

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
14. August 2003 (14.08.2003)

PCT

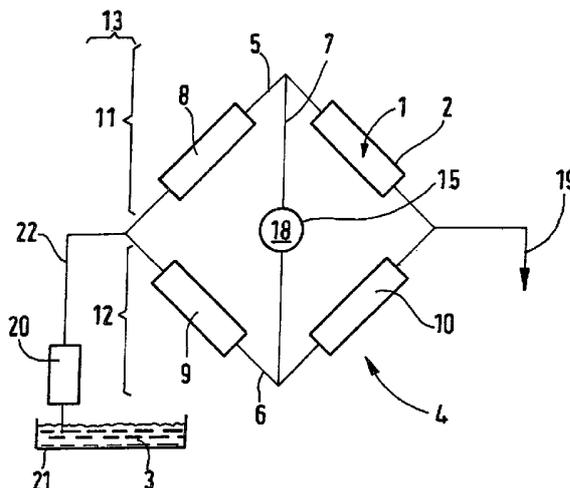
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/066264 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B23H 9/16, 9/00**
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP03/00633
- (22) Internationales Anmeldedatum:
23. Januar 2003 (23.01.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
102 04 561.5 4. Februar 2002 (04.02.2002) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **EXTRUDE HONE GMBH** [DE/DE]; Berghauser Strasse 62, 42859 Remscheid (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GOSGER, Peter** [DE/DE]; Westhausenerstr. 3, 42659 Solingen (DE). **WALTHER, Armin** [DE/DE]; Herzog-Friedrich-Str. 11a, 87600 Kaufbeuren (DE). **MATT, Patrick** [DE/DE]; An der Breche 17, 87647 Unterthingau (DE). **ERNST, Alfred** [DE/DE]; Egerlandstrasse 8, 87776 Sontheim (DE).
- (74) Anwalt: **KAHLHÖFER, HERMANN**; KNH-Patentanwält, Kahlhöfer, Neumann, Herzog, Fiesser, Karlstrasse 76, 40210 Düsseldorf (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR OBTAINING A DETERMINED FLOW RESISTANCE OF A FLOW CHANNEL BY MEANS OF A MEASURING BRIDGE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ERZIELEN EINES BESTIMMTEN DURCHFLUSSWIDERSTANDES EINES STRÖMUNGSKANALS MIT HILFE EINER MESSBRÜCKE



(57) Abstract: The invention relates to a method for obtaining a determined flow resistance of a flow channel (1), especially an opening in a component (2), said method comprising the following steps: a liquid (3) flows through the flow channel (1); a characteristic depending on the flow resistance of the flow channel (1) in the component (2) is determined; and the flow channel (1) is machined by means of a working method until said characteristic reaches a pre-determined nominal value. The inventive method is characterised in that the characteristic is determined by means of a measuring bridge (4). The inventive method and the device suitable for carrying out the same are especially characterised in that a determined flow resistance of a flow channel in components such as spray nozzles or gas turbine blades can be obtained with high precision, without having to meet especially constructional requirements relating to the structure of the device used to produce a liquid flow, or requiring means for stabilising pressure or flow rates, as has been the case until now in prior art.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 03/066264 A1



MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Das vorliegende erfindungsgemäße Verfahren zum Erzielen eines bestimmten Durchflusswiderstandes eines Strömungskanals (1), insbesondere einer Öffnung in einem Bauteil (2) umfasst folgende Schritte: ein Fluid (3) strömt durch den Strömungskanal (1); es wird eine Kenngröße bestimmt, die vom Durchflusswiderstand des Strömungskanals (1) in dem Bauteil (2) abhängt; der Strömungskanal (1) wird mit einem Arbeitsverfahren solange bearbeitet, bis die Kenngröße einen vorgegebenen Sollwert erreicht und ist dadurch gekennzeichnet, dass die Kenngröße mit Hilfe einer Messbrücke (4) bestimmt wird. Das erfindungsgemäße Verfahren sowie die zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignete Vorrichtung zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass ein bestimmter Durchflusswiderstand eines Strömungskanals in Bauteilen wie Vergaserdüsen oder Gasturbinenschaufeln mit hoher Präzision erzielt werden kann, ohne dass weder besonders bauliche Anforderungen an die Beschaffenheit der verwendeten Einrichtung zur Erzeugung eines Fluidstroms noch dass Druck oder Durchflussraten stabilisierende Mittel erforderlich sind, wie dies bislang im Stand der Technik vorgeschlagen ist.

**Verfahren und Vorrichtung zum Erzielen eines bestimmten
Durchflusswiderstandes eines Strömungskanals mit
Hilfe einer Messbrücke**

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Erzielen eines bestimmten Durchflusswiderstandes eines Strömungskanals, insbesondere einer
10 Öffnung in einem Bauteil.

Die Erfindung bezieht sich allgemein auf das Bearbeiten und Dimensionieren von Strömungskanälen, insbesondere von Öffnungen oder Mündungen, vorzugsweise von kleinen Öffnungen, bei denen es darauf ankommt, einen kritischen Durch-
15 flusswiderstand zu erzielen, wie auch die genaue Angleichung von Durchflusswiderständen bei einer Anzahl solcher Strömungskanäle.

Die Bedeutung des Strömungswiderstandes eines Strömungskanals ist allgemein bekannt. Beispiele sind unter anderem Einspritzdüsen-Endstücke für Brennstoff,
20 Vergaser-Düsen, Durchfluss von Kühlluft durch Bestandteile von Turbinen, Dosieren von Schmieröl für Präzisionslager und dergleichen. Bei vielen solcher Anwendungen hat ein genaues Zumessen von Durchflussmengen sehr große Bedeutung, bringt jedoch infolge Herstellungsbegrenzungen erhebliche Schwierigkeiten mit sich. Selbst sehr geringe Unterschiede bei den Fertigungstoleranzen können
25 große Veränderungen beim Durchflusswiderstand und bei der Strömung hervorrufen.

Des weiteren werden Teile häufig aus einem Material gegossen oder gefertigt, das wegen besonderer Eigenschaften ausgewählt ist, wie Leitfähigkeit oder Isolier-
30 wirkung für Wärme oder Elektrizität, geringes Gewicht, Ausdehnungskoeffizient beim Erwärmen oder Kühlen, Kosten usw., wobei aber ein unterschiedlicher An-

forderungsrahmen hinsichtlich der Innenfläche der Öffnung besteht. Diese besonderen Anforderungen an den inneren Durchgang lassen sich durch Plattieren oder Überziehen mit einem Metall erfüllen, das die gewünschten Eigenschaften hat. Plattieren kann durch Elektroplattieren oder stromloses (autokatalytisches) Plattieren erfolgen, während das Überziehen durch Aufdampfen unter Verwendung eines Trägergases oder eine andere derartige Technik geschehen kann. Stromloses Plattieren oder Aufdampfen ist generell zum Plattieren oder Überziehen der inneren Fläche von Gussteilen, von Bohrungen und dergleichen vorzuziehen, wo sekundäre Kathoden für ein gleichmäßiges Elektroplattieren sehr schwer zu platzieren sind.

