Teil der Kontrollbereiche deckt ein erstes Revisionsintervall ab, nach der rechnerisch ein Entstapeln des Rotors und eine Überprüfung der Rotorscheiben erforderlich sein sollte. Für jedes weitere Revisionsintervall können weitere Kontrollbereiche mit weiteren Schwachstellen und zugehörigen Ausnehmungen vorgesehen sein, die für die bisherige Betriebsweise ein Risswachstum bewirken. Somit kann das gesamte Beanspruchungskollektiv an der zugehörigen Schwachstelle wirken, um dann bei der Überprüfung des Kontrollbereichs für den gesamten Rotor Rückschlüsse ziehen zu können.

[0025] Alternativ dazu könnte Kontrollbereich derart ausgebildet sein, dass der die Schwachstelle mit ihrer zugehörigen Entlastungsöffnung alle Revisionsintervalle abdeckt. Folglich muss bei jeder Revision die tatsächliche Risslänge erfasst und mit einer der jeweiligen Revision zugeordneten vorgegebenen zulässigen Risslänge verglichen werden, um den Zustand des Rotors zu bestimmen.

[0026] In einer vorteilhaften Weiterbildung grenzt der Überwachungsbereich an einer Nabe der Rotorscheibe an, da an dieser Stelle beim Betrieb der Strömungsmaschine höhere Beanspruchungen auftreten können. Beschädigungen können somit vergleichsweise früh in diesem Bereich auftreten, so dass dessen Überwachung sinnvoll ist.

[0027] Die Lösung der auf die Strömungsmaschine gerichteten Aufgabe schlägt vor, den Rotor dieser Strömungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9 auszubilden.

[0028] Die Lösung der auf das Verfahren gerichteten Aufgabe schlägt zum Erkennen des Zustandes des freigelegten Rotors einer Strömungsmaschine vor, dass zuerst der Kontrollbereich des Rotors auf einen unkritischen Defekt hin untersucht wird und bei Nichtvorliegen eines Defekts im Kontrollbereich der Zustand als ‚nicht zu überprüfen‘ ermittelt wird oder bei Vorliegen eines

Defektes auf einen weiteren im Überwachungsbereich angeordneten Defekt zurückgeschlossen wird, aus dem anschließend der Zustand des Rotors ermittelt wird.

[0029] Die für den Rotor beschriebenen Vorteile gelten dabei sinngemäß auch für die Strömungsmaschine und das Verfahren.

[0030] Die Erfindung wird anhand einer Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Figur 1 einen Schnitt durch eine Rotorscheibe mit einer Schwachstelle,

Figur 2 die Seitenansicht der Rotorscheibe gemäß Figur 1,

Figur 3 die Draufsicht auf den Umfang der Rotorscheibe gemäß Figur 1,

Figur 4 ein Startzahl-Risslänge-Diagramm gemäß der Erfindung,

Figur 5 ein Startzahl-Risslänge-Diagramm gemäß dem Stand der Technik und

Figur 6 einen Längsteilschnitt durch eine Gasturbine.

[0031] Eine Gasturbine und deren Arbeitsweise ist allgemein bekannt. Dazu weist Figur 6 eine Gasturbine 1 einen Verdichter 5 für Verbrennungsluft, eine Brennkammer 6 sowie eine Turbine 8 zum Antrieb sowohl des Verdichters 5 wie auch einer Arbeitsmaschine, z. B. eines Generators, auf. Die Turbine 8 und der Verdichter 5 sind auf einem gemeinsamen, auch als Turbinenläufer bezeichneten Rotor 3 angeordnet, mit der auch die Arbeitsmaschine verbunden ist, und die um ihre Längsachse drehbar gelagert ist. Die Brennkammer 6 ist mit Brennern 7 zur Verbrennung eines flüssigen oder gasförmigen Brennstoffs bestückt.

[0032] Die Gasturbine 1 weist eine drehfeste untere Gehäusehälfte 12 auf, in der bei der Montage der Gasturbine 1 der zusammengebaute Rotor 3 hineingelegt wird. Anschließend wird eine obere Gehäusehälfte 13 montiert, um die Gasturbine 1 zu schließen.

[0033] Der Rotor 3 weist einen zentralen Zuganker 10 auf, welcher mehrere aneinanderliegende Rotorscheiben 19 miteinander verspannt.

