(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 696 05 343 T3** 2004.02.19

(12) Übersetzung der geänderten europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 733 807 B2**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 05 343.8**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **96 101 517.9**
(96) Europäischer Anmeldetag: **02.02.1996**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **25.09.1996**
(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **01.12.1999**
(97) Veröffentlichungstag
des geänderten Patents beim EPA: **13.08.2003**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **19.02.2004**

(51) Int Cl.[7]: **F04D 29/30**
F04D 29/28, F04D 29/22

(30) Unionspriorität:
6036995 20.03.1995 JP

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, IT

(73) Patentinhaber:
Hitachi, Ltd., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:
v. Füner Ebbinghaus Finck Hano, 81541 München

(72) Erfinder:
Eino, Takashi, Tsuchiura-shi, JP

(54) Bezeichnung: **Mehrstufiger Kreiselverdichter**

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

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen mehrstufigen Kreiselverdichter gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 sowie ein mehrstufiges Kreiselverdichtersystem gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 4.

[0002] Das in einem mehrstufigen Kreiselverdichter verwendete Laufrad weist zwei Drehscheiben (eine Scheibe und einen Mantel) auf, sowie mehrere Schaufeln, die zwischen der Scheibe und dem Mantel in im wesentlichen gleichem Abstand in Umfangsrichtung angeordnet sind, um mittels der Scheibe, des Mantels und der Schaufeln Durchflüsse zu bilden. Die Scheibe, der Mantel und die Schaufeln sind so konstruiert und hergestellt, daß sie eine geeignete Geschwindigkeitsverteilung eines Arbeitsgases für jede Stufe ermöglichen.

[0003] Weiterhin unterscheiden sich die Ansaugtemperatur und der Ansaugdruck des Laufrads für jede Stufe, da das zu verwendende Fluid ein komprimierbares Gas ist.

[0004] Das führt dazu, daß die Dichte des Gases in den Stufen unterschiedlich ist und daß die gewünschte Weite des Gasdurchflusses des Laufrads, das heißt, die Schaufelhöhe, in stromabwärtiger Richtung (eine Ansaugöffnung, eine erste Stufe, eine zweite Stufe, ...) schmaler wird, weshalb die Laufräder der jeweiligen Stufen sich in ihrer Konfiguration voneinander unterscheiden müssen.

[0005] Aus diesem Grund wurde der mehrstufige Kreiselverdichter bisher so hergestellt, indem eine geeignete Konfiguration des Laufrads für jede Stufe bestimmt wurde und die Scheibe und der Mantel separat durch Bearbeitung hergestellt wurden, entsprechend der vorher bestimmten Konfiguration der Scheibe und des Mantels des Laufrads jeder Stufe. Die Schaufeln wurden durch Preßformung in die erforderliche Konfiguration gebracht und in die Scheibe und den Mantel mittels Schweißen oder dergleichen eingebaut.

[0006] In der FR-A-2 419 415 ist ein mehrstufiger Kreiselverdichter offenbart, der mehrere auf einer Drehwelle befestigte Laufräder aufweist, wobei jedes dieser Laufräder eine Scheibe, einen Mantel und mehrere Schaufeln, die zwischen der Scheibe und dem Mantel angeordnet und voneinander in Umfangsrichtung separiert sind, sowie ein Gehäuse zur Beherbergung der mehreren Laufräder aufweist, wobei das Gehäuse mit einer Ansaugöffnung und einer Ausströmöffung ausgebildet ist, durch die Ansaugöffnung ein Gas in den Kompressor gesaugt und das angesaugte Gas durch Rotation der Laufräder jeder Stufe nacheinander komprimiert und aus der Ausströmöffnung ausgestoßen wird. Die Laufräder des mehrstufigen Kreiselverdichters gemäß FR-A-2 419 415 sind in drei Gruppen unterteilt, von denen jede zwei identische Laufräder umfaßt. Jedoch ist die Form der Laufräder der unterschiedlichen Gruppen im Vergleich zueinander sehr unterschiedlich. Insbesondere haben die unterschiedlichen Laufräder sehr unterschiedliche charakteristische Winkel.

[0007] FR-A-2 419 416 offenbart ein mehrstufiges Kreiselverdichtersystem, bei dem die Laufräder der einzelnen Kreiselverdichter andere Formen haben als die. in der FR-A-2 419 415 offenbarten Laufräder.

[0008] Währenddessen ist ein anderes Verfahren angewandt worden, bei dem eine einfache Schaufelform wie eine zweidimensionale Schaufel die optimale Schaufelform für jede Stufe ersetzt, und dann eine solche einfach geformte Schaufel durch Gießen oder dergleichen hergestellt wird. Darüber hinaus ist noch ein anderes Verfahren bekannt, bei dem eine numerisch gesteuerte Mehrspindel-Werkzeugmaschine verwendet wird, um eine komplex geformte Schaufel für ein halbummanteltes Laufrad ohne Mantel herzustellen.

[0009] US-Patent 4,775,270 offenbart ein Laufrad einer zentrifugalen Fluid-Rotationsmaschine, das Laufradschaufeln aufweist, die jeweils eine konkave und eine konvexe Oberfläche haben, deren Form durch parallele Erzeugende gebildet wird, die bezüglich einer Drehwelle in einem Winkel geneigt sind, der für jede Laufradschaufel vorher bestimmt ist. Ein Verfahren zur Herstellung des Laufrads umfaßt das Neigen des Materials einer Hauptplatte des Laufrads bezüglich einer Ebene eines Tisches einer Werkzeugmaschine um einen gewünschten Winkel, die feste Montage der Platte auf dem Tisch, nachdem die Platte auf einer Rotationsschritt-Spannvorrichtung angeordnet wurde, die Steuerung von drei axialen Positionen der Platte nach rechts und links, vorn und hinten sowie oben und unten durch eine Dreiachsen-Steuerungsvorrichtung, sowie das Ausschneiden der Hauptplatte oder Seitenplatte durch ein Schneidwerkzeug, um die Laufradschaufeln auf der Platte integral auszubilden.

