



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 199 00 339 B4** 2006.06.14

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **199 00 339.4**
 (22) Anmeldetag: **07.01.1999**
 (43) Offenlegungstag: **16.09.1999**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **14.06.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01B 13/20** (2006.01)
G01F 1/34 (2006.01)
G01M 9/06 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
9805422 **13.03.1998** **GB**
9821108 **30.09.1998** **GB**

(73) Patentinhaber:
Standard Aero Ltd., Winnipeg, Manitoba, CA

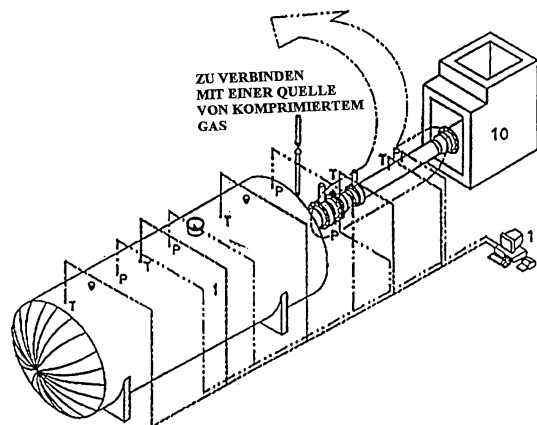
(74) Vertreter:
Zumstein & Klingseisen, 80331 München

(72) Erfinder:
Evangelista, Eduardo R., Winnipeg, CA

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 39 00 836 A1
US 55 64 306 A
US 55 57 050 A
US 40 63 449 A

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Ermitteln der Strömungsquerschnittsfläche eines Hindernisses**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Ermitteln des effektiven Strömungsquerschnitts eines Hindernisses (7) in einer Gasströmungspassage(3), wobei ein Gasbehälter (1) bereitgestellt wird, das Hindernis zur Kommunikation mit einer gesteuerten Gasströmung angeordnet wird, die von einem Vorratsbehälter (1) durch Strömungssteuermittel (2, 9) strömt, und daraufhin die Strömungssteuermittel (9) zum Ermöglichen einer transienten Strömung von unter Druck stehendem Gas durch das Hindernis (7) aus dem Vorratsbehälter betätigt werden, wobei durch Halten des Verhältnisses des Gegendrucks des Hindernisses zu dem Gasdruck in dem Vorratsbehälter unterhalb eines kritischen Werts eine Gasströmung unter Schallgeschwindigkeitsbedingungen vorübergehend an dem Hindernis aufrecht erhalten wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ermitteln der effektiven Strömungsfläche bzw. Anströmungsfläche bzw. Strömungsquerschnittsfläche eines Hindernisses in einer Gasströmungspassage. Insbesondere, jedoch nicht ausschließlich, betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Messen der Schaufel- oder Düsenfläche bzw. des Schaufel- oder Düsenquerschnitts einer Gasturbinenmaschine zum Anpassen der Schaufel an die Schaufelfläche einer Kompressorturbine und einer Triebwerksturbine.

[0002] Die Größe einer Turbinenschaufel (auch als Düse bekannt) spielt eine wesentliche Rolle beim Leistungsvermögen von Gasturbinenmaschinen, weil sie den Arbeitspunkt auf bzw. in dem Kompressorverzeichnis ändert. Jegliche Änderung der Turbinenschaufelfläche führt zu einer erneuten Anpassung der Maschine auf ein unterschiedliches Gasgeneratordrehzahl-, Massendurchsatz- und Kompressordruckverhältnis. Eine Vergrößerung der Schaufelfläche einer Kompressorturbine (CT) bei konstant gehaltener Schaufelfläche einer Triebwerksturbine (PT) hat die Auswirkung, dass die Gasgeneratordrehzahl, der Massendurchsatz und das Grundkompressordruckverhältnis bei konstanter Ausgangsleistung abnehmen. Eine Vergrößerung der PT-Schaufelfläche bei unverändert gehaltener CT-Schaufelfläche veranlasst die Maschinen hingegen dazu, die Gasgeneratordrehzahl, den Massendurchsatz und das Kompressordruckverhältnis bei konstanter Ausgangsleistung zu erhöhen.

[0003] Bei dem Schaufelanpassvorgang auf Grundlage einer effektiven Strömungsfläche handelt es sich um eine aufwendige Maschinenüberholungsprozedur zum Vorhersagen einer optimalen Maschinenleistung und zum Erzielen eines optimalen Wirkungsgrads und Energieverbrauchs. In ungeeigneter Weise angepasst Schaufeln führen zu einer Maschinenleistung, die schlechter als erwartet ist, was häufig dazu führt, dass die Maschine beim Test ausfällt und dass der Kraftstoffverbrauch erhöht ist.