Teile mit Durchflussöffnungen für ein Fluid werden durch mannigfaltige Gieß- und maschinelle Bearbeitungsoperationen hergestellt. So werden beispielsweise Präzisions-Formguss-Verfahren hoher Güte für die Fertigung solcher Teile angewendet. Nichtsdestoweniger ergeben sich bei derartigen Teilen gewisse Unterschiede in den Abmessungen, insbesondere hinsichtlich der Wandstärken, die auf geringe Fluchtungsfehler beim Kern oder auf eine Versetzung des Kernes zurückzuführen sind, weiterhin auch Schwankungen in der Oberflächenbeschaffenheit, einschließlich der Rauigkeit der Oberfläche, von Grübchen, Scharten, Rillen, Blasen oder Positivmetall. Im Extremfall kann ein sehr kleiner Riss im Kern zu einer dünnen Wand führen, die in einen inneren Durchlass hinein vorsteht. Alle diese Faktoren können den Strom des Fluids wesentlich verändern.

Gegenwärtig angewendete Bearbeitungsverfahren, wie elektrische Erosions-Bearbeitung und Bohren mittels Laser oder weniger übliche Techniken wie Bohren mittels Elektronenstrahls, elektrischem Strom und sog. STEM-Bohren (eine ECM-Technik, welche ein säurehaltiges Fluid nutzt) sind nicht hinreichend genau, als dass sie die Entstehung von wesentlichen Veränderungen beim Durchflusswiderstand vermeiden könnten. Sogar das genaueste dieser Verfahren, die Elektroerosions-Bearbeitung, wird keinen perfekt gleichmäßigen Durchflusswiderstand

ergeben, weil die Länge eines inneren Durchlasses infolge des angewandten Bearbeitungsverfahrens variieren kann, was Anlass zu Schwankungen der gesamten Lochlänge und des Durchflusswiderstandes ist, ungeachtet der Gleichmäßigkeit des Lochdurchmessers. Des weiteren sind ungleichmäßige Bedingungen bei der Elektroerosions-Bearbeitung unvermeidbar und können zu Änderungen hinsichtlich der Größe, der Form, des Oberflächenendzustandes und dem Zustand am Rand des Loches führen.

Zu plattierende oder zu überziehende Öffnungen müssen in ausreichendem Maße überdimensioniert werden, um eine entsprechende Dicke der Plattierung oder des Überzuges zuzulassen, und die endgültige Genauigkeit hängt von den exakten Berechnungen für die Plattierungs- oder Überzugsraten und von der Genauigkeit bei den Bohr- und Plattierungsoperationen ab. Das mit der gegenwärtigen Technologie erzielbare Produkt hat für die meisten industriellen hochgenauen Anwendungen keine ausreichende Gleichmäßigkeit. Somit ergibt sich eine Einschränkung der Wahlmöglichkeiten des Herstellers zur Fertigung des gesamten Teiles aus Materialien mit den für die Öffnung erwünschten Eigenschaften oder zum Einbetten gebohrter Teile mit vorgeschriebenen Eigenschaften in zu deren Aufnahme ausgebildeten Gussstücken. Diese Techniken haben die mit dem Bohren verbundenen Genauigkeitsprobleme, wie oben erörtert wurde. Das Plattieren von Öffnungen, die in ein Material gebohrt sind, mit Metall unterschiedlicher Eigenschaften oder sogar mit dem gleichen Metall in der Weise, dass sich ein Genauigkeits-Strom ergibt, eröffnet bei der Herstellung vieler Teile neue Wahlmöglichkeiten.

25

In vielen Bereichen werden die den Bohroperationen innewohnenden Abweichungen notwendigerweise in weiten Grenzen hingenommen, und die damit verbundenen Kompromisse hinsichtlich der konstruktiven Freiheit, der Ausführung und der Leistung werden als unvermeidbar in Kauf genommen. Beispielsweise erfordert die Abgabe von Brennstoff-Chargen bei Verbrennungskraftmaschinen

30

durch Druck-Einspritzung des Brennstoffs die Zumessung des Stromes durch Düsen. Eine größere Genauigkeit bei der Regulierung des Stromes wird eine höhere Ausnutzung des Brennstoffs, Wirtschaftlichkeit und Genauigkeit des Arbeitens der Maschine ermöglichen. Zur Zeit basiert die Ausbildung solcher Brennstoff-

5 Zumesssysteme oft auf der Messung des tatsächlichen Durchflusswiderstandes und einer Aufteilung der Lagerbestände in Bereiche von Durchfluss-Parametern, um wenigstens annähernd ein Zueinanderpassen von Teilen in einem Lagerbestand innerhalb eines Bereiches der Abweichung von vorgegebenen Toleranzen zu erreichen. Ein solches Vorgehen ist wegen der erheblichen Lagererfordernisse

10 außerordentlich aufwendig. Außerdem fällt eine wesentliche Menge an Teilen aus dem Bereich der zulässigen Abweichungen heraus und muss mit großen Kosten nachgearbeitet werden oder ausgeschieden werden.

In der Vergangenheit wurden Brennstoff-Einspritzdüsen so gefertigt, dass die kritischen Zumessöffnungen für die Strömung durch Elektroerosions-Bearbeitung

15 gebildet werden. Weil eine Vielzahl von Bauteilen immer kleiner dimensionierte Strömungskanäle aufweisen, welche zu kalibrieren, d.h. auf einen bestimmten Durchflusswiderstand einzustellen sind, kommt vermehrt der Homogenisierung im wesentlichen der Eintrittskante des Strömungskanals eine immer größere Bedeutung zu, denn je kleiner ein Strömungskanal dimensioniert ist, desto weniger

20 ist ein vorrichtungstechnisches Vorgehen ermöglicht.

Ein anderes Beispiel, bei dem ein Durchflusswiderstand bei einer Öffnung von besonders kritischer Bedeutung ist, stellt die Schaffung eines Kühlluftstromes

25 durch Gasturbinen-Bauteile, wie Turbinenschaufeln, dar. Im Präzisionsguss hergestellte Turbinenschaufeln sind typischerweise so gegossen oder gebohrt (mittels Laser-Bohren, sog. STEM-Bohren oder Elektroerosions-Bearbeitung), dass sich eine Anzahl von Löchern ergibt, die typischerweise einen Nenndurchmesser von ungefähr 0,3 mm bis 0,8 mm haben und die von dem inneren Durchlass bis in die

30 Nähe der Profilvorderkante, der Profilhinterkante und zu irgendeiner Stelle längs

des Schaufelprofils verlaufen. Kühlluft wird aus dem Inneren durch die zahlreichen Löcher hinaus in den eine hohe Temperatur aufweisenden Verbrennungsgasstrom gedrückt, um eine Kühlung der Schaufel zu erzielen. Bisweilen bemessen Löcher in inneren Wänden der Schaufel die Verteilung der Kühlluft. Es leuchtet
5 ein, dass Änderungen im Durchflusswiderstand unterschiedliche Kühlwirkungen zur Folge haben können, was zu heißen Stellen führen kann, welche das Wärme-gleichgewicht innerhalb der Komponenten und der Maschine selbst verändern und sowohl die Leistung als auch die Lebensdauer der Komponente beeinflussen können. Die Anwendung von Kühlluft sollte jedoch gering gehalten werden, weil eine
10 übermäßige Verwendung den Wirkungsgrad der Maschine dadurch verringert, dass dem Kompressorteil Energie „gestohlen“ wird. Eine präzisere Einregulierung des Durchflusswiderstandes dieser Durchlässe kann einen erheblichen Nutzungsgewinn beim Einsatz solcher Komponenten sowie der Einheiten, in denen sie eingebaut sind, erbringen.