[0010] US-Patent 4,322,200 offenbart ein Hochleistungs-Zentrifugalpumpenlaufrad, bei dem die relativ schweren Außenmäntel durch plastische Verformung wie Metalldrücken, Streckformen oder Hydroformen gebildet werden. Die Nabe wird ähnlich gebildet, und mehrere, regelmäßig in Umfangsrichtung angeordnete Spiralschaufeln erstrecken sich dazwischen axial, so daß, wenn die Nabe, die Schaufeln und der Mantel durch Schweißen oder Löten verbunden werden, ein Hochleistungs-Laufrad gebildet wird, das einen sich axial erstreckenden Einlaß und einen sich radial erstreckenden, ringförmigen Auslaß aufweist. Nach der Fertigung wird das Laufrad bearbeitet und metallisiert.

[0011] Bei den verschiedenen oben beschriebenen Verfahren ist es erforderlich, die Laufräder der entsprechenden Stufen so auszubilden und herzustellen, daß sie sich in ihrer Konfiguration voneinander unterscheiden. Diese Verfahren zur Herstellung eines Laufrads für einen Kreiselverdichter sind in den ungeprüften japanischen Patentveröffentlichungen 2-161200 und 3-151597 offenbart.

[0012] Bei dem ersten Verfahren wird ein Mantel

axial beweglich gemacht, damit ein Auftreten einer Rückströmung verhindert wird, um ein hocheffizientes Laufrad zu erhalten. Jedoch wird eine Reduzierung der Anzahl der Schritte zur Herstellung des Laufrads, wie eine Anwendung eines Herstellungsverfahrens für das Laufrad, das für mehrere Stufen vorgesehen ist, nicht in Betracht gezogen.

[0013] Andererseits ist bei dem letzten Verfahren die Breite des Durchflusses an einem Auslaß des Laufrads einstellbar, um den Durchsatz zu regulieren, damit die Effizienz erhöht wird. Jedoch wird eine Reduzierung der Anzahl der Herstellungsschritte, wie die Verwendung eines Verfahrens und einer Konstruktion, die für mehrere Laufräder vorgesehen ist, ebenfalls nicht in Betracht gezogen.

[0014] Gemäß dieser beiden herkömmlichen Technologien wurde das Laufrad für jede Stufe konstruiert und hergestellt, und eine Reduzierung der Anzahl der erforderlichen Verarbeitungsschritte zur kostengünstigen Herstellung eines Laufrads für einen Kreiselverdichter wird nicht in Betracht gezogen.

[0015] Eine Aufgabe der Erfindung ist die Bereitstellung eines kostengünstigen mehrstufigen Kreiselverdichters und eines kostengünstigen mehrstufigen Kreiselverdichtersystems ohne die oben beschriebenen Probleme des Stands der Technik.

[0016] Diese Aufgabe wird durch einen mehrstufigen Kreiselverdichter nach Anspruch 1 und ein mehrstufiges Kreiselverdichtersystem nach Anspruch 4 gelöst.

[0017] Erfindungsgemäß können die Schaufeln der Laufräder für einige Stufen des mehrstufigen Kreiselverdichters aus einem gemeinsamen Hauptschaufelrohling hergestellt werden, und daher können die Produktionskosten, die Anzahl der Verarbeitungsschritte und die Anzahl der Ausschußexemplare verringert und dadurch die Zuverlässigkeit erhäht werden.

[0018] Weiterhin wird die Verwendung eines üblichen numerischen Steuerungsprogramms ermöglicht, und daher kann ein kostengünstiger und hochzuverlässiger mehrstufiger Kreiselverdichter erhalten werden.

[0019] Darüber hinaus ist es möglich, einen mehrstufigen Kreiselverdichter zu erhalten, bei dem die Verringerung der Leistung oder Effizienz vernachlässigt werden kann, selbst wenn die Schaufeln aus einem gemeinsamen Hauptschaufelrohling hergestellt werden.

[0020] Zusätzlich wird das Herstellungsverfahren vereinfacht, und daher ist es möglich, einen hochzuverlässigen mehrstufigen Kreiselverdichter zu erhalten, der weniger anfällig für Fehler im Produktionsablauf ist und auch weniger Herstellungsfehler aufweist.

[0021] Die Schaufeln, die die verschiedenen Laufräder des erfindungsgemäßen mehrstufigen Kreiselverdichters bilden, können durch teilweises Ausschneiden und Preßformen der Schaufelrohlinge geformt werden. Es wird nämlich nur eine einzige Art Schaufelrohling (Hauptschaufelrohling) für die unterschiedlichen Schaufeln benötigt. Genauer gesagt weisen die Schaufeln dreidimensionale, kompliziert gewellte Oberflächen auf. Die Schaufel, die durch Preßformen eines ganzen Hauptschaufelrohlings geformt wird, wird in einem Laufrad für eine erste Stufe verwendet. Die Schaufel, die durch Preßformen eines teilweise abgeschnittenen Hauptschaufelrohlings (oder fast eines ganzen Hauptschaufelrohlings) geformt wird, wird in einem Laufrad für eine zweite Stufe verwendet. Die Schaufel, die durch Preßformen eines Hauptschaufelrohlings gebildet wird, von dem ein größerer Teil abgeschnitten wurde (oder ein wesentlicher Teil von dem Hauptschaufelrohling) wird in einem Laufrad für eine dritte Stufe verwendet. Das heißt, in einem Laufrad für eine spätere Stufe wird ein kleinerer Teil des Hauptschaufelrohlings verwendet, um eine Schaufel zu formen. Entsprechend können nur dadurch, daß der Schaufelrohling, der durch teilweises Abschneiden des Hauptschaufelrohlings gebildet wird und eine Fläche hat, die für das Laufrad der Stufe erforderlich ist, zwischen zwei Formpressen plaziert wird, die Schaufeln jeder Stufe leicht hergestellt werden.