[0034] Im Innern weisen der Verdichter 5 wie auch die Turbine 8 jeweils eine Anzahl von mit der Rotor 3 verbundenen, rotierbaren Laufschaufeln 16 auf. Die Laufschaufeln 16 sind kranzförmig an den ringförmigen Rotorscheiben 19 angeordnet und bilden somit eine Anzahl von Laufschaufelreihen 15. Weiterhin umfasst sowohl der Verdichter 5 als auch die Turbine 8 eine Anzahl von feststehenden Leitschaufeln 14, die ebenfalls kranzförmig unter der Bildung von Leitschaufelreihen 17 an einer Innenwand des Gehäuses von Verdichter 5 bzw. Turbine 8 befestigt sind.

[0035] Figur 1 zeigt den Schnitt durch die Rotorscheibe 19 einer Gasturbine 1 entlang ihres Radius. Durch den Mittelpunkt der ringförmigen Rotorscheibe 19, welche als Verdichterscheibe oder auch als Turbinenscheibe ausgebildet sein kann, verläuft die Drehachse 2 des Rotors 3. Die Rotorscheibe 19 weist Laufschaufelhaltnuten 23 zur Aufnahme von Laufschaufeln 16 an ihrem radial äußeren Ende 21 auf. An einer Stirnseite 25 der Rotorscheibe 19 ist ein frei auskragender Balkon 27 vorgesehen. Der Balkon 27 weist einen Kontrollbereich 29 auf, welcher im freigelegtem Zustand des zusammengebauten Rotors 3 von außen sichtbar ist. Der Rotor 3 liegt dann in der unteren Gehäusehälfte 12 der Gasturbine 1 und die obere Gehäusehälfte 13 ist abgenommen.

[0036] Fig.3 zeigt den Kontrollbereich 29 mit einer Schwachstelle 31, welche als Kerbe 32 mit einer Kerblänge a_{Kerbe0} ausgebildet ist. Die Kerbe 32 ist dabei an einem axialen Rand 33 des Balkons 27 vorgesehen, wobei gegenüberliegend eine Ausnehmung 34 als Entlastungsöffnung 35 angeordnet ist. Die Entlastungsöffnung 35 ist zum Rand 33 derart beabstandet, dass der Betrag des Abstands einer später erläuterten maximal zulässigen Risslänge $a_{Kerberzul}$ entspricht.

[0037] Radial innen ist ein an der Nabe 36 der Rotorscheibe 19 angrenzender Überwachungsbereich 37 angeordnet, in dem beim Betrieb der Gasturbine 1 kritische Beanspruchungen auftreten können.

[0038] Die Schwachstelle 31, die im für die Funktion des Rotors 3 unkritischen Kontrollbereich 29 angeordnet ist, ist mit einer im Überwachungsbereich 37 anzunehmenden Fehlstelle 41 in Größe und Wirkung proportional vergleichbar. Ferner sind die im Kontrollbereich 29 auftretenden Beanspruchungen mit den im Überwachungsbereich 37 auftretenden Beanspruchungen proportional vergleichbar.

[0039] Während des Betriebs der Gasturbine 1 können an der Schwachstelle 31, und ggf. bei Vorhandensein einer Fehlstelle 41, Beanspruchungen und Beanspruchungskollektive auftreten, die an diesen Stellen jeweils zu einem Risswachstum führen können.

[0040] Aus Gründen der Betriebssicherheit muss die Schwachstelle 31 so dimensioniert sein, dass dort eher ein Riss 40 wächst als von einer unentdeckten Fehlstelle 41 aus.

[0041] Weist bei der Revision zumindest ein Kontrollbereich 29 einer der Rotorscheiben 19 als Defekt 39 einen Riss 40 auf, der von der Schwachstelle 31 ausgehend in der Entlastungsöffnung 35 endet, so ist davon auszugehen, dass im Überwachungsbereich 37 bei Vorhandensein einer Fehlstelle 41 ein vergleichbarer Riss 45 entstanden ist, so dass der Zustand des Rotors 3 bzw. der Rotorscheibe 19 als 'zu Überprüfen' einzustufen ist. Dann ist die den unkritischen Defekt 39 aufweisende Turbinenscheibe 19 durch eine genauere Untersuchung zu überprüfen, wozu der Rotor 3 zu zerlegen ist.