15

Zusätzlich zu Köpfen für Brennstoff-Einspritzdüsen, Vergaser-Düsen, zum Durchfluss von Kühlluft durch Bauteile von Turbinen und zum Zumessen von Schmieröl für Lager gibt es zahlreiche andere Einsätze von Durchlässen oder Öffnungen zur Strömungsregulierung oder -steuerung, bei denen die vorliegende Er-
20 findung anwendbar ist.

Aus der EP 0 441 887 B1 ist bereits ein Verfahren zur Behandlung von Öffnungen zur Erzielung eines bestimmten Durchflusswiderstandes bekannt, bei dem ein Arbeitsfluid, mit dem eine Öffnung bearbeitet wird, durch eine Öffnung fließt und
25 bei konstantem Druck (alternativ: konstante Durchflussrate) die sich im Verlauf der Bearbeitung ändernde Durchflussrate (alternativ: ändernder Druck) gemessen wird. Sobald die Durchflussrate einen bestimmten Wert erreicht bzw. der Druck auf einen bestimmten Wert absinkt, wird das Bearbeitungsverfahren abgebrochen. Zwar können mit diesem Verfahren Durchflusswiderstände der Öffnung hinsicht-

lich eines Fluids genau eingestellt werden, doch erweist sich die Vorgabe eines konstanten Druckes bzw. einer konstanten Durchflussrate als aufwendig.

Damit ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Verfahren zum Erzielen eines bestimmten Durchflusswiderstandes eines Strömungskanals sowie
5 eine verbilligere, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens geeignete, Vorrichtung zu schaffen, mittels welcher ein Strömungskanal eines Bauteils präzise und mit insbesondere baulich weniger aufwendigen Mitteln als im Stand der Technik vorgeschlagen hinsichtlich seines Durchflusswiderstandes eingestellt
10 werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen gemäß Anspruch 1 sowie durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen gemäß Anspruch 13 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen, die jeweils
15 einzeln angewandt oder beliebig miteinander kombiniert werden können, sind Gegenstand der jeweilig abhängigen Ansprüche.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Erzielen eines bestimmten Durchflusswiderstandes eines Strömungskanals, insbesondere einer Öffnung in einem Bauteil,
20 umfasst folgende Schritte: ein Fluid strömt durch den Strömungskanal; es wird eine Kenngröße bestimmt, die vom Durchflusswiderstand des Strömungskanals in dem Bauteil abhängt; der Strömungskanal wird mit einem Arbeitsverfahren solange bearbeitet, bis die Kenngröße einen vorgegebenen Sollwert erreicht; und ist dadurch gekennzeichnet, dass die Kenngröße mit Hilfe einer Messbrücke be-
25 stimmt wird.

Die Bestimmung der Kenngröße mit Hilfe einer Messbrücke hat den Vorteil, dass unabhängig von Fluktuationen eines Druckes oder einer Durchflussrate des Fluids die Kenngröße präzise festgestellt werden kann. Insbesondere bei Abgleich der
30 Messbrücke und der damit verbundenen stromlosen Messung spielen Fluktuation,

wie sie beispielsweise von einer Kolbenpumpe hervorgerufen werden, keine Rolle. Damit sind Mittel, die den Druck im bzw. die Durchflussrate des Fluids stabilisieren, überflüssig. Sobald die Kenngröße den Sollwert erreicht hat wird das Arbeitsverfahren abgebrochen. Hierzu ist eine Regelung zweckmäßig.

5

Der Begriff Messbrücke ist der Elektrotechnik entlehnt und stellt in ihrer einfachsten Ausführungsform vier komplexwertige Impedanzen in Beziehung.

Komplexwertige Impedanzen sind Widerstände, die neben dem reellen Widerstand (z.B. der sog. Ohmschen Widerstand für die Fluidodynamik, bei dem der über einen Strömungswiderstand abfallende Druck proportional zur Durchflussrate ist) auch imaginäre Anteile, die durch Trägheitswiderstände beziehungsweise Kompressionswiderstände hervorgerufen werden, und sich in einem Phasenwinkel zwischen dem Druck und der Durchflussrate niederschlagen.

15

Hilfreich zum Verständnis der Messbrücke in der Strömungsmechanik bzw. Fluidodynamik ist die Analogie zur Elektrotechnik, wobei der in einem Fluid herrschende Druck einem Spannungspotential und die Durchflussrate eines Fluids der Strömstärke des elektrischen Stromes entspricht.

20

Mit dem Abgleich der Messbrücke und der stromlosen Messung kann die Kenngröße, mit deren Hilfe der Durchflusswiderstand des Strömungskanals bestimmt wird, sehr genau bestimmt werden. In der Praxis werden Genauigkeiten je nach verwendeten Detektoren von etwa einem Tausendstel (0,1 %) erreicht.

25

Fehler bei der Bestimmung der Kenngröße in einer Messbrücke können dadurch auftreten, dass sich die Dichte des Fluids beispielsweise durch Bläschenbildung ändert, was jedoch bei den für die betrachteten Arbeitsverfahren verwendeten Drücke von mindestens 20 bar, insbesondere von mindestens 50 bar, besonders bevorzugt bei über 70 bar bei Bearbeitungen von Bauteilen auf üblicherweise aus

30

Edelstahl gefertigten Vorrichtungen sowie bei den üblichen Temperaturen von weniger als 100° C bei der üblichen Verwendung von Wasser als Fluid unkritisch ist.

- 5 Alternativ hierzu wird erfindungsgemäß bevorzugt ein mittlerer Bearbeitungsdruck zwischen 3 bis 8 bar, vorzugsweise 4 bis 6, insbesondere 5 bar vorgeschlagen, womit in vorteilhafter Weise je nach gewähltem Druck besondere wie auch gewöhnliche Kunststoffe vorrichtungstechnisch Verwendung finden können, also insbesondere die Leitungen der Brücke beispielsweise aus handelsüblichen PVC-
- 10 Rohren gefertigt sein können.

Die stromlose Messung erlaubt eine Messung der Kenngröße unabhängig von Fluktuationen der Pumpe, die das Fluid durch die Messbrücke und den Strömungskanal pumpt. Umgekehrt bedeutet dieses, dass auch Pumpen verwendet

15 werden können, die hinsichtlich ihrer Förderkonstanz bzw. ihrer Druckstabilität keinen großen Anforderungen genügen müssen. Durch die Verwendung einer abgeglichenen Messbrücke werden Mittel, die den Druck im oder die Durchflussrate des Fluids stabilisieren, überflüssig. Damit wird auf effiziente Weise eine Kenngröße mit hoher Präzision bestimmt, mit der ein bestimmter Durchflusswiderstand eines Strömungskanals präzise einjustiert werden kann.