[0022] Dabei reicht es bei einer Herstellung durch eine numerisch gesteuerte Maschine aus, nur die Koordinaten der Mantelwandoberfläche und der Scheibenwandoberfläche zu verändern. Die Koordinaten zwischen dem Mantel und der Scheibe sind bei jeder Stufe gleich, und deshalb kann das Programm gleichermaßen verwendet werden.

[0023] Weiterhin ist es nicht immer erforderlich, den Hauptschaufelrohling für alle Stufen zu verwenden. Der Hauptschaufelrohling kann jeweils nach zwei Stufen gewechselt werden, beispielsweise ein erster Hauptschaufelrohling für die erste und zweite Stufe und ein zweiter Hauptschaufelrohling für die dritte und vierte Stufe. Auch kann der Hauptschaufelrohling nur für die erste und zweite Stufe und unterschiedliche Schaufelrohlinge für die entsprechenden Stufen außer der ersten und zweiten verwendet werden.

[0024] Bevorzugte Ausführungsformen des mehrstufigen Kreiselverdichters gemäß Anspruch 1 sind Gegenstand der Ansprüche 2 und 3. Bevorzugte Ausführungsformen des mehrstufigen Kreiselverdichtersystems gemäß Anspruch 4 sind Gegenstand der Ansprüche 5 und 6.

[0025] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nun unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, wobei

[0026] Fig. 1 ein Teilquerschnitt eines Laufrads für einen mehrstufigen Kreiselverdichter gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

[0027] **Fig.** 2 eine perspektivische Ansicht von **Fig.** 1 unter Weglassung eines Mantels ist;

[0028] **Fig.** 3 ein Graph zur Erläuterung der Fließbedingung bei Änderung der Schaufelhöhe ist;

[0029] **Fig.** 4 ein Teilquerschnitt eines Laufrads für einen mehrstufigen Kreiselverdichter gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist;

[0030] **Fig.** 5 ein Längsschnitt eines mehrstufigen Kresielverdichters gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist;

[0031] **Fig.** 6 eine perspektivische Ansicht von Schaufeln ist, die in einem Laufrad für den erfindungsgemäßen mehrstufigen Kreiselverdichter zu verwenden sind;

[0032] **Fig.** 7 eine perspektivische Ansicht von Schaufeln ist, die in einem anderen Laufrad für den erfindungsgemäßen mehrstufigen Kreiselverdichter zu verwenden sind; und

[0033] Fig. 8 ein Querschnitt eines mehrstufigen Kreiselverdichters gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung ist.

[0034] Wie in **Fig.** 1 gezeigt, weist ein fest auf einer Drehwelle **1** montiertes Laufrad **2** eine Scheibe **2a** und einen Mantel **2b** auf. Zwischen der Scheibe und dem Mantel sind mehrere Schaufeln **2c** in im wesentlichen gleichen Abständen in Umfangsrichtung angeordnet, wobei jede der Schaufeln eine dreidimensionale Konfiguration hat, wie in **Fig.** 2 gezeigt.

[0035] Bei dem Kreiselverdichter wird ein Arbeitsgas durch eine Ansaugöffnung **30** angesaugt und mit der Drehung der Drehwelle **1** komprimiert, während es durch den durch die Scheibe **2a**, den Mantel **2b** und die Schaufeln **2c** gebildeten Durchfluß strömt, und strömt dann aus einer Ausströmöffnung **31** im oberen Teil von Fig. 1 aus.

[0036] Bei der Herstellung des Laufrads mit der oben beschriebenen Konstruktion wird, wenn die Schaufel durch Preßformen hergestellt wird, ein Paar Formpressen, die sich in der Konfiguration von der gewünschten Schaufel um einen Betrag unterscheidet, der deren plastischer Verformung entspricht, durch Gießen oder maschinelle Bearbeitung hergestellt. Eine Scheibenplatte, die zu einer meridionalen Oberflächenform vorgeformt ist, wird in solche Formpressen eingeführt und preßgeformt, um eine gewünschte meridionale Oberflächenform zu bilden.

[0037] Da der Gasdurchsatz für jede Stufe aufgrund der Kompressibilität des Gases unterschiedlich ist, ist es anders als bei einer hydraulischen Maschine unmöglich, einfach jede Stufe nach dem Ähnlichkeitsprinzip zu konstruieren. Daher war es erforderlich, nach dem Ermitteln der wesentlichen Bestimmungsdaten des Laufrads auf der Grundlage der Gasansaug- und -ausströmbedingungen des Laufrads, der Rotationsgeschwindigkeit usw., für jede Stufe eine detaillierte Konfiguration des Laufrads zu schaffen. Aus diesem Grund sind viele Paare von Formpressen entsprechend der Zahl der Stufen erforderlich, um den mehrstufigen Kreiselverdichter herzustellen.

[0038] Erfindungsgemäß unterscheiden sich die Schaufeln **2c** und **3c** der Laufräder zweier unterschiedlicher Stufen des mehrstufigen Kreiselverdichters voneinander bezüglich der Form der meridionalen Oberfläche, aber sie gleichen sich teilweise in ihrer Konfiguration, wie in Fig. 1 gezeigt.