[0042] Alternativ könnte die Entlastungsöffnung derart

weit von der Kerbe entfernt sein, dass ein Risswachstum ermöglicht, welches sich über mehrere Revisionsintervalle erstreckt. Die einem Revisionsintervall jeweils zugeordnete zulässige Risslänge, welche auf den Zustand 'zu überprüfen' hindeutet, muss dann immer mit der tatsächlich vorhandenen, gemessenen Risslänge verglichen werden. Dem gemäß ist eine Bewertung des Risswachstums möglich, welcher durch den Betrieb der Gasturbine zwischen zwei folgenden Revisionen auftritt.

[0043] Zeigt die Überprüfung der Rotorscheibe 19 im Überwachungsbereich 37 keinen Defekt 43 auf, so kann aufgrund des unkritischen Defektes 39 im Kontrollbereich 29 davon ausgegangen werden, dass im Überwachungsbereich 37 auch keine signifikante Fehlstelle 41 vorhanden ist. Sonst wäre dort ein Defekt 43 erkennbar. Somit kann die betrachtete Rotorscheibe 19 weiter verwendet werden.

[0044] Figur 4 zeigt ein Startzahl-Risslänge-Diagramm, welches bei der Erfindung angewendet wird. Auf der Abszisse wird die Startzahl N der Gasturbine 1 aufgetragen und auf der Ordinate die Risslänge a von Rissen 40 von Rotorscheiben 19.

[0045] Eine in Volllinie gezeichnete Kennlinie 53 zeigt den konservativ berechneten Verlauf der Risslänge a des Risses 40 im Kontrollbereich 29 in Abhängigkeit von der Startzahl N der Gasturbine 1. Mit einer als Grenzwert maximal zulässigen Risslänge $a_{Kerbezul}$ ist die maximale Risslänge a des Risses 40 inklusive der Länge a_{Kerbe0} der Kerbe 32 vorgegeben, mit der die Rotorscheibe 29 betrieben werden kann, ohne dass deren Zustand und der des Rotors 3 als 'zu überprüfen' einzustufen ist. Die Kennlinie 53 schneidet die maximal zulässige Risslänge $a_{Kerbezul}$ im Punkt 55. Hieraus lässt sich dann die unter konservativer Annahme berechnete zulässige Startzahl N_{Berzul} bestimmen.

[0046] Spätestens bei Erreichen der berechneten zulässigen Startzahl N_{Berzul} wird die Gasturbine 1 zu Revisionszwecken zerlegt. Der von außen sichtbare Kontrollbereich 29 zeigt dann ggf. einen von der Kerbe 32 ausgehenden Riss 40 mit der tatsächlichen Länge a_{tat} , der als Punkt 63 $P(N_{Berzul}, a_{tat})$ in das Diagramm eingetragen wird. Mit der Koordinate $P(0, a_{Kerbe0})$ ist ein zweiter Punkt 61 als Ursprung einer weiteren Kennlinie 57 festgelegt, so dass im Abszissen-Intervall von $[0, N_{Berzul}]$ die Kennlinie 57 auf Grund der bruchmechanischen Eigenschaften des Materials der Rotorscheibe 19 bestimmt werden kann. Die strichpunktiert dargestellte Kennlinie 57 zeigt folglich das Risswachstum, welches durch das tatsächliche Beanspruchungskollektiv aufgetreten ist. Der weitere Verlauf 65 der Kennlinie 57 wird anschließend durch Extrapolation ermittelt, um dann einen Schnittpunkt 59 mit der maximal zulässigen Risslänge $a_{Kerbezul}$ zu bestimmen. Hierdurch wird die tatsächlich zulässige Startzahl N_{tatzul} ermittelt, nach welcher der Rotor 3 zu zerlegen und im kritischen Überwachungsbereich 37 auf Defekte 43 zu überprüfen ist. Somit erfolgt eine vergleichsweise genaue Bestimmung

der Restlebensdauer der Rotorscheiben 19.