20

Erfindungsgemäß bevorzugt wird während einer Bearbeitungspause gemessen, d.h. in Zeiträumen von z.B. 3 bis 5 Sekunden, in welchen keine elektrische Spannung zwischen Kathode und dem zu kalibrierenden Bauteil anliegt und Material

25 abgetragen wird, kann der Bearbeitungsprozess in vorteilhafter Weise beeinflusst werden. Insbesondere wird vorgeschlagen, zusätzlich auch die Kathode(n) während der Bearbeitungspausen aus den Strömungskanälen kurzfristig zu entfernen, um die sich während einer Bearbeitung ändernde Charakteristik des Fluids hinsichtlich seines Durchflusses einerseits sowie hinsichtlich seiner Reaktion zu Eisenhydroxid und Wasserstoff andererseits zu eliminieren.

30

Geeigneterweise wird der Sollwert dadurch vorgegeben, dass die in der Messbrücke vorhandenen Komponenten hinsichtlich ihrer Widerstände, bzw. ihrer Impedanzen, derart ausgewählt werden, dass beim Erreichen eines bestimmten Durchflusswiderstandes die Messbrücke abgeglichen ist.

Der Strömungskanal wird mit einem Arbeitsverfahren bearbeitet, bis die Kenngröße einen vorgegebenen Sollwert erreicht. Das Arbeitsverfahren zur Bearbeitung des Strömungskanals wird Vorteilhafterweise aus der Gruppe chemische Bearbeitung, hydroabrasive Bearbeitung, mechanische Bearbeitung, elektrochemische Bearbeitung (ECM), Elektroerosions-Bearbeitung, Elektroplattieren, stromloses Plattieren, Beschichten, und Aufdampfen ausgewählt. Mit diesen Arbeitsverfahren können kleine Strömungskanäle mit Öffnungsdurchmessern von wenigen Zehntel Mikrometern in Verbindung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren präzise bearbeitet und eingestellt werden, wobei der Strömungskanal in seinen geometrischen Abmaßen so verändert wird, dass je nach Wahl des Arbeitsverfahren der Durchflusswiderstand während der Bearbeitung zu- oder abnimmt, und wobei mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens Durchflusswiderstände eines Strömungskanals, beispielsweise von Vergaserdüsen oder Gasturbinenbauteile präzise mit Toleranzen von besser 1 % eingestellt werden können.

Vorteilhafterweise wird eine nach dem Prinzip einer Wheatstoneschen Brücke aufgebauten Messbrücke verwendet, bei welcher der Strömungskanal mittels einer ersten Leitung mit einem ersten Strömungswiderstand zu einer ersten Reihenschaltung und ein zweiter Strömungswiderstand mittels einer zweiten Leitung mit einem dritten Strömungswiderstand zu einer zweiten Reihenschaltung verbunden werden, und bei welcher die erste und die zweite Reihenschaltung zu einer Parallelschaltung verschaltet werden, wobei ein Fluid durch die Parallelschaltung strömt und als Kenngröße die Druckdifferenz des Fluids zwischen der ersten Leitung und der zweiten Leitung und/oder eine Flussrate in einer dritten Leitung,

welche die erste Leitung mit der zweiten Leitung verbindet, und/oder die Kombination aus beiden bestimmt wird.

Die Wheatstonesche Brücke stellt eine Grundvariante der Messbrücken dar, wobei
5 die verwendeten Komponenten ein Ohmsches Widerstandsverhalten zeigen. Mit dem Begriff Strömungswiderstand ist hier ein Bauteil zu verstehen, der die physikalische Eigenschaft eines Durchflusswiderstandes aufweist.

Die Analogie der Fluid- bzw. Hydrodynamik zur Elektrotechnik mit einem Ohmschen Widerstand ist durch den Umstand begrenzt, dass ein nicht-lineares Verhalten von Widerständen in der Hydrodynamik aufgrund von Turbulenzen und Wirbeln vergleichsweise früh einsetzt, so dass der Durchflusswiderstand eines Strömungswiderstandes beziehungsweise eines Strömungskanals schon bei mäßigen Durchflussraten ein nichtlineares Verhalten zeigt. Insbesondere steigt beim Einsetzen von Wirbeln (üblicherweise bei einer Reynoldszahl von etwa 1000) der
10 Durchflusswiderstand bei zunehmender Durchflussrate des Fluids überproportional stark an. Damit sind Strömungswiderstände in der Hydrodynamik nicht ohne weiteres Ohmschen Widerständen in der Elektrik gleichzusetzen. Jedoch ist es möglich, in einem Bereich um eine mittlere Durchflussrate beziehungsweise um
15 einen mittleren Druck, den Durchflusswiderstand zu linearisieren, so dass trotzdem in diesem Bereich mit geeignet angepassten Widerstandsparametern die Analogie zum Ohmschen Widerstand aufstellbar ist.
20

Bei der abgeglichenen Wheatstoneschen Brücke ist der Quotient aus dem Durchflusswiderstand des dritten Strömungswiderstand und dem Durchflusswiderstand
25 des zweiten Strömungswiderstand gleich dem Quotienten aus Durchflusswiderstand des Strömungskanals und Durchflusswiderstand des ersten Strömungswiderstand. Im abgeglichenen Zustand verschwindet die Druckdifferenz des Fluids zwischen der ersten Leitung und der zweiten Leitung beziehungsweise ver-

schwindet die Flussrate in einer dritten Leitung, welche die erste Leitung mit der zweiten Leitung verbindet.

Dieses Verschwinden der Druckdifferenz beziehungsweise der Flussrate unabhängig von der Gesamtflussrate, die durch die gesamte Parallelschaltung fließt, wird allein durch die Verhältnisse der jeweiligen Durchflusswiderstände bewirkt. Werden die drei Strömungswiderstände vorgegeben, kann mit Hilfe des Abgleichzustands mit hoher Präzision festgestellt werden, wann der gewünschte Durchflusswiderstand des Strömungskanals erzielt ist. Dabei wird der Strömungskanal während der Bestimmung der Kenngröße mit Hilfe der Messbrücke mit einem Arbeitsverfahren solange bearbeitet, bis die Kenngröße verschwindet. Geeigneterweise werden als Detektoren für die Kenngröße Detektoren eingesetzt, die insbesondere bei verschwindender Kenngröße eine hohe Auflösung haben.

Damit ist die Präzision des Verfahrens zum Erzielen eines bestimmten Durchflusswiderstandes allein durch die Konstanz der Durchflusswiderstände der Strömungskanäle sowie durch das Auflösungsvermögen des Detektors bestimmt. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann der Durchflusswiderstand eines Strömungskanals mit einer Präzision von etwa einem Tausendstel (0,1 %) eingestellt werden.

Vorteilhafterweise wird der Sollwert für eine vorgebbare mittlere Durchflussrate beziehungsweise für einen vorgebbaren mittleren Druck bestimmt. Dieses ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn mittlere Durchflussraten beziehungsweise mittlere Drücke betrachtet werden, bei denen der Durchflusswiderstand des Strömungskanals ein nichtlineares Verhalten zeigt. Durch Vorgabe einer mittleren Durchflussrate beziehungsweise eines mittleren Druckes werden Fehler vermieden, die sich aus dieser Nichtlinearität ergeben könnten.