[0039] Wenn beispielsweise das Laufrad der ersten Stufe des mehrstufigen Kreiselverdichters einen Längsschnitt hat, wie durch die durchgezogene Linie in **Fig.** 1 dargestellt, hat die Konfiguration des Laufrads der zweiten Stufe, das stromabwärts des Laufrads der ersten Stufe angeordnet ist, einen Längsschnitt wie durch die Strichpunktlinie in **Fig.** 1 dargestellt. Es ist zu beachten, daß eine Schaufel **3c** des Laufrads der zweiten Stufe teilweise identisch mit der Schaufel **2c** des Laufrads der ersten Stufe ist, d. h. die Schaufel **3c** ist genau identisch mit einem Teil der Schaufel **2c**, während ein Mantel **3b** des Laufrads der zweiten Stufe sich von dem Mantel **2b** des Laufrads der ersten Stufe unterscheidet. Dabei ist eine Scheibe **3a** des Laufrads der zweiten Stufe identisch mit der Scheibe 2a des Laufrads der ersten Stufe. Daher können die Schaufel **2a** und die Schaufel **3c** aus den Schaufelrohlingen hergestellt werden, die jeder bezüglich der meridionalen Oberfläche der entsprechenden Schaufel durch ein einziges Paar Formpressen gefertigt werden können.

[0040] Wie aus dem Obenstehenden hervorgeht, kann das gemeinsame Paar Formpressen verwendet werden, und deshalb können die Herstellungskosten und die Zahl der Schritte zur Herstellung der Schaufel verringert werden. Bei dieser Ausführungsform wird das gemeinsame Paar Formpressen für die Schaufeln der Laufräder der ersten und zweiten Stufe verwendet, aber diese Erfindung ist nicht ausschließlich für diese Kombination vorgesehen. Ein gemeinsames Paar Formpressen kann für alle Schaufeln für jede Stufe oder für Schaufeln für je zwei benachbarte Stufen verwendet werden, ohne von dem Umfang oder dem Wesensgehalt der Erfindung abzuweichen.

[0041] Die Strömungszustände an den Einlaßöffnungen der Laufräder, wobei die Schaufeln jedes der Laufräder sich voneinander unterscheiden, wie in **Fig.** 1 gezeigt, werden im folgenden unter Bezugnahme auf **Fig.** 3 beschrieben.

[0042] **Fig.** 3 zeigt das Verhältnis zwischen dem Ansaugdurchsatz (Volumendurchsatz) des Laufrads und der örtlichen relativen Geschwindigkeit an der Einlaßöffnung des Laufrads. Die örtliche relative Geschwindigkeit bedeutet die Vektordifferenz zwischen der absoluten Geschwindigkeit des Gases, das in das Laufrad einströmt, und der Rotationsgeschwindigkeit.

[0043] Es wird angenommen, daß die örtliche relative Geschwindigkeit des Laufrads **2**, das die Scheibe **2a**, den Mantel **2b** und die Schaufeln **2c** umfaßt, am Einlaß W_h beträgt, wenn der Ansaugdurchsatz des Laufrads **2** Q_s beträgt. Dabei wird bezüglich des Laufrads **3**, das nur durch eine Abwandlung des Laufrads **2** in Bezug auf die Schaufelhöhe hergestellt wird und das im einzelnen die Scheibe **3a**, den Mantel **3b** und die Schaufeln **3c** umfaßt, der Durchsatz von Q_s auf Q_{so} geändert, und die örtliche relative Geschwindigkeit am Einlaß wird von W_h auf W_{ho} verringert.

[0044] Bei dem Laufrad mit den Schaufeln mit verringerter Höhe wird im Vergleich zu dem ursprünglichen Laufrad die örtliche relative Geschwindigkeit am Einlaß verringert, was dazu führt, daß der Strö-

mungsverlust ebenfalls verringert wird, was proportional zur n-ten (n > 1) Potenz der Strömungsgeschwindigkeit des Gases ist. Das bedeutet, daß wenn das Laufrad **2**, das die Scheibe **2a**, den Mantel **2b** und die Schaufeln **2c** aufweist, in optimaler Konstruktion hergestellt ist, und ein Laufrad einer stromabwärtigen Stufe, bei dem der Durchsatz kleiner ist als der des Laufrads **2**, so konstruiert und hergestellt ist, daß es zu dem Laufrad wird, bei dem die Schaufelhöhe um einen Betrag verringert wird, der einer Verringerung des Durchsatzes entspricht, dadurch das stromabwärtige Laufrad erlangt wird, das frei von einer drastischen Verringerung der Effizienz ist. Mit anderen Worten, die Differenz der Schaufel der stromabwärtigen Stufe zu der optimalen Schaufel kann minimiert werden.

[0045] Wie aus dem Obenstehenden klar wird, ist es ratsamer, daß die Schaufel, deren meridionale Oberfläche die größte unter den durch das gemeinsame Paar Formpressen hergestellten Schaufeln ist, optimal konstruiert ist, als im Vergleich damit, daß die Schaufel, deren meridionale Oberfläche kleiner ist, optimal konstruiert ist.