[0047] Die Differenz Δn zwischen der tatsächlich zulässigen Startzahl N_{tatzul} und der berechneten zulässigen Startzahl N_{Berzul} ist der durch die Erfindung erzielte Gewinn an Starts N der Gasturbine 1. Erst nach dem Erreichen der tatsächlich zulässigen Startzahl N_{tatzul} ist der Rotor 3 zu zerlegen und die Rotorscheiben 19 und andere Rotorkomponenten auf Defekte 43 im kritischen Überwachungsbereich 37 zu untersuchen.

[0048] Für jedes Revisionsintervall wird mit der Schwachstelle 31 ein bis zu diesem Zeitpunkt dem tatsächlichen Beanspruchungskollektiv ausgesetzter Risswachstumsindikator nach Art einer Sollbruchstelle geschaffen, mit dem Rückschlüsse bezüglich Defekte 43 auf von außen nicht sichtbare Bereiche der Rotorscheiben 19 ermöglicht werden.

Patentansprüche

1. Rotor (3) einer Strömungsmaschine,

der im freigelegten Zustand einen von außen sichtbaren Kontrollbereich (29) aufweist, in dem beim Betrieb der Strömungsmaschine eine vergleichsweise unkritische Beanspruchung auftritt und

der im freigelegten Zustand einen von außen nicht sichtbaren Überwachungsbereich (37) aufweist, in dem beim Betrieb der Strömungsmaschine eine vergleichsweise kritische Beanspruchung auftritt,

dadurch gekennzeichnet,

dass im Kontrollbereich (29) eine Schwachstelle (31) nach Art einer Sollbruchstelle vorgesehen ist und

dass eine beim Betrieb der Strömungsmaschine im Überwachungsbereich (37) möglicherweise auftretende Beschädigung des Rotors (3) durch einen im Bereich der Schwachstelle (31) auftretenden und von dieser Stelle aus wachsenden unkritischen Defekt (39) erkennbar ist.

2. Rotor (3) nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Schwachstelle (31) durch eine Materialschwächung gebildet wird.

3. Rotor (3) nach Anspruch 1 bis 2,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Schwachstelle (31) als Kerbe (32) ausgebildet ist.

4. Rotor (3) nach Anspruch 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet,

dass zur Begrenzung der Schwachstelle (31) eine Ausnehmung (34), insbesondere eine Entlastungs-

bohrung (35) vorgesehen ist, in die der unkritische Defekt (39) auslaufen kann.

5. Rotor (3) nach Anspruch 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Schwachstelle (31) so ausgebildet ist,
dass beim Betrieb der Strömungsmaschine an dieser Stelle ein unkritischer Defekt (39) hervorgerufen wird, der mit einem weiteren, im Überwachungsbereich (37) durch eine Fehlstelle (41) ausgelösten Defekt (43) proportional vergleichbar ist. 5 10
6. Rotor (3) nach Anspruch 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Rotor (3) mehrere Rotorscheiben (19) und zumindest einen die Rotorscheiben (19) einspannenden Zuganker (10) umfasst. 15
7. Rotor (3) nach Anspruch 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Rotor einstückig, insbesondere geschweißt, ist. 20
8. Rotor (3) nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zumindest eine Schwachstelle (31) an zumindest einer der Rotorscheiben (19) vorgesehen ist. 25
9. Rotor (3) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Rotor mehrere Schwachstellen an einer Rotorscheibe oder auf mehreren Rotorscheiben verteilt aufweist und
dass zur Revisionsstaffelung die Schwachstellen mit ihren zugehörigen Ausnehmungen derart unterschiedlich ausgebildet sind, dass für jede Revision das bis zum jeweiligen Revisionszeitpunkt kumulierte Beanspruchungskollektiv im Kontrollbereich ein vergleichbares Risswachstum bewirkt. 30 35 40
10. Rotor (3) nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Überwachungsbereich (37) an einer Nabe (36) der Rotorscheibe (19) angrenzt. 45
11. Strömungsmaschine mit einem Rotor (3),
dadurch gekennzeichnet,
dass der Rotor (3) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 ausgebildet ist. 50
12. Strömungsmaschine nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Strömungsmaschine als Verdichter (5), als Gasturbine (1) oder als Dampfturbine ausgebildet ist. 55
13. Verfahren zum Erkennen des Zustands des freige-