[0004] Wegen der nicht akzeptabel hohen Kosten und der Schwierigkeit beim Bereitstellen einer stationären Gasströmung bzw. eines stationären Gasdurchsatzes bei Schallgeschwindigkeit nutzen die meisten Maschinenüberholungsanlagen eine Strömungs- bzw. Durchsatzeinrichtung, welche die Schaufelfläche bei Strömungsvorgängen bzw. -durchsätzen im Geschwindigkeitsbereich unterhalb der Schallgeschwindigkeit misst. Beim tatsächlichen Maschinenbetrieb sind die Schaufeln jedoch gedrosselt (oder nahezu gedrosselt) und die Gasgeschwindigkeit an der Schaufelengstelle befindet sich auf Schallgeschwindigkeit oder nahezu auf Schallgeschwindigkeit. Aufgrund ihrer Unfähigkeit, die tatsächlichen Schallströmungsvorgänge bzw. -durchsätze zu simulieren, stellt die Unterschallgeschwindigkeitsströmungs- bzw. -durchsatzeinrichtung eine weniger genaue und weniger konsistente Messung der Schaufelfläche bereit, wodurch das Problem von Maschinenversagen aufgrund nicht korrekter Schaufelanpassung wächst.

Stand der Technik

[0005] DE 39 99 836 A1, welche bezüglich Anspruch 1 den nächstliegenden Stand der Technik darstellt, beschreibt ein Verfahren zum Ermitteln des effektiven Strömungsquerschnitts eines Hindernisses in einer Gasströmungspassage, wobei das Hindernis zur Kommunikation mit einer gesteuerten Gasströmung angeordnet wird, die durch Strömungssteuermittel strömt zum Ermöglichen einer Strömung von unter Druck stehendem Gas durch das Hindernis, wobei eine Gasströmung mit Schallgeschwindigkeit durch das Hindernis durch Aufrechterhalten des Verhältnisses des Gegendrucks des Hindernisses zu dem Gasdruck vor dem Hindernis unterhalb eines kritischen Werts gehalten wird, indem eine Pumpe oder ein Druckregler die Strömung so steuert, dass das Druckverhältnis zwischen Ausgangsdruck und Eingangsdruck überkritisch ist.

[0006] US 5 564 306 A beschreibt ein anderes Verfahren und eine andere Vorrichtung, mit dem/der ein Gasmassenfluss von einem Vorratsbehälter in einen anderen Gasbehälter gemessen werden kann, wobei ein Hindernis in einer Gasströmungspassage angeordnet wird.

[0007] US 4 063 449 A, welche bezüglich des Anspruchs 20 nächstliegenden Stand der Technik bildet, beschreibt eine Vorrichtung und ein Verfahren, wobei die Vorrichtung Mittel zum in Verbindung setzen des Hindernisses mit dem Vorratsbehälter und Strömungssteuermittel zum Ermöglichen einer Gasströmung durch das Hindernis, ausgehend von dem Vorratsbehälter, aufweist, wobei die Vorrichtung außerdem Druckerfassungsmittel umfasst.

[0008] US 5 557 050 A beschreibt ein Verfahren zum Messen der Gasmenge, die von einem ersten Vorratsbehälter in einen zweiten Gasbehälter fließt, wobei ein Hindernis 26 in einer Gasströmungspassage angeordnet wird, in der eine gesteuerte Gasströmung von unter Druck stehendem Gas stattfindet.

Aufgabenstellung

[0009] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, durch welche die Ungenauigkeit und Inkonsistenz, die mit herkömmlichen Techniken zum Messen der Gasströmung bzw. des Gasdurchsatzes durch ein Hindernis sowie für den Schaufelanpassvorgang verbunden sind, verringert bzw. beseitigt sind.

[0010] Gelöst wird diese Aufgabe hinsichtlich des Verfahrens durch die Merkmale des Anspruchs 1 und hinsichtlich der Vorrichtung durch die Merkmale des Anspruchs 20. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0011] Gemäß einem Aspekt schafft die vorliegende Erfindung demnach ein Verfahren zum Ermitteln des effektiven Strömungsquerschnitts eines Hindernisses in einer Gasströmungspassage, und aufweisend Bereitstellen eines Gasbehälters, Anordnen des Hindernisses zur Kommunikation mit einer gesteuerten Gasströmung, die von einem Vorratsbehälter durch Strömungssteuermittel strömt, und daraufhin Betätigen der Strömungssteuermittel zum Ermöglichen einer transienten Strömung von unter Druck stehendem Gas durch das Hindernis aus dem Vorratsbehälter, wobei durch Halten des Verhältnisses des Gegendrucks des Hindernisses zu dem Gasdruck in dem Vorratsbehälter unterhalb eines kritischen Werts, eine Gasströmung unter Schallgeschwindigkeitsbedingungen vorübergehend an dem Hindernis aufrecht erhalten wird.

[0012] Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zum Ermitteln der effektiven Strömungsquerschnittsfläche eines Hindernisses in einer Gasströmungspassage, aufweisend einen Vorratsbehälter, Mittel zum in Verbindung setzen des Hindernisses mit dem Vorratsbehälter, Strömungssteuermittel zum Ermöglichen einer gesteuerten Strömung von unter Druck stehendem Gas durch das Hindernis ausgehend von dem Vorratsbehälter, um eine Gasströmung unterhalb Schallgeschwindigkeitsbedingung vorübergehend an dem Hindernis aufrecht erhalten zu können, Druckerfassungsmittel, die auf ein Signal ansprechen oder ein Signal bereitstellen, das von dem Gasdruck in dem Vorratsbehälter abhängt, und Zeitgebermittel, die dazu dienen, ein Signal bereitzustellen, das von der Dauer der Gasströmung durch das Hindernis abhängt.

[0013] Das Verfahren und die Vorrichtung können Zeitgebermittel nutzen, die betreibbar sind, das Zeitintervall für einen vorbestimmten Druckabfall in dem Behälter während der Gasströmung durch das Hindernis zu messen. Alternativ können die Zeitgebermittel ein Signal bereitstellen, welches die Austragströmungsdauer steuert, wobei die Drücke am Beginn und am Ende dieser Strömung (oder die Druckänderung) durch die Druckerfassungsmittel gemessen werden.

[0014] Die Erfindung schafft demnach innerhalb ihres Umfangs eine Schallströmungseinrichtung, die in Übereinstimmung mit der thermodynamischen Theorie betrieben werden kann, welche anwendbar ist auf das Ausblasen des Inhalts an komprimiertem Gas eines Tankbehälters auf Atmosphärendruck, wobei eine Schaufel, Düse oder dergleichen Hindernis am Behälterauslass als Hindernis für den Gasstrom angeordnet ist. Schallströmung bzw. mit Schallgeschwindigkeit sich ausbreitende Strömung an der Engstelle der Schaufel kann erzeugt werden, indem das Verhältnis des Gegendrucks der Schaufel zum Gasdruck in dem Behälter unterhalb eines kritischen Werts gehalten wird, und zwar für die gesamte Dauer des Blowdown- bzw. Auslassvorgangs. Die Schaufel oder Düse kann als gedrosselt angesehen werden, wenn die Gasgeschwindigkeit an der Engstelle Schallgeschwindigkeit erreicht.

[0015] Im Gegensatz zu stationären Strömungsbedingungen verläuft die durch die vorliegende Erfindung bereitgestellte Schallströmung transient, da der Massendurchsatz bei Verringerung des Behälterdrucks und der Temperatur während des Fortschritts des Blowdown-Vorgangs abnimmt. Dessen ungeachtet befindet sich die Strömung auf Schallgeschwindigkeit und die Kosten sind vergleichbar zu denjenigen bei einer Strömung(mess)einrichtung, die unterhalb der Schallgeschwindigkeit bzw. im Subschallgeschwindigkeitsbereich arbeitet.

[0016] Die Erfindung zielt darauf ab, dass die transiente Schall(geschwindigkeits)-austragströmung 5 (fünf) Sekunden dauert, sie dauert jedoch jedenfalls weniger als 80 (achtzig) Sekunden. Bevorzugt hat die Schall(geschwindigkeits)austragströmung eine Dauer zwischen 8 (acht) Sekunden und 15 (fünfzehn) Sekunden. Infolge der begrenzten Zeitperiode für die Austragströmung muss das Volumen des Behälters für die Strömung durch ein Hindernis mit einer Querschnittsfläche zwischen 5 und 25 Quadratinch (zwischen 32,3 und 161 Quadratzentimeter) nicht größer sein als 1500 Kubikfuß (42.475.500 Kubikzentimeter) für einen maximalen Behälterdruck von 125 psi (862 kPa).

[0017] Das Verfahren und die Vorrichtung gemäß der Erfindung können das Anordnen eines Hindernisses für die Strömung zwischen dem Behälter und den Strömungs- bzw. Durchsatzsteuermitteln vorsehen oder das Hindernis kann stromabwärts von den Strömungssteuermitteln vorgesehen sein.

[0018] Die Erfindung lehrt die Verwendung eines Behälters mit einem maximalen Betriebsdruck von nicht mehr als 400 psi (2758 kPa), bevorzugt von nicht mehr als 125 psi (862 kPa).

[0019] Die Erfindung ist insbesondere anwendbar auf den Schall(strömungs)-austrag bzw. Schallgeschwindigkeits(strömungs)austrag durch ein Hindernis, das einen Querschnitt von zumindest 1 (einem) Quadratinch (6,45 Quadratcentimeter) oder typischerweise zumindest 5 (fünf) Quadratinch (32,3 Quadratcentimeter) aufweist. Die Fläche bzw. die Querschnittsfläche des Hindernisses kann in einem Bereich von 25 (fünfundzwanzig) Quadratinch (161 Quadratcentimeter) bis hin zu 100 (einhundert) Quadratinch (645 Quadratcentimeter) liegen.

[0020] Die Erfindung ist demnach auf die Messung der Fläche eines Gasströmungs- bzw. Durchsatzhindernisses anwendbar, das eine Fläche bzw. eine Querschnittsfläche aufweist, die typisch für diejenige ist, die in Gasturbinenmaschinen zum Tragen kommt.

[0021] Zumindest gemäß einem ihrer Aspekte nutzt die Erfindung die theoretische Betrachtung, dass der Gasmassendurchsatz durch eine konvergierende Düse einen maximalen Wert erreicht, wenn die Gasgeschwindigkeit an der Engstelle der Schallgeschwindigkeit entspricht (die Mach-Zahl beträgt 1, d.h. $M = 1$). Unter dieser Bedingung vermag sich jegliche Änderung auf der stromabwärtigen Seite der Düse nicht zur stromaufwärtigen Seite hin auszubreiten. Eine weitere Verringerung des stromabwärtigen Gegendrucks beeinträchtigt die stromaufwärtige Strömungsgeschwindigkeit bzw. Durchsatzrate nicht. Der Massendurchsatz bleibt maximiert und die Düse ist als nicht gedrosselt zu betrachten.

[0022] Bei $M = 1$ wird der Druck an der Engstelle der Düse als kritischer Druck bezeichnet, und das Verhältnis des kritischen Drucks zum Stagnationsdruck wird als kritisches Druckverhältnis bezeichnet. Für ein ideales Gas ist das kritische Druckverhältnis eine Konstante, die abhängig ist von der spezifischen Wärme des Gases. Schall(geschwindigkeits)strömung durch die Düse wird erzeugt, wenn das Verhältnis des Gegendrucks zum stromaufwärtigen Stagnationsdruck gleich oder geringer als das kritische Druckverhältnis ist.

[0023] In einem Tank(Behälter)-Ausblas-System, in welchem eine Düse den Gasdurchsatz bzw. die Gasströmung beschränkt, wird die Düse gedrosselt, wenn das Verhältnis des Gegendrucks der Schaufel zu dem Gasdruck in dem Tank kleiner ist als das kritische Druckverhältnis. Unter Annahme einer isentropischen Expansion des Gases lautet die beherrschende thermodynamische Formel für die effektive Strömungsfläche bzw. -querschnittsfläche der Schaufel:

$$A = \frac{-2V \left[\left(\frac{p_f}{p_i} \right)^{\frac{1-\gamma}{2\gamma}} - 1 \right]}{(1-\gamma) R_i \sqrt{T_i} \sqrt{\frac{\gamma}{R} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}}}}$$

wobei:

- A die effektive Querschnittsfläche bzw. Fläche der Schaufel (oder der Düse oder eines anderen Hindernisses) ist,
- V das Volumen des Tanks (Behälters) ist,
- t die Ausblas-Zeit (Blowdown-Zeit) ist,
- p_i der anfängliche Absolutdruck des Gases im Tank ist,
- p_f der endgültige Absolutdruck des Gases im Tank ist,
- T_i die anfängliche Absoluttemperatur des Gases im Tank ist,
- R die spezifische Gaskonstante ist, und
- γ das Verhältnis der spezifischen Wärmen des Gases ist.

[0024] Die Schaufelfläche bzw. Querschnittsfläche kann aus der vorstehend genannten Formel direkt berechnet werden, indem die Werte für den Druck, die Temperatur und die Zeitdaten eingesetzt werden, die aus dem Strömungs- bzw. Durchsatzlauf ermittelt werden. R und Y sind Konstanten, die für das spezielle verwendete Gas spezifisch sind. Das Volumen des Tanks sollte vorher entweder mit dem gravimetrischen oder volumetrischen Verfahren gemessen werden.

[0025] Alternativ kann die Schaufelfläche bzw. -querschnittsfläche erhalten werden, indem eine wechselseitige Kalibrierung mit einer Master-Düse durchgeführt wird, welche einen im vornherein bekannten effektiven Strömungsquerschnitt aufweist. Bei diesem Verfahren werden die Master-Düse und die Testschaufel nacheinander in der Schall(geschwindigkeits)strömungs- bzw. -durchsatzeinrichtung bei identischem Tankanfangedruck und -enddruck durchströmt. Da R, y, pi, pf und V zwischen den zwei Läufen konstant bleiben, kann der effektive Strömungsquerschnitt bzw. die effektive Strömungsfläche der Testschaufel aus der folgenden Formel berechnet werden:

$$A = \frac{A_m \sqrt{T_m}}{t_r \sqrt{T_u}} :$$

wobei:

- A die effektive Strömungsfläche bzw. der effektive Strömungsquerschnitt der Testdüse ist,
- A_m die effektive Strömungsfläche bzw. der effektive Strömungsquerschnitt der Master-Düse ist,
- t_m die Ausblas-Zeit der Master-Düse ist,
- T_{im} die Anfangstemperatur des Gases im Tank während des Master-Düsenlaufs ist,
- t_t die Ausblas-Zeit der Testdüse ist, und
- T_{it} die Anfangstemperatur des Gases im Tank während des Testdüsenlaufs ist.

[0026] Die Schallströmungseinrichtung der Erfindung ist dazu geeignet, den effektiven Strömungsquerschnitt bzw. die effektive Strömungsfläche des Flügels oder eines ähnlichen Hindernisses von Gasturbinenmaschinen unter Drosselbedingungen zu messen. Sie kann aus einem Behälter (Tank) bestehen, welcher ein großes Volumen komprimierten Gases aufnimmt bzw. speichert. Die Schaufel kann in einer Haltebefestigung installiert sein, die in dem Austragrohr sehr nahe am Behälterauslass angebracht ist. Das Austragrohr kann in einem Schalldämpfer enden. Der Behälter und das Austragrohr können mit empfindlichen Druckwandlern und Temperatursonden versehen sein. Ein Computersystem kann bereitgestellt sein, um das Ausgangssignal von den Wandlern/Sonden mit sehr hoher Abtastrate abzutasten.

[0027] Nachdem er unter Druck gesetzt wurde, kann der Tank seinen unter Druck stehenden Gasinhalt ausblasen (blowdown) lassen, indem ein schnell wirkendes Ein/Ausschaltventil in der Austragöffnung geöffnet wird. Während das Computersystem Druck- und Temperaturdaten aufnimmt, vermag es einen eingebauten Zeitgeber zu aktivieren, wenn der Tankdruck einen Soll-Anfangsdruck erreicht und den Zeitgeber zu deaktivieren, wenn der Tank auf seinen Enddruck ausgeblasen wurde. Bevorzugt werden die voreingestellten Tankanfanges- und -enddrücke ausreichend hoch gehalten, um sicherzustellen, dass das kritische Druckverhältnis während des gesamten Ausblasvorgangs nicht überschritten wird, wodurch eine Schall(geschwindigkeits)strömung bzw. ein Schall(geschwindigkeits)durchsatz gewährleistet wird.

[0028] Wenn das Volumen des Tanks im Voraus bekannt ist, kann die Schaufelfläche bzw. Schaufelquerschnittsfläche abgeleitet werden, indem die geeigneten thermodynamischen Formeln verwendet werden, wenn die Anfangstemperatur des Gases im Tank, der Anfangsdruck des Gases im Tank, der Enddruck des Gases im Tank und die Ausblaszeit bekannt sind. Das Volumen des Tanks kann unter Verwenden von gravimetrischen oder volumetrischen Verfahren gemessen werden.

[0029] Wenn das Volumen des Tanks nicht bekannt ist, kann die Schaufelfläche bzw. Schaufelquerschnittsfläche durch einen wechselseitigen Strömungsvergleich mit einer Master-Schaufel (oder -Düse) mit im vornherein bekannter Fläche bzw. Querschnittsfläche gewonnen werden. Wenn beide Schaufeln mit identischen Anfangs- und Endtankdrücken angeströmt werden, sind die Fläche bzw. Querschnittsfläche und die Ausblaszeit der Testschaufel direkt proportional zu der Fläche bzw. Querschnittsfläche und der Ausblaszeit der Master-Schaufel. Eine Temperaturkorrektur kann angewendet werden, um kleine Differenzen der Anfangsgastemperatur zwischen dem Test-Schaufelllauf und dem Master-Schaufelllauf auszugleichen.

Ausführungsbeispiel

[0030] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nunmehr beispielhaft unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erläutert: in diesen zeigen:

[0031] [Fig. 1](#) eine schematische perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, und

[0032] [Fig. 2](#) einen Teil der Vorrichtung von [Fig. 1](#) in Explosionsansicht.

[0033] Bei einem Bevorratungstank **1** handelt es sich um einen ASME-zertifizierten Druckbehälter, der als Vorratsbehälter für das große Volumen an komprimiertem Gas dient, das für den Strömungs- bzw. Durchsatztest benötigt wird. Der Tank ist in bekannter Weise mit einem Einlaßventil, einem Auslaßflansch, einer Einstiegsöffnung, einem Sicherheitsventil, einem Entleerungsventil und verschiedenen Gewindeanschlüssen für Druckwandler und Temperatursonden versehen. Das Einlaßventil ist durch ein Rohr mit einer Quelle reinen trockenen komprimierten Gases verbunden, d.h. mit einem Druckluftsystem oder mit Tanks mit komprimiertem Gas.

[0034] Ein Haupttankabsperrventil **2** wird verwendet, um den Bevorratungstank während der Installation der Testkomponente bzw. der Master-Düse zu isolieren. Es beseitigt die Notwendigkeit zum vollen Druckabbau im Tank, wenn die Testschaufel oder die Master-Düse ausgetauscht wird, wodurch das restliche komprimierte Gas im Tank am Ende eines Tests bevorratet gehalten wird.

[0035] Rohrspulen **3** dienen als Austragrohrleitung, welche die Strömung des großen Gasvolumens in einen Schalldämpfer leitet. Sie sind durch eine Rückzugeinrichtung bzw. einen Gurt strukturell getragen und mit einer solchen versehen, die bzw. der eine axiale Bewegung des Austragrohrs fördert, um zu der Montagestirnplatte **4** der Testschaufel **7** Zutritt gewinnen zu können. Außerdem liegen Gewindeanschlüsse für Temperatursonden T und Druckwandler P vor. Ein Entlüftungsventil wird verwendet, um den Druck in dem Testschaufelabschnitt freizugeben. Die Enden der Rohrspulen werden als Montageflansch für das Absperrventil **2**, die Stirnplatte **4** und ein Ein/Ausschaltventil **9** verwendet.

[0036] Die Stirnplatte **4** dient als gemeinsame Montagefläche für verschiedene Schaufelhaltebefestigungen **5**.

[0037] Die Schaufelhaltebefestigung **5** ist zum Festlegen der Testschaufel (oder der Master-Düse) **7** im Zentrum der Austragrohrleitung zuständig. Es befinden sich mehrere Haltebefestigungen im Einsatz. Jede Haltebefestigung ist dazu ausgelegt, mit der Abmessung der Schaufel übereinzustimmen. Die Haltebefestigungen sind mit Dichtungen versehen, um eine Gasleckage durch die Paßflächen der Haltebefestigung und der Testkomponente zu verhindern.

[0038] Mit Dichtungen versehene Blindplatten **6** mit geeigneten Konfigurationen werden verwendet, um jegliche Öffnung der Testkomponente abzudichten, die sich nicht im Strömungspfad des Gases befindet.

[0039] Klemmen bzw. Klammern **8** werden verwendet, um die Testschaufel **7** an der Haltebefestigung **5** zu befestigen.

[0040] Das schnell wirkende Ein/Ausschaltventil **9** steuert den Ausblasvorgang des Haltetanks **1**. Es wird durch ein pneumatisches Betätigungsorgan betätigt, welches das rasche Öffnen und rasche Schließen des Ventils fördert.

[0041] Der Schalldämpfer **10** unterdrückt das durch die Schall(geschwindigkeits)strömung erzeugte Geräusch. Da er den Punkt der endgültigen Austragung in die Atmosphäre bildet, muß der Schalldämpfer an einem sicheren Ort, bevorzugt außerhalb des Gebäudes installiert werden.

[0042] Die Druckwandler P und Temperatursonden T messen den Druck und die Temperatur des Gases im Tank **1** und im Austragrohr **3**. Ausgangssignale von den Wandlern werden zu dem Computersystem **11** über abgeschirmte Kabel übertragen.

[0043] Das Computersystem **11** steuert den hauptsächlichlichen Betrieb der Schall(geschwindigkeits)strömungs(meß)einrichtung. Es weist eine Hardware und Software zum Signalaufbereiten auf, zur raschen Datenaquisition, Datenreduktion, Datenspeicherung und zum Datenausdruck. Es sendet außerdem das Aus-

gangssignal, welches das Absperrventil **2** und das Ein/Ausschaltventil **9** betätigt.

[0044] Im Gebrauch der vorstehend genannten Vorrichtung startet die Betriebssequenz mit der Installation der Testschaufel auf der Einrichtung. Dies wird durch Installieren der Blindplatten **6** an der Testschaufel **7**, dem Befestigen der Schaufel **7** an der Haltebefestigung **5** unter Verwendung von Klemmen **8**, Anbringen der Haltebefestigung **5** an der Stirnplatte **4**, Rückziehen der Rohrspule **3** in ihre geschlossene Stellung und Sichern der Flanschverbindung mit Muttern und Bolzen bewirkt.

[0045] Der Tank wird daraufhin unter Druck gesetzt, indem das Tankeinlaßventil geöffnet wird. Das Computersystem **11** überwacht den Druck und die Temperatur in dem Tank und dem Rohr während des Beladevorgangs. Sobald der erforderliche Tankdruck erreicht ist, wird das Tankeinlaßventil geschlossen und das Tankauslaßabsperrventil **2** wird geöffnet.

[0046] Der Ausblasvorgang startet durch Öffnen des Ein/Ausschaltventils **9** über einen Startschalter in dem Computersystem **11**. Das Computersystem **11** registriert Temperatur- und Druckdaten während des Ausblasens. Es schaltet außerdem seinen eingebauten Zeitgeber ein, sobald der vorprogrammierte anfängliche Tankdruck erreicht ist, und es schaltet den Zeitgeber aus, wenn der vorprogrammierte Endtankdruck erreicht ist, wodurch das Ende des Ausblasvorgangs angezeigt ist. Das Computersystem schließt daraufhin das Ein/Ausschaltventil **9**.

[0047] Aus den aquirierten Daten berechnet das Computersystem **11** die effektive Strömungs- bzw. Durchsatzfläche bzw. -querschnittsfläche der Schaufel und druckt das Testergebnis aus.

[0048] Die Testschaufel wird aus der Einrichtung durch Schließen des Absperrventils **2** entfernt, der Testabschnitt wird durch Öffnen des Lüftungsventils in dem Austragrohr **3** druckfrei gemacht, die Flanschverbindung am Testabschnitt wird demontiert, das Austragrohr **3** wird geöffnet, um zu der Testschaufel **7** Zutritt zu gewinnen, und die Testschaufel wird von der Stirnplatte **4** abgenommen.

[0049] Der vorstehend genannte Betrieb wird zweimal wiederholt, wenn ein wechselseitiger Vergleich mit einer Master-Düse durchgeführt wird.

[0050] Aus Vorstehendem erschließt sich, daß die vorliegende Erfindung die Erfassung der effektiven Strömungs- bzw. Durchsatzfläche bzw. -querschnittsfläche unter Schall(geschwindigkeits)strömungsbedingungen von einem Hindernis, wie etwa der Düse oder Schaufel einer Gasturbinenmaschine, ermöglicht, und zwar exakt und zuverlässig bis zu einem Grad gemessen, von dem bislang ausgegangen wurde, daß er nur mit einer teuren Anlage erfaßt werden kann, die eine kontinuierliche Schall(geschwindigkeits)strömung bzw. einen -durchsatz bereitstellt. Die Erfindung ermöglicht außerdem problemlos Vergleiche, wie etwa zum Zweck der Anpassung der Schaufelfläche bzw. der Schaufelquerschnittsfläche der Kompressorturbinen- und Triebwerksturbinenstufen einer Gasturbinenmaschine.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln des effektiven Strömungsquerschnitts eines Hindernisses (**7**) in einer Gasströmungspassage(**3**), wobei ein Gasbehälter (**1**) bereitgestellt wird, das Hindernis zur Kommunikation mit einer gesteuerten Gasströmung angeordnet wird, die von einem Vorratsbehälter (**1**) durch Strömungssteuermittel (**2, 9**) strömt, und daraufhin die Strömungssteuermittel (**9**) zum Ermöglichen einer transienten Strömung von unter Druck stehendem Gas durch das Hindernis (**7**) aus dem Vorratsbehälter betätigt werden, wobei durch Halten des Verhältnisses des Gegendrucks des Hindernisses zu dem Gasdruck in dem Vorratsbehälter unterhalb eines kritischen Werts eine Gasströmung unter Schallgeschwindigkeitsbedingungen vorübergehend an dem Hindernis aufrecht erhalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Zeitgebermittel (**11**) vorgesehen sind, um die Zeit zu messen, die erforderlich ist, bis der Druck in dem Vorratsbehälter (**1**) ausgehend von einem voreingestellten Anfangsdruck auf einen voreingestellten Enddruck fällt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Anfangs- und Enddrücke so gewählt sind, dass das kritische Druckverhältnis während der Gasströmung durch das Hindernis ausgehend von dem Vorratsbehälter nicht übertroffen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Zeitgebermittel (11) verwendet werden, um die Periode zu steuern, während welcher Gas durch das Hindernis (7) strömt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck in dem Vorratsbehälter zu Beginn und am Ende der Gasströmungsperiode gemessen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Vorratsbehälter (1) ein bekanntes Volumen aufweist und der effektive Strömungsquerschnitt des Hindernisses (7) mathematisch unter Verwendung von Messungen abgeleitet wird, die in bezug auf die Änderung des Gasdrucks in dem Vorratsbehälter während einer gemessenen Zeitperiode und eine Messung der Temperatur des Gases durchgeführt werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die effektive Strömungsquerschnittsfläche des Hindernisses (7) durch einen Vergleich der Eigenschaften der Gasströmung durch das Hindernis und der Strömung durch ein Vergleichshindernis mit bekannter effektiver Strömungsquerschnittsfläche abgeleitet wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein gemessenes Hindernis und ein Vergleichshindernis nacheinander Gegenstand einer Gasströmung mit denselben Anfangs- und Enddrücken sind, die für jede Strömung gemessen werden und verwendet werden, die effektive Strömungsquerschnittsfläche des Hindernisses zu erfassen, die Meßgegenstand ist.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die transiente Strömung eine Dauer von weniger als 80 Sekunden hat.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die transiente Strömung eine Dauer von weniger als 15 Sekunden hat.
11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Anfangsdruck in dem Vorratsbehälter (1) vor Austragen der Strömung geringer als 2758 kPa ist.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck geringer als 862 kPa ist.
13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es auf die Messung eines Gasströmungspassagenhindernisses angewendet wird, das eine effektive Strömungsquerschnittsfläche aufweist, die dafür typisch ist, was in Gasturbinenmaschinen angetroffen wird.
14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Hindernis einen Querschnitt von zwischen 6,45 und 645 Quadratzentimeter hat.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Hindernis einen Querschnitt größer als 32,3 Quadratzentimeter hat.
16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß von Strömungssteuermitteln (9) Gebrauch gemacht wird, die stromabwärts von dem Hindernis angeordnet sind.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass von Strömungssteuermitteln Gebrauch gemacht wird, die stromaufwärts von dem Hindernis angeordnet sind.
18. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es auf das Messen der Schaufel- oder Düsenquerschnittsfläche einer Gasturbinenmaschine angewendet wird.
19. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es auf das Anpassen der Schaufelquerschnittsfläche einer Kompressorturbine an diejenige einer Antriebsturbine angewendet wird.
20. Vorrichtung zum Ermitteln der effektiven Strömungsquerschnittsfläche eines Hindernisses (7) in einer Gasströmungspassage (3), aufweisend einen Vorratsbehälter (1), Mittel (2) zum in Verbindung setzen des Hindernisses mit dem Vorratsbehälter und Strömungssteuermittel (9) zum Ermöglichen einer Gasströmung durch das Hindernis ausgehend von dem Vorratsbehälter, wobei die Strömungssteuermittel (9) dazu ausgelegt sind, eine Strömung von unter Druck stehendem Gas durch das Hindernis (7) ausgehend von dem Vorratsbehälter

(1) so zu steuern, dass eine Gasströmung unter Schallgeschwindigkeitsbedingungen vorübergehend an dem Hindernis aufrechterhalten wird, und wobei die Vorrichtung außerdem Druckerfassungsmittel umfasst, um auf ein Signal anzusprechen oder ein Signal bereitzustellen, das in bezug zu dem Gasdruck in dem Vorratsbehälter steht, und Zeitgebermittel (11), die dazu ausgelegt sind, ein Signal bereitzustellen, das in bezug zu der Dauer der Gasströmung durch das Hindernis steht.

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitgebermittel (11) dazu ausgelegt sind, das Zeitintervall für einen vorbestimmten Druckabfall in dem Vorratsbehälter während der Gasströmung durch das Hindernis (7) zu messen.

22. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitgebermittel (11) dazu ausgelegt sind, die Periode zu steuern, während welcher Gas durch das Hindernis strömt.

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckerfassungsmittel dazu ausgelegt sind, Druck in dem Vorratsbehälter (1) zu Beginn und am Ende der zeitlich gemessenen bzw. zeitlich beschränkten transienten Gasströmung durch das Hindernis zu messen.

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Hindernis (7) einen Querschnitt von zumindest 6,45 Quadratzentimeter hat.

25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß das Hindernis (7) einen Querschnitt von zwischen 32,3 Quadratzentimeter und 161 Quadratzentimeter hat.

26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß das Gasströmungspassagenhindernis (7) eine effektive Strömungsquerschnittsfläche hat, die typisch dafür ist, was in Gasturbinenmaschinen angetroffen wird.

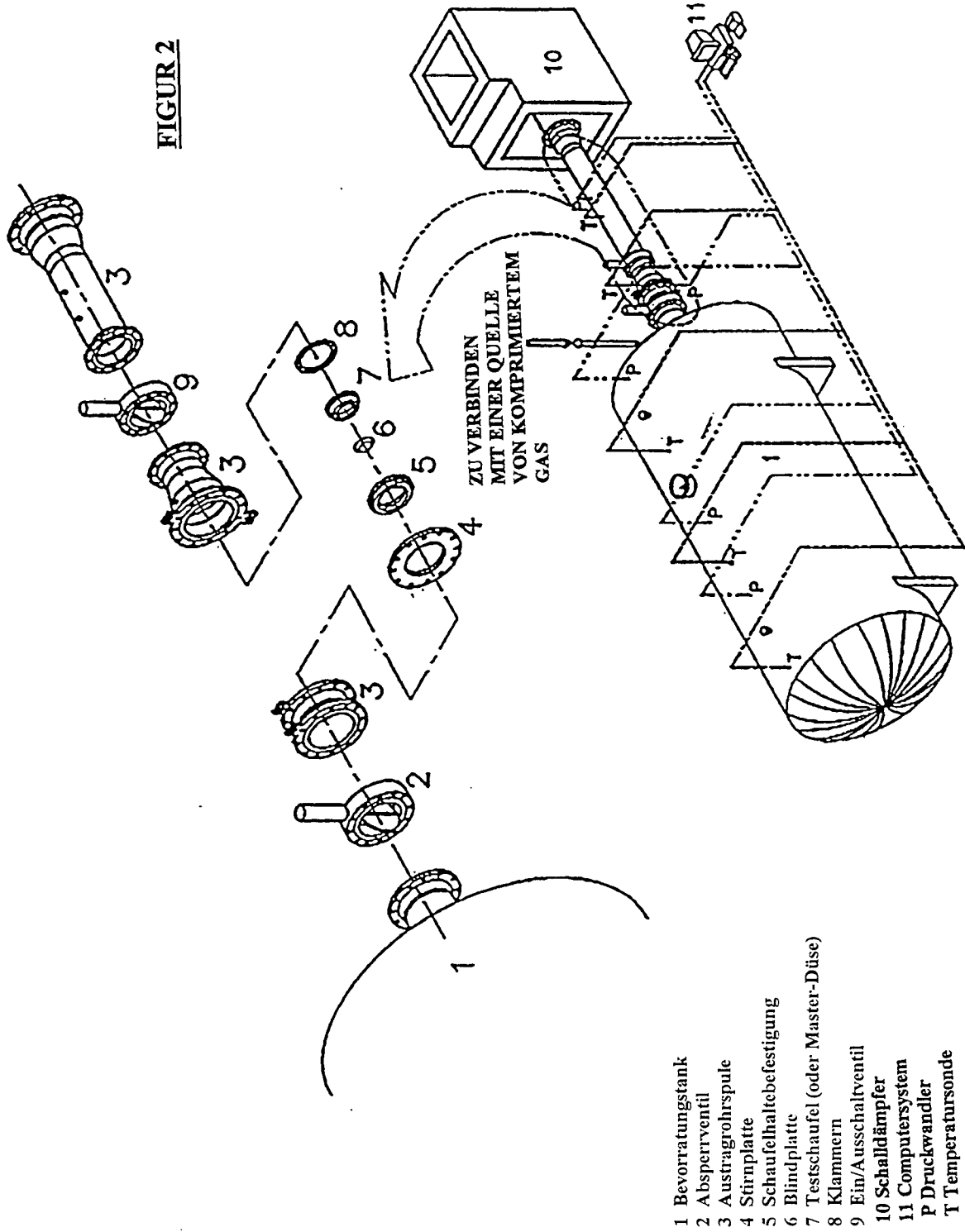
27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß der Vorratsbehälter (1) ein bekanntes Volumen hat.

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß sie Mittel (T) zum Bereitstellen eines Signals betreffend die Temperatur des Gases in dem Vorratsbehälter hat.

29. Vorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß sie Verarbeitungsmittel (1) aufweist, die programmiert sind, eine Messung in bezug auf die effektive Strömungsquerschnittsfläche des Hindernisses durch Verarbeiten von Druck-, Temperatur- und Zeitinformation abzuleiten.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



FIGUR 2

FIGUR 1 SCHALL(GESCHWINDIGKEITS)-
STRÖMUNGSEINRICHTUNG

- 1 Bevorratungstank
- 2 Absperrventil
- 3 Austragrohrspule
- 4 Stirnplatte
- 5 Schaufelhaltebefestigung
- 6 Blindplatte
- 7 Testschaufel (oder Master-Düse)
- 8 Klammern
- 9 Ein/Ausschaltventil
- 10 Schalldämpfer
- 11 Computersystem
- P Druckwandler
- T Temperatursonde