[0046] Eine weitere Ausführungsform der Erfindung ist in **Fig.** 4 gezeigt. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von der Ausführungsform von Fig. 1 in dem Punkt, daß die Höhe der Schaufel der Laufräder, die durch das gemeinsame Paar Formpressen hergestellt sind, auf der der Scheibe zugewandten Seite geändert ist. Genauer gesagt, der Mantel **2b** des Laufrads **2** ist identisch mit dem Mantel **3b** des Laufrads **3**. Obwohl sich jedoch die Schaufel **2c** des Laufrads **2** auf der der Scheibe zugewandten Seite von der Schaufel **3c** des Laufrads **3** unterscheidet, ist die Schaufel **2c** auf der dem Mantel zugewandten Seite identisch mit der Schaufel **3c**. Mit anderen Worten, eine ganze Schaufel **2c** ist identisch mit einem Teil der Schaufel **3c**. Dementsprechend unterscheidet sich die Scheibe **2a** des Laufrads **2** von der Scheibe **3a** des Laufrads **3**. Bei einer solchen Konstruktion kann, wenn mehrere Laufräder **22a** bis **22g** als in **Fig.** 5 gezeigter mehrstufiger Einspindel-Kreiselverdichter auf einer Drehwelle **1** befestigt werden, der Durchmesser der Drehwelle vergrößert und dann die Starrheit des Rotationssystems vergrößert werden. In **Fig.** 5 ist ein statischer Durchfluß durch eine Abdeckung **6a** des Ansaugendes, eine Abdeckung **6b** des Ausströmendes, ein Gehäuse **4**, ein inneres Gehäuse **5** und einen Diffusor/ein Diaphragma **7** gebildet.

[0047] Bei dem mehrstufigen Einspindel-Kreiselverdichter wird ein Arbeitsgas durch eine Ansaugöffnung angesaugt, die in einem Abschnitt des Gehäuses gebildet ist, das stromaufwärts der Abdeckung **6a** des Ansaugendes angeordnet ist. Der Gasdruck wird sukzessive erhöht, während das Gas durch die Durchflüsse strömt, die zwischen den Laufrädern **22a** bis **22g** jeder Stufe und dem Diffusor/Diaphragma **7** gebildet sind, so daß der Durchsatz des Gases am Einlaß des Laufrads jeder Stufe nacheinander reduziert wird. Entsprechend kann durch Verwendung des oben beschriebenen Laufrads als Laufrad jeder Stufe ein hochzuverlässiger mehrstufiger Kreiselverdichter bei geringen Kosten erhalten werden.

[0048] Bei einer weiteren, in Fig. 6 gezeigten Ausführungsform der Erfindung hat die Schaufel **2c** eine dreidimensionale Form, die aus linearen Segmenten **21a**, **21b**, ..., **21n**, besteht, die Endpunkte **18a**, **18b**, ..., **18n** auf der dem Mantel zugewandten Seite jeweils mit Endpunkten **19a**, **19b**, ..., **19n** auf der der Scheibe zugewandten Seite verbinden.

[0049] Diese Art Schaufel kann leicht hergestellt werden, indem eine Stirnfräsmaschine so gesteuert wird, daß eine Achse der Stirnfräsmaschine entlang jedes linearen Elements bewegt wird. Ist die Stirnfräsmaschine einmal darauf programmiert, bei der oben erwähnten Steuerung auf der Grundlage eines gespeicherten Programms die Schaufel **2c** herzustellen, die aus den linearen Segmenten **21a**, **21b**, ..., **21** besteht, kann ein solches Programm auch zur Herstellung der Schaufel **3c** angewandt werden, deren Höhe verändert oder verringert ist und die eine dreidimensionale Form hat, die aus linearen Segmenten besteht, die Endpunkte **20a**, **20b**, ..., **20n** auf der dem Mantel zugewandten Seite jeweils mit Endpunkten **19a**, **19b**, ..., **19n** auf der der Scheibe zugewandten Seite verbinden. Deshalb kann die Herstellung der verschiedenen Schaufeln vereinfacht und die Zahl der Verarbeitungsschritte reduziert werden.

[0050] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform ist die Schaufel durch mehrere der linearen Segmente dargestellt. Bei der in **Fig.** 7 gezeigten Aufführungsform ist die Schaufel durch eine Gruppe von Punkten dargestellt. Wenn eine Schaufel A durch eine Gruppe P_1 von Punkten $\{P_1 (i,j)$: i = 1, ..., l; j = 1 ..., m$\}$ dargestellt ist, und eine Schaufel a, deren Höhe geringer ist als die der Schaufel A, durch eine Gruppe P_2 von Punkten $\{P_2 (i,j)$: i = 1, ..., l; j = 1, ..., k (k < m)$\}$ dargestellt ist, kann die Schnittmenge $\{P (i,j)$: i = 1, ..., l; j = 1, ..., k$\}$ der beiden Schaufeln A und a durch dasselbe Verfahren (Programm) erhalten werden. In Verbindung mit der Schaufel A wird nur die Restmenge $\{P (i,j)$: i = 1, ..., l; j = k, ..., m$\}$ der Schaufel A durch ein anderes Verfahren (Programm) erhalten. Deshalb ist es möglich, aufgrund der reduzierten Schritte des gesamten Programms die Zahl der Verarbeitungsschritte sowie die Kosten zu verringern.

[0051] Für das oben beschriebene programmierte Verfahren ist eine numerisch gesteuerte Mehrspindel-Fräsmaschine am geeignetsten, aber die vorliegende Erfindung ist nicht auf eine solche Maschine beschränkt, sondern verschiedene Arten numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen sind ebenfalls anwendbar.

[0052] Darüber hinaus bezieht sich obenstehende Beschreibung lediglich auf die Herstellung der Schaufel, allerdings versteht sich von selbst, daß dieselbe Technik auch in dem Fall angewandt werden kann, wenn die Schaufeln und der Mantel oder die Schaufeln und die Scheibe einteilig gefertigt werden. In einem solchen Fall kann durch Verschweißen der

Scheibe mit einem bearbeiteten Produkt, bei dem die Schaufeln und der Mantel einteilig gefertigt sind, oder durch Verschweißen des Mantels mit einem bearbeiteten Produkt, bei dem die Schaufeln und die Schreibe einteilig gefertigt sind, ein gewünschtes Laufrad zu einem niedrigen Preis hergestellt werden.