In einer besonderen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Sollwert mit Hilfe eines Master-Objekts bestimmt. Dazu wird der Strömungskanal durch das Masterobjekt ausgetauscht und anschließend die Kenngröße bestimmt. Mit Hilfe des Masterobjektes wird ein gewünschter Durchflusswiderstand und damit der Sollwert für die Kenngröße vorgeben. Im Laufe des Verfahren wird der Strömungskanal solange bearbeitet, bis die Kenngröße und damit der Durchflusswiderstand des Strömungskanal genau dem des Master-Objekts entspricht.

Vorteilhafterweise ist mindestens ein Widerstand aus der Gruppe erster Strömungswiderstand, zweiter Strömungswiderstand und dritter Strömungswiderstand variierbar. Durch die Variierbarkeit wenigstens eines Widerstandes der drei Strömungswiderstände kann ein bestimmter Sollwert vorgegeben werden, der dann erreicht ist, wenn das Bauteil solange bearbeitet ist, dass der Zustand des Abgleichs der Messbrücke erreicht ist. Beispielsweise wird der Durchflusswiderstand wenigstens eines Strömungswiderstandes so variiert, dass die Messbrücke mit dem Master-Objekt abgeglichen ist. Durch die Variierbarkeit wird gewährleistet, dass die Messbrücke für verschiedene Sollwerte geeignet ist. Insbesondere können hiermit auf einfache Weise verschiedene Strömungskanäle mit unterschiedlichen Durchflusswiderständen auf einfache und schnelle Weise einjustiert werden.

Die Variierbarkeit eines Widerstandes eines Strömungswiderstandes kann dadurch bewirkt werden, dass der Öffnungsquerschnitt des Strömungswiderstandes für das Fluid variiert wird. Dabei kann der freie Querschnitt einer einzelnen Öffnung wie die Anzahl einer Mehrzahl parallel verschalteter Öffnungen verringert beziehungsweise vergrößert werden.

In jedem Fall ist es vorteilhaft, wenn der variierbare Widerstand so vorgebar ist, dass die Messbrücke abgeglichen ist, sobald der gewünschte Sollwert des Strömungskanals erreicht ist. Hiermit wird der Abgleichzustand der Messbrücke vor-

gegeben. Eine stromlose Messung erlaubt eine hohe Präzision bei der Einstellung des Strömungskanals.

Es ist von Vorteil, wenn der variable Widerstand mit Hilfe eines Master-Objektes vorgegeben wird, indem das Master-Objekt an die Stelle des Strömungskanals gesetzt wird und durch Einstellen des variablen Widerstands die Messbrücke abgeglichen wird. Hiermit wird erreicht, dass ein Strömungskanal eingestellt werden kann, ohne dass eine aufwendige Datenverarbeitung erforderlich ist. Das Master-Objekt stellt ein Vergleichsobjekt dar, mit dem der Sollwert bestimmt und das Arbeitsverfahren solange durchgeführt wird, bis der Strömungswiderstand des Strömungskanals den gewünschten Durchflusswiderstand aufweist.

Für das erfindungsgemäße Verfahren können als Fluid elektrolytische Lösungen, korrosive Fluide, dielektrische Fluide, Säuren, Laugen und/oder Trägergase verwendet werden. Mit derartigen Fluiden können Strömungskanäle, wie z.B. Öffnungen oder andere, schwer zugängliche hohle Räume auf vorteilhafte Weise von innen her bearbeitet werden.

Vorteilhafterweise werden die Kenngrößen mit Hilfe eines Lockin-Verfahrens bestimmt. Dazu wird der Druck des durch den Strömungskanal fließende Fluids und/oder die durch den Strömungskanal fließende Durchflussrate mit einer Modulationsfrequenz moduliert, und die Kenngröße bei der entsprechenden Modulationsfrequenz frequenzselektiv analysiert und verstärkt. Zur Erzeugung der Modulation wird vorteilhafterweise die Pumpe verwendet, die für die Beförderung des Fluids eingesetzt wird. Beispielsweise gibt eine Kolbenpumpe durch ihre Drehfrequenz eine Modulationsfrequenz vor. Mit Hilfe des Lockin-Verfahrens lässt sich das Rauschen der Detektoren und/oder der Elektronik (z.B. thermisches Rauschen) erheblich unterdrücken. Das Signal-Rauschverhältnis und damit die mit dem Verfahren erzielbaren Toleranzen bei der Einstellung von Strömungskanälen werden um einen Faktor 100 bis 1000 verbessert.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Erzielen eines bestimmten Durchflusswiderstandes eines Strömungskanals, insbesondere eine Öffnung in einem Bauteil, vorzugsweise zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, umfasst eine
5 Einrichtung zur Erzeugung eines Fluidstroms, ein Fluidreservoir und eine Messbrücke zur Bestimmung einer Kenngröße, die vom Durchflusswiderstand des Strömungskanals in dem Bauteil abhängt.

Mit Hilfe der Messbrücke wird ein stromloses Bestimmen des Durchflusswiderstandes des Strömungskanals ermöglicht, welches eine hohe Präzision bei der Kalibrierung eines Strömungskanals eines Bauteils bietet. Im abgeglichenen Zustand
10 wird mit der Messbrücke eine stromlose Messung durchgeführt, die weitgehend unabhängig von Fluktuationen der Drücke beziehungsweise der Durchflussrate in der Vorrichtung ist.

15 Vorteilhafterweise ist die Messbrücke nach dem Prinzip einer Wheatstonschen Brücke aufgebaut, bei welcher der Strömungskanal mittels einer ersten Leitung mit einem ersten Strömungswiderstand zu einer ersten Reihenschaltung und ein zweiter Strömungswiderstand mittels einer zweiten Leitung mit einem dritten
20 Strömungswiderstand zu einer zweiten Reihenschaltung verbunden ist, und bei welcher die erste und die zweite Reihenschaltung zu einer Parallelschaltung verschaltet sind, wobei an der ersten Leitung und an der zweiten Leitung ein Drucksensor und/oder zwischen der ersten Leitung und der zweiten Leitung eine dritte Leitung mit einem Durchflussratensensor vorgesehen ist.

25 Die beiden an der ersten und zweiten Leitung angeordneten Drucksensoren können durch ein Druckdifferenzsensor zwischen der ersten Leitung und der zweiten Leitung ersetzt werden. Ebenso kann der Durchflussratensensor in der dritten Leitung durch einen Leistungssensor ersetzt werden, der eine Kombination aus dem
30 Druck und der fließenden Durchflussrate z.B. die Leistung misst. Die Leistung ist

in der Fluidodynamik definiert als das Produkt aus Durchflussrate und Druck und kann ebenso als Kenngröße erfasst werden, um festzustellen, wann die Messbrücke abgeglichen ist beziehungsweise wann der Durchflusswiderstand des Strömungskanals dem gewünschten Wert entspricht.