legten Rotors (3) einer Strömungsmaschine, der im freigelegten Zustand einen von außen sichtbaren Kontrollbereich (29) aufweist, in dem beim Betrieb der Strömungsmaschine eine vergleichsweise unkritische Beanspruchung auftritt und der im freigelegten Zustand einen von außen nicht sichtbaren Überwachungsbereich (37) aufweist, in dem beim Betrieb der Strömungsmaschine eine vergleichsweise kritische Beanspruchung auftritt,
dadurch gekennzeichnet,
dass zuerst der Kontrollbereich (29) des Rotors (3) auf einen unkritischen Defekt (39) hin untersucht wird und bei Vorliegen eines unkritischen Defekts (39) auf einen weiteren im Überwachungsbereich (37) angeordneten Defekt (43) zurückgeschlossen wird, aus dem der Zustand des Rotors (3) ermittelt wird oder
bei Vorliegen einer Risslänge, welche einen Grenzwert unterschreitet, der Zustand als ‚zu überprüfen‘ ermittelt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass zuvor der Kontrollbereich (29) so bestimmt wird, dass in diesem beim Betrieb der Strömungsmaschine unkritischen Defekte (39) entstehen.
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass der unkritische Defekt (39) sich als Riss (40) ausbildet.
16. Verfahren nach Anspruch 15,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Zustand des Rotors (3) als ‚zu überprüfen‘ erkannt wird, wenn der im Kontrollbereich (29) entstandene Riss (40) eine Risslänge a aufweist, die einen Grenzwert überschreitet.
17. Verfahren nach Anspruch 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass nach dem Erkennen des zu überprüfenden Zustands der Rotor (3) zerlegt wird.
18. Verfahren nach Anspruch 13 bis 17,
mit einem Rotor nach den Ansprüchen 1 bis 10.

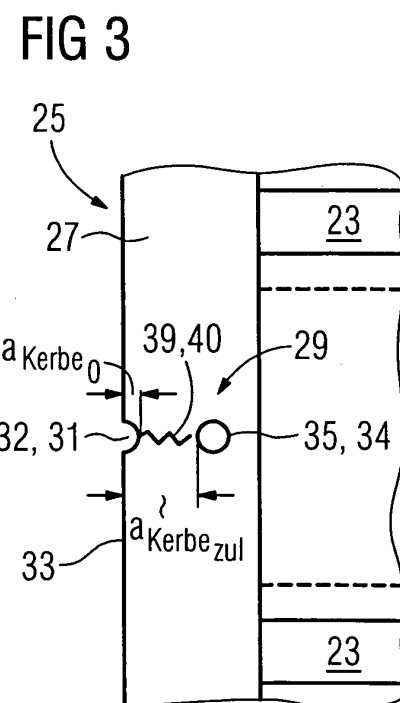
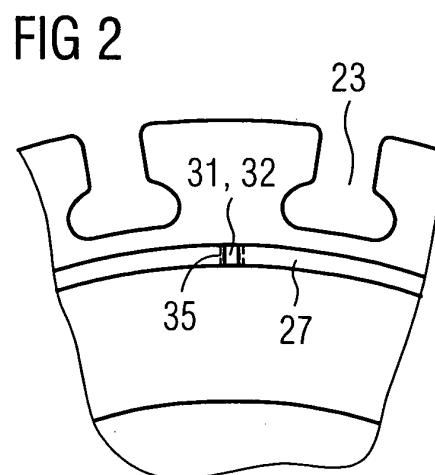
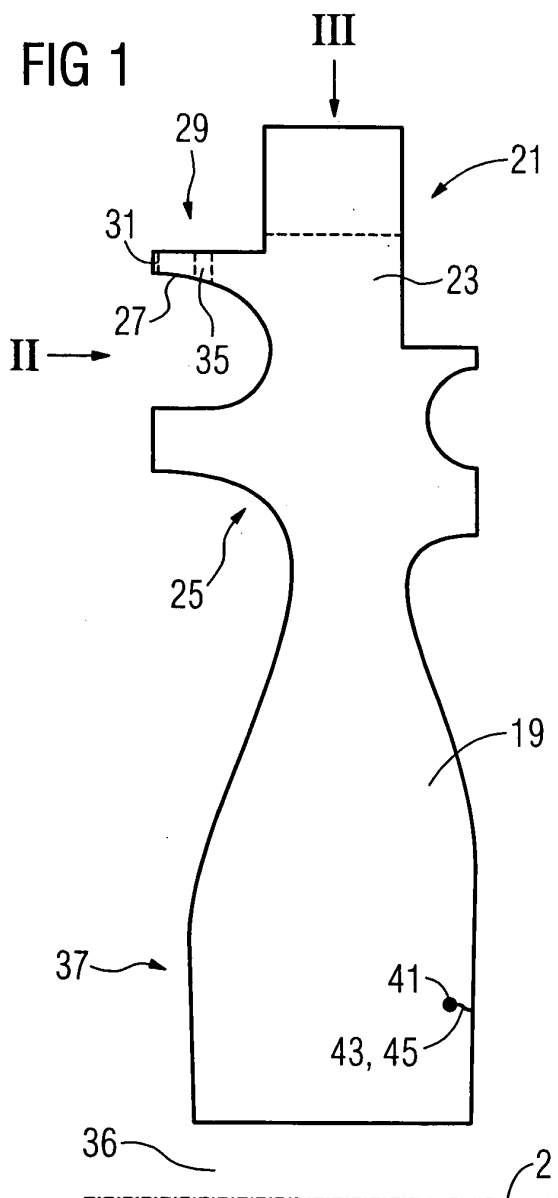