[0053] Bei einer weiteren, in **Fig.** 8 gezeigten Ausführungsform sind die Laufräder **8** und **9**, die an gegenüberliegenden Endabschnitten einer Drehwelle **1** angeordnet sind, in Gehäusen **4a** bzw. **4b** angeordnet. Das Gehäuse **4a** ist mit einer Ansaugöffnung **12a** und einer Ausströmöffnung **13a** ausgebildet, während das Gehäuse **4b** mit einer Ansaugöffnung **12b** und einer Ausströmöffnung **13b** ausgebildet ist.

[0054] Die Ausströmöffnung **13a** ist durch einen Zwischenverdichter **14** mit der Ansaugöffnung **12b** verbunden. Selbst bei einem mehrstufigen Kreiselverdichter des Typs, bei dem einstufige Kreiselverdichter durch Rohre miteinander verbunden werden, wie in **Fig.** 8 gezeigt, ist es auch möglich, die Zahl der Verarbeitungsschritte zu verringern und die Zuverlässigkeit zu erhöhen, indem die oben beschriebenen unterschiedlichen Arten von Laufrädern verwendet werden. Es ist zu beachten, daß die Verwendung des Zwischenverdichters eine weitere Erhöhung der Effizienz des mehrstufigen Kreiselverdichters ermöglicht.

[0055] Obwohl die Anzahl der Stufen bei dieser in **Fig.** 8 gezeigten Ausführungsform zwei ist, ist die Erfindung nicht darauf beschränkt, sondern kann auch für drei Stufen, vier Stufen, fünf Stufen oder mehr angewandt werden. In diesen Fällen muß der Zwischenverdichter nicht zwischen jedem Paar benachbarter Stufen verwendet werden, sondern kann je nach Bedarf verwendet werden.

[0056] Bei jeder der oben beschriebenen Ausführungsformen haben alle Laufräder denselben äußeren Durchmesser, aber es ist natürlich möglich, daß der äußere Durchmesser des Laufrads einer stromabwärtigen Stufe kleiner gemacht wird.

Patentansprüche

1. Mehrstufiger Kreiselverdichter mit
- mehreren, auf einer Drehwelle {**1**) montierten Laufrädern (**2**, **3**, **22a** bis 22g), wobei jedes dieser Laufräder (**2**, **3**, **22a** bis **22g**) eine Scheibe (**2a**, **3a**), einen Mantel (**2b**, **3b**) und mehrere Schaufeln (**2c**, **3c**) mit einer dreidimensionalen Form aufweist, die zwischen der Scheibe (**2a**, **3a**) und dem Mantel (**2b**, **3b**) angeordnet und in Umfangsrichtung voneinander getrennt sind, und
- einem Gehäuse (**4**, **5**) für eine Unterbringung der mehreren Laufräder (**2, 3, 22a** bis **22g**), wobei das Gehäuse (**4**, **5**) mit einer Ansaugöffnung (**30**) und einer Ausströmöffnung (**31**) versehen ist, durch die Ansaugöffnung (**30**) ein Gas in den Kompressor gesaugt und das angesaugte Gas durch Rotation der Laufräder (**2**, **3**, **22a** bis **22g**) jeder Stufe nacheinander komprimiert und aus der Ausströmöffnung (**31**) abgeführt wird,
dadurch gekennzeichnet, daß die dreidimensionale Konfiguration jeder Schaufel (**3c**) eines (**3**) der Laufräder (**2**, **3**, **22a** bis **22g**) einem Teil der dreidimensionalen Konfiguration einer Schaufel (**2c**) eines anderen (**2**) der Laufräder (**2**, **3**, **22a** bis **22g**) geometrisch identisch ist.

2. Kreiselverdichter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das eine Laufrad (**3**) weiter von der Ansaugöffnung (**30**) entfernt angeordnet ist als das andere Laufrad (**2**).

3. Kreiselverdichter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das eine Laufrad (**3**) bezogen auf einen in dem mehrstufigen Kreiselverdichter gebildeten Gasdurchfluß stromabwärts von dem anderen Laufrad (**2**) angeordnet ist.

4. Mehrstufiges Kreiselverdichtersystem mit mindestens zwei durch Rohre verbundenen Kreiselverdichtern, wobei jeder der beiden Kreiselverdichter umfasst:
– eine Drehwelle (**1**),
– ein Laufrad (**8**, **9**) mit einer Scheibe, einem Mantel und mehreren Schaufeln mit dreidimensionaler Form, die zwischen der Scheibe und dem Mantel angeordnet und in einer Umfangsrichtung voneinander getrennt sind, wobei die Scheibe und der Mantel auf der Drehwelle (**1**) angebracht sind, und
- ein Gehäuse (**4a**, **4b**), das zur Unterbringung des Laufrades (**8**, **9**) dient und eine Ansaugöffnung (**12a**, **12b**), durch die ein Gas angesaugt wird, und eine Ausströmöffnung (**13a**, **13b**), aus der das Gas abgeführt wird, aufweist;
dadurch gekennzeichnet, daß die dreidimensionale Konfiguration jeder Schaufel eines (**9**) der zu einem der mindestens zwei, Kreiselverdichter gehörenden Laufräder einem Teil der dreidimensionalen Konfiguration einer Schaufel eines anderen (**8**) der zu dem anderen der mindestens zwei Kreiselverdichter gehörenden Laufräder geometrisch identisch ist.