5

Zur Vermeidung von Störungen beim Betrieb der Vorrichtung z.B. bedingt durch ein Ablösen von Partikeln vom Strömungskanal, die zu einer fehlerhaften Justage des Strömungskanals führen können, ist der Strömungskanal in der Messbrücke in Strömungsrichtung des Fluids hinter dem ersten Strömungswiderstand angeordnet. Damit wird sichergestellt, dass sich vom Strömungskanal lösende Partikel nicht in den Strömungswiderständen bzw. in und an den Detektoren festsetzen und damit eine fehlerhaft Einkalibrierung des Strömungswiderstandes bewirken.

10

Vorteilhafterweise umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung einen Lockin-Verstärker zur Verbesserung des Signal-Rauschverhältnisses der Kenngröße. Hiermit wird die Kenngröße frequenzselektiv bei einer Modulationsfrequenz analysiert und verstärkt. Dafür umfasst die Vorrichtung einen Modulationsfrequenzgenerator, der die Durchflussrate durch den Strömungskanal oder den Druck des Fluids vor dem Strömungskanal mit einer Modulationsfrequenz moduliert. Ein Sensor erfasst die Modulationsfrequenz am Modulationsfrequenzgenerator für den Lockin-Verstärker. Der Modulationsfrequenzgenerator ist vorteilhafterweise die Pumpe, die für die Beförderung des Fluids verwendet wird.

15

20

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden anhand der folgenden Zeichnung, welche die Erfindung lediglich exemplarisch veranschaulichen soll, erläutert.

25

Es zeigen schematisch:

Fig. 1 eine erste erfindungsgemäße Vorrichtung zum Erzielen eines bestimmten Durchflusswiderstandes mit Hilfe einer Wheatstoneschen Brücke; und

5

Fig. 2 eine weitere erfindungsgemäße Vorrichtung.

Fig. 1 zeigt eine erste erfindungsgemäße Vorrichtung zum Erzielen eines bestimmten Durchflusswiderstandes eines Strömungskanals 1, insbesondere eine
10 Öffnung in einem Bauteil 2, mit einem Fluidreservoir 21, einer Einrichtung 20 zur Erzeugung eines Fluidstroms, beispielsweise einen Generator, eine Pumpe, einen Druckspeicher oder dergleichen, und einer Messbrücke 4, in der das Bauteil 2 mit dem Strömungskanal 1 eingebaut ist.

15 Ein Fluid 3 wird aus dem Fluidreservoir 21 mit Hilfe z.B. einer Kolbenpumpe 20 über eine Zuleitung 22 in die Messbrücke 4 gepumpt und teilt sich dort auf eine erste Reihenschaltung 11 und eine zweite Reihenschaltung 12 auf, die zusammen zu einer Parallelschaltung 13 verschaltet sind. Die erste Reihenschaltung 1 umfasst einen ersten Strömungswiderstand 8 und den Strömungskanal 1. Die zweite
20 Reihenschaltung 12 umfasst einen zweiten Strömungswiderstand 9 und einen dritten Strömungswiderstand 10. Der erste Strömungswiderstand 8 ist mit dem Strömungskanal 1 in der ersten Reihenschaltung 11 mit Hilfe einer ersten Leitung 5 verbunden. Der zweite Strömungswiderstand 9 und der dritte Strömungswiderstand 10 ist in der zweiten Reihenschaltung 12 mit einer zweiten Leitung 6 ver-
25 bunden. Das Fluid 3 verlässt die Messbrücke 4 beispielsweise über einen Abfluss 19.

Die Kenngröße wird mit Hilfe eines Durchflussratensensors 18 bestimmt, der die Flussrate in einer dritten Leitung 7, welche die erste Leitung 5 mit der zweiten
30 Leitung 6 verbindet. Im Zustand des Abgleichs der Messbrücke ist der Quotient

aus Durchflusswiderstand des Strömungskanals 1 und Durchflusswiderstand des ersten Strömungswiderstandes 8 gleich dem Quotienten aus Durchflusswiderstand des dritten Strömungswiderstand 10 und Durchflusswiderstand des zweiten Strömungswiderstand 9. Im abgeglichenen Zustand verschwindet der in der dritten
5 Leitung 7 fließende Fluidstrom. Sobald die Kenngröße ihren vorgegebenen Sollwert erzielt hat, insbesondere der abgeglichene Zustand der Messbrücke erreicht ist, wird das Arbeitsverfahren zur Bearbeitung des Strömungskanals mit Hilfe einer Regelung (nicht abgebildet) abgebrochen.

10 Fig. 2 zeigt eine Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Fig. 1 mit dem Unterschied, dass zwischen der Leitung 5 und der zweiten Leitung 6 eine Druckdifferenzmessung durchgeführt wird, wobei in der ersten Leitung 5 ein Detektor 15 und in der zweiten Leitung 6 ein Detektor 16 vorgesehen ist. Beide Detektoren 15, 16 sind vorzugsweise als Drucksensoren 17 ausgebildet. Mit Hilfe
15 der Detektoren 15, 16 wird eine Druckdifferenzmessung zwischen der ersten Leitung 5 und der zweiten Leitung 6 durchgeführt. Im abgeglichenen Zustand der Messbrücke verschwindet die Druckdifferenz.

Mit Hilfe eines variablen Widerstandes 14 wird ein Sollwert für die Kenngröße
20 vorgegeben. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass anstelle des Bauteils 2 ein Master-Objekt (nicht abgebildet) eingesetzt wird und der variierbare Widerstand 14 derart variiert wird, dass die Druckdifferenz, d.h. hier die Kenngröße, verschwindet, wodurch der Abgleichszustand der Messbrücke auf den Durchflusswiderstand des Strömungskanals abgestimmt wird.

25 Das vorliegende erfindungsgemäße Verfahren zum Erzielen eines bestimmten Durchflusswiderstandes eines Strömungskanals 1, insbesondere einer Öffnung in einem Bauteil 2 umfasst folgende Schritte: ein Fluid 3 strömt durch den Strömungskanal 1; es wird eine Kenngröße bestimmt, die vom Durchflusswiderstand
30 des Strömungskanals 1 in dem Bauteil 2 abhängt; der Strömungskanal 1 wird mit

einem Arbeitsverfahren solange bearbeitet, bis die Kenngröße einen vorgegebenen Sollwert erreicht und ist dadurch gekennzeichnet, dass die Kenngröße mit Hilfe einer Messbrücke 4 bestimmt wird.

- 5 Das erfindungsgemäße Verfahren sowie die zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignete Vorrichtung zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass ein bestimmter Durchflusswiderstand eines Strömungskanals in Bauteilen wie Vergaserdüsen oder Gasturbinenschaufeln mit hoher Präzision erzielt werden kann, ohne dass weder besonders bauliche Anforderungen an die Beschaffenheit
- 10 der verwendeten Einrichtung zur Erzeugung eines Fluidstroms noch dass Druck oder Durchflussraten stabilisierende Mittel erforderlich sind, wie dies bislang im Stand der Technik vorgeschlagen ist.