FIG 5
(Stand der Technik)

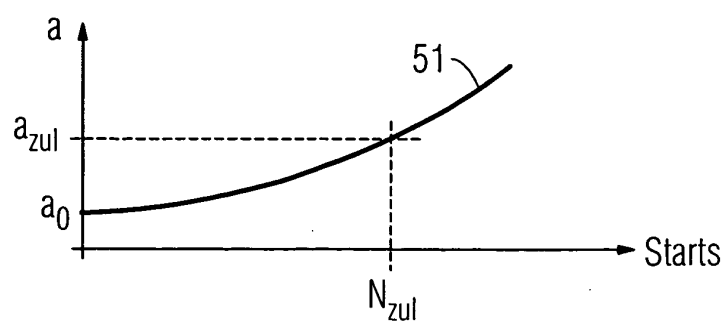


FIG 4

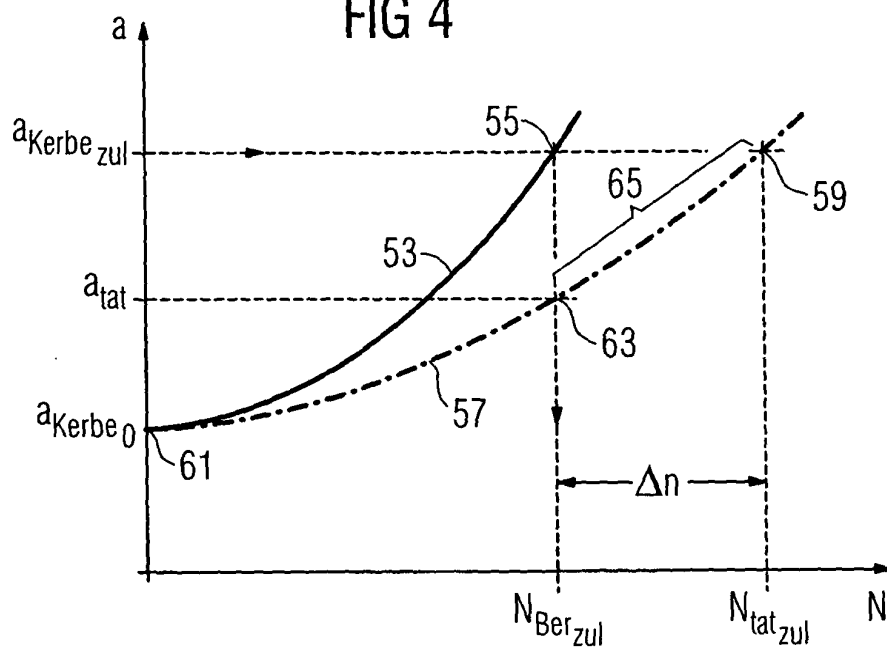
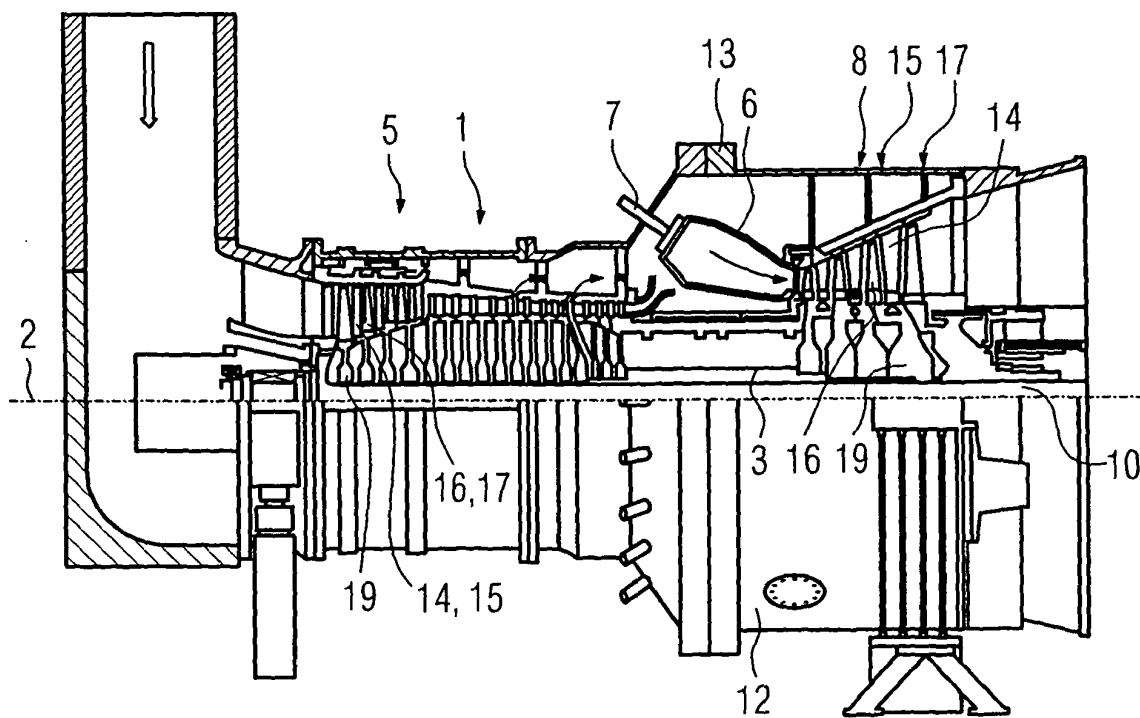


FIG 6





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 04 00 6256

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	US 2002/019708 A1 (PROSS JORG) 14. Februar 2002 (2002-02-14) * Abbildungen * * Absatz [0012] - Absatz [0021] * * Absatz [0032] - Absatz [0036] * ---	1-15, 18	F01D5/02 F01D21/00
A	EP 1 273 803 A (BOC EDWARDS TECHNOLOGIES LTD) 8. Januar 2003 (2003-01-08) * Abbildungen * * Absatz [0024] - Absatz [0033] * ---	1-18	
A	US 3 490 748 A (HOFFMAN MELVIN G) 20. Januar 1970 (1970-01-20) * das ganze Dokument * ---	1-18	
A	GB 1 499 550 A (BBC SULZER TURBOMASCHINEN) 1. Februar 1978 (1978-02-01) * das ganze Dokument * -----	1-18	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
			F01D G01N
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort MÜNCHEN		Abschlußdatum der Recherche 19. Juli 2004	Prüfer Teissier, D
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 04 00 6256

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

19-07-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2002019708 A1	14-02-2002	DE 19962735 A1	28-06-2001
		EP 1111366 A2	27-06-2001
EP 1273803 A	08-01-2003	JP 2003021093 A	24-01-2003
		EP 1273803 A2	08-01-2003
		US 2003021673 A1	30-01-2003
US 3490748 A	20-01-1970	GB 1189963 A	29-04-1970
GB 1499550 A	01-02-1978	CH 573151 A5	27-02-1976
		DE 2442639 A1	15-01-1976
		FR 2276579 A1	23-01-1976
		IT 1039403 B	10-12-1979
		JP 1034426 C	20-02-1981
		JP 51019223 A	16-02-1976
		JP 55026295 B	12-07-1980
		SE 7507247 A	29-12-1975

EPO FORM P0481

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82