5. Mehrstufiges Kreiselverdichtersystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen zwei benachbarten Kreiselverdichtern ein Zwischenkühler (**14**) angeordnet ist.

6. Mehrstufiges Kreiselverdichtersystem nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Kreiselverdichter bezüglich eines innerhalb des mehrstufigen Kreiselverdichtersystems gebildeten Gasdurchflusses stromabwärts von dem anderen Kreiselverdichter angeordnet ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

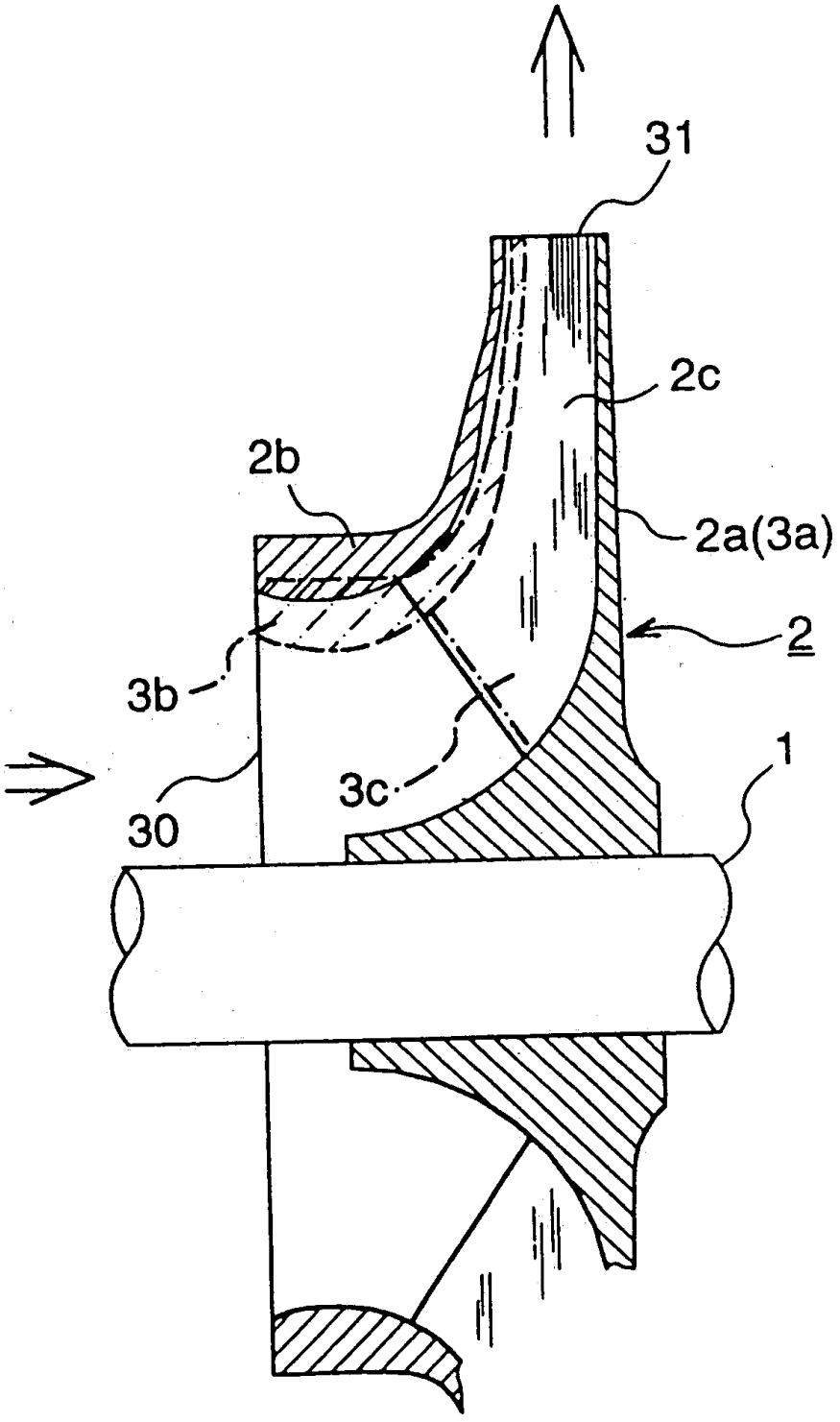


FIG. 2

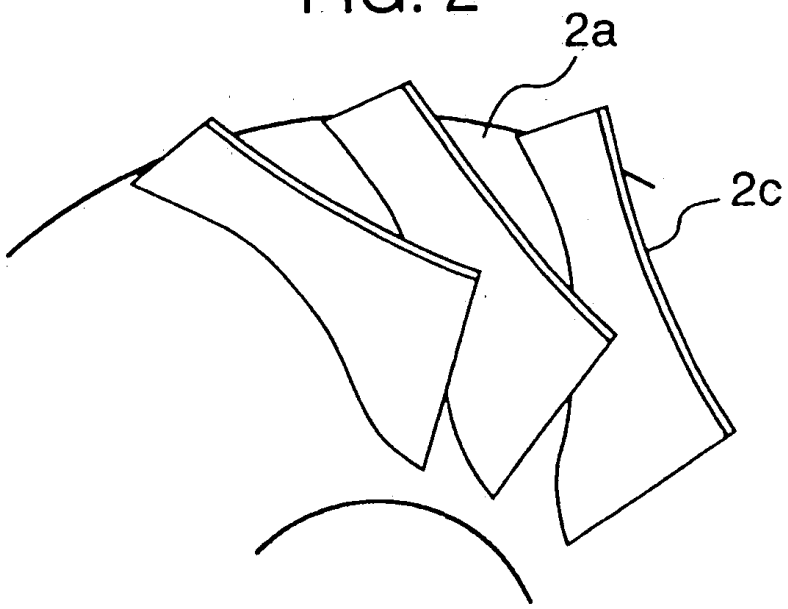

2a
2c

FIG. 3

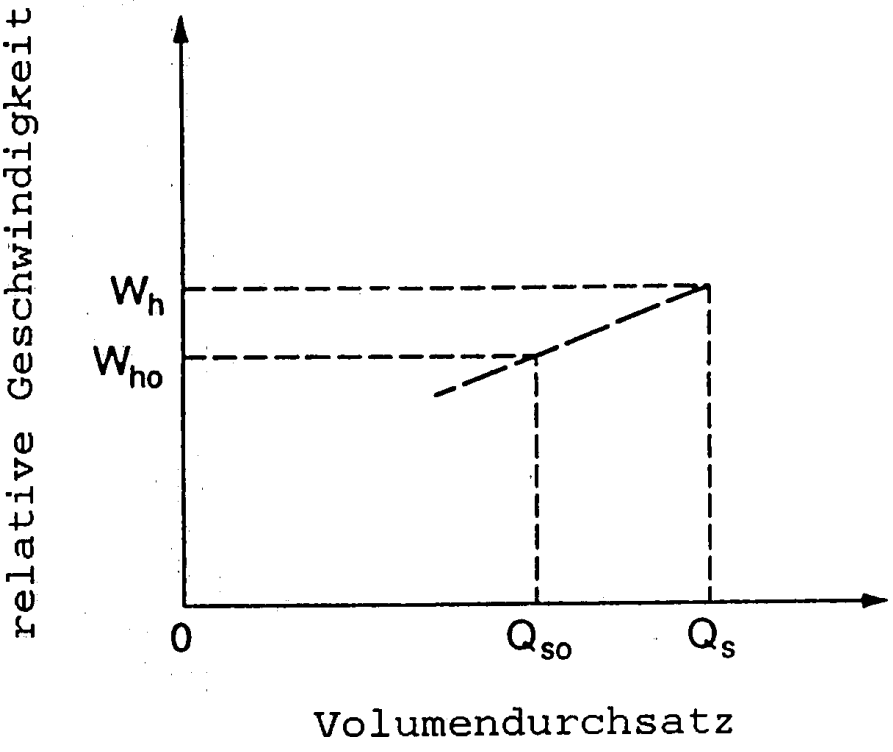

relative Geschwindigkeit
W_h
W_{ho}
0
Q_{so}
Q_s
Volumendurchsatz

FIG. 4

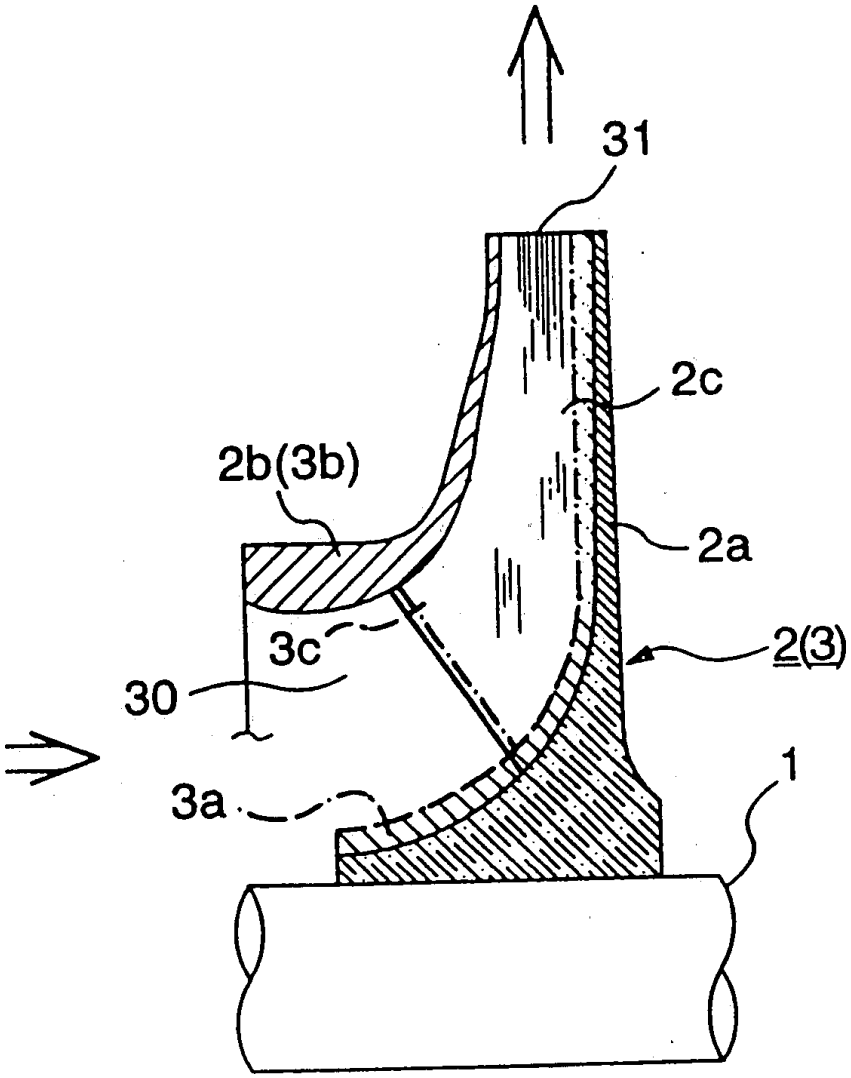


FIG. 5