Bezugszeichenliste

	1	Strömungskanal
5	2	Bauteil
	3	Fluid
	4	Messbrücke
	5	erste Leitung
	6	zweite Leitung
10	7	dritte Leitung
	8	erster Strömungswiderstand
	9	zweite Strömungswiderstand
	10	dritter Strömungswiderstand
	11	erste Reihenschaltung
15	12	zweite Reihenschaltung
	13	Parallelschaltung
	14	variierbarer Widerstand
	15	Detektor
	16	Detektor
20	17	Drucksensor
	18	Durchflussratensensor
	19	Abfluss
	20	Einrichtung zur Erzeugung eines Fluidstroms
	21	Fluidreservoir
25	22	Zuleitung

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzielen eines bestimmten Durchflusswiderstandes eines Strömungskanals (1), insbesondere einer Öffnung in einem Bauteil (2), umfassend folgende Schritte:
- ein Fluid (3) strömt durch den Strömungskanal (1);
 - es wird eine Kenngröße bestimmt, die vom Durchflusswiderstand des Strömungskanals (1) in dem Bauteil (2) abhängt;
 - der Strömungskanal (1) wird mit einem Arbeitsverfahren solange bearbeitet, bis die Kenngröße einen vorgegebenen Sollwert erreicht; dadurch gekennzeichnet, dass die Kenngröße mit Hilfe einer Messbrücke (4) bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Arbeitsverfahren ausgewählt ist aus der Gruppe chemische Bearbeitung, hydroabrasive Bearbeitung, mechanische Bearbeitung, elektrochemische Bearbeitung, Elektroerosions-Bearbeitung, Elektroplattieren, stromloses Plattieren, Beschichten, und Aufdampfen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Messbrücke (4) nach dem Prinzip einer Wheatstone-Brücke aufgebaut ist, bei welcher der Strömungskanal (1) mittels einer ersten Leitung (5) mit einem ersten Strömungswiderstand (8) zu einer ersten Reihenschaltung (11) und ein zweiter Strömungswiderstand (9) mittels einer zweiten Leitung (6) mit einem dritten Strömungswiderstand (10) zu einer zweiten Reihenschaltung (12) verbunden werden; und bei welcher die erste (11) und die zweite (12) Reihenschaltung zu einer Parallelschaltung (13) verschaltet werden; und

- wobei ein Fluid (3) durch die Parallelschaltung (13) strömt und als Kenngröße die Druckdifferenz des Fluids (3) zwischen der ersten Leitung (5) und der zweiten Leitung (6) und/oder eine Flussrate in einer dritten Leitung (7), welche die erste Leitung (5) mit der zweiten Leitung (6) verbindet, und/oder die Kombination aus beiden bestimmt wird.
- 5
4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Sollwert für eine vorgebbare mittlere Durchflussrate bzw. für einen vorgebbaren mittleren Druck bestimmt wird.
- 10
5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der mittlere Bearbeitungsdruck zwischen 3 bis 8 bar, vorzugsweise zwischen 4 bis 6 bar, insbesondere 5 bar beträgt.
- 15
6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass während einer Bearbeitungspause gemessen wird, in welcher der Strömungskanal (1) frei von einer eingebrachten Kathode ist, zumindest aber frei von einer anliegenden elektrischen Spannung.
- 20
7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Sollwert mit Hilfe eines Master-Objekts bestimmt wird.
8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Widerstand aus der Gruppe erster Strömungswiderstand (8), zweiter Strömungswiderstand (9) und dritter Strömungswiderstand (10) variierbar ist.
- 25
9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der variierbare Widerstand (14) so vorgebar ist, dass die Messbrücke (4) abgeglichen ist, sobald der gewünschte Sollwert des Strömungskanals (1) erreicht ist.
- 30

10. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der variable Widerstand (14) mit Hilfe eines Master-Objekts vorgegeben wird, indem das Master-Objekt an die Stelle des Strömungskanals (1) gesetzt wird
5 und durch Einstellen des variablen Widerstandes (14) die Messbrücke (4) abgeglichen wird.
11. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Fluid (3) elektrolytische Lösungen, korrosive Fluide, dielektrische
10 Fluide und/oder Träger-Gase umfasst.
12. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kenngröße mit Hilfe eines Lockin-Verfahrens bestimmt wird.
- 15 13. Vorrichtung zum Erzielen eines bestimmten Durchflusswiderstandes eines Strömungskanals (1), insbesondere einer Öffnung in einem Bauteil (2), vorzugsweise zur Durchführung eines Verfahrens mit den Merkmalen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, umfassend eine Einrichtung (20) zur Erzeugung eines Fluidstroms, ein Fluidreservoir (21) und eine Messbrücke (4) zur
20 Bestimmung einer Kenngröße, die vom Durchflusswiderstand des Strömungskanals (1) in dem Bauteil (2) abhängt.
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Messbrücke (4) nach dem Prinzip einer Wheatstone-Brücke aufgebaut ist,
25 wobei der Strömungskanal (1) mittels einer ersten Leitung (5) mit einem ersten Strömungswiderstand (8) zu einer ersten Reihenschaltung (11) und ein zweiter Strömungswiderstand (9) mittels einer zweiten Leitung (6) mit einem dritten Strömungswiderstand (10) zu einer zweiten Reihenschaltung (12) verbunden ist; und

wobei die erste (11) und die zweite (12) Reihenschaltung zu einer Parallelschaltung (13) verschaltet sind; und

5 wobei an der ersten Leitung (5) und an der zweiten Leitung (6) ein Drucksensor (17) und/oder zwischen der ersten Leitung (5) und der zweiten Leitung (6) eine dritte Leitung (7) mit einem Durchflussratensensor (18) vorgesehen ist.

10 15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Strömungskanal (1) in der Messbrücke (4) in Strömungsrichtung des Fluids hinter dem ersten Strömungswiderstand (8) angeordnet ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 13, 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die Leitungen (5; 6; 7) aus einem Kunststoff gefertigt sind.

15 17. Vorrichtung nach einem Ansprüche 13 bis 16, gekennzeichnet durch einen Lockin-Verstärker zur Verbesserung des Signal-Rauschverhältnisses der Kenngröße.

FIG.1

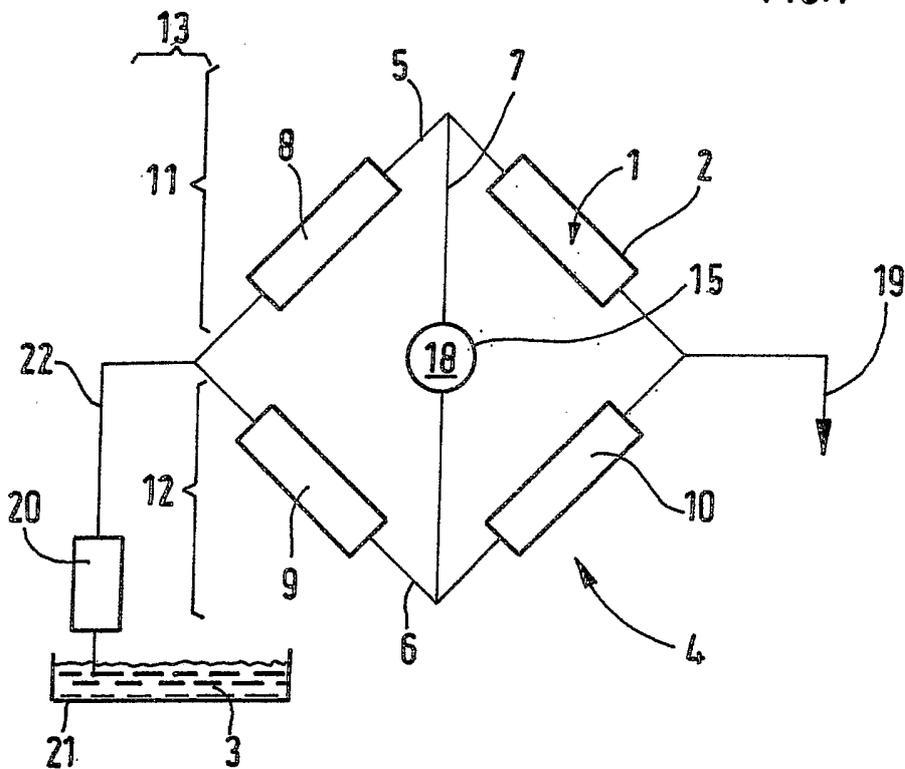
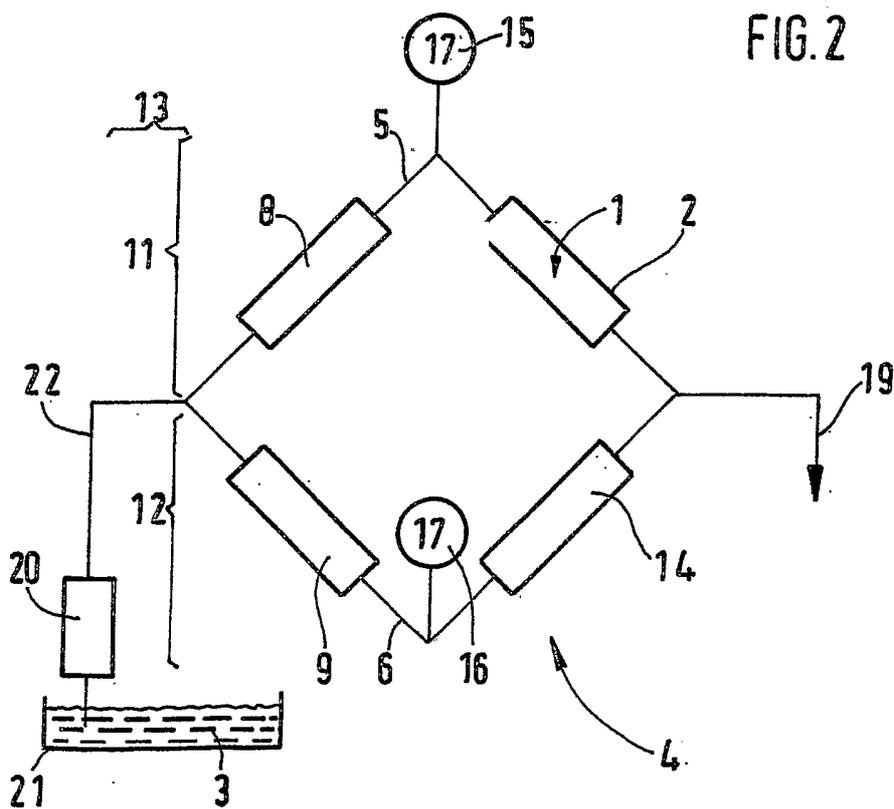


FIG.2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 03/00633

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 B23H9/16 B23H9/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 IPC 7 B23H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2 266 566 A (RALPH POOLE) 16 December 1941 (1941-12-16)	13-16
A	page 1, left-hand column, line 1-16 page 1, right-hand column, line 33 - line 46 claim 2; figures	1-12,17
A	US 5 865 977 A (FREMBGEN FRITZ-HERBERT) 2 February 1999 (1999-02-02) the whole document	1-17
A	EP 0 802 009 A (FREMBGEN FRITZ HERBERT) 22 October 1997 (1997-10-22) the whole document	1-17
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

<p>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>*E* earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>*L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>*Z* document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search 26 June 2003	Date of mailing of the international search report 04/07/2003
--	---

Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Haegeman, M
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 03/00633

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 441 887 A (EXTRUDE HONE CORP) 21 August 1991 (1991-08-21) cited in the application the whole document -----	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/00633

Patent document cited in search report	A	Publication date	GB	Patent family member(s)	Publication date
US 2266566	A	16-12-1941	GB	518777 A	07-03-1940
US 5865977	A	02-02-1999	DE	4437624 A1	25-04-1996
			AT	175611 T	15-01-1999
			AU	3841495 A	15-05-1996
			DE	59504836 D1	25-02-1999
			WO	9612586 A1	02-05-1996
			EP	0787057 A1	06-08-1997
			ES	2128095 T3	01-05-1999
EP 0802009	A	22-10-1997	EP	0802009 A1	22-10-1997
			AT	174243 T	15-12-1998
			DE	59600963 D1	21-01-1999
			ES	2127585 T3	16-04-1999
EP 0441887	A	21-08-1991	US	4995949 A	26-02-1991
			DE	68916552 D1	04-08-1994
			DE	68916552 T2	23-02-1995
			EP	0441887 A1	21-08-1991
			AT	107882 T	15-07-1994
			JP	4502886 T	28-05-1992
			WO	9005039 A1	17-05-1990

INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 03/00633

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 B23H9/16 B23H9/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 B23H

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2 266 566 A (RALPH POOLE) 16. Dezember 1941 (1941-12-16)	13-16
A	Seite 1, linke Spalte, Zeile 1-16 Seite 1, rechte Spalte, Zeile 33 - Zeile 46 Anspruch 2; Abbildungen	1-12,17
A	US 5 865 977 A (FREMBGEN FRITZ-HERBERT) 2. Februar 1999 (1999-02-02) das ganze Dokument	1-17
A	EP 0 802 009 A (FREMBGEN FRITZ HERBERT) 22. Oktober 1997 (1997-10-22) das ganze Dokument	1-17
	--- -/--	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. Juni 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

04/07/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Haegeman, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 03/00633

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 441 887 A (EXTRUDE HONE CORP) 21. August 1991 (1991-08-21) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-17

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/00633

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2266566	A	16-12-1941	GB 518777 A	07-03-1940
US 5865977	A	02-02-1999	DE 4437624 A1	25-04-1996
			AT 175611 T	15-01-1999
			AU 3841495 A	15-05-1996
			DE 59504836 D1	25-02-1999
			WO 9612586 A1	02-05-1996
			EP 0787057 A1	06-08-1997
			ES 2128095 T3	01-05-1999
EP 0802009	A	22-10-1997	EP 0802009 A1	22-10-1997
			AT 174243 T	15-12-1998
			DE 59600963 D1	21-01-1999
			ES 2127585 T3	16-04-1999
EP 0441887	A	21-08-1991	US 4995949 A	26-02-1991
			DE 68916552 D1	04-08-1994
			DE 68916552 T2	23-02-1995
			EP 0441887 A1	21-08-1991
			AT 107882 T	15-07-1994
			JP 4502886 T	28-05-1992
			WO 9005039 A1	17-05-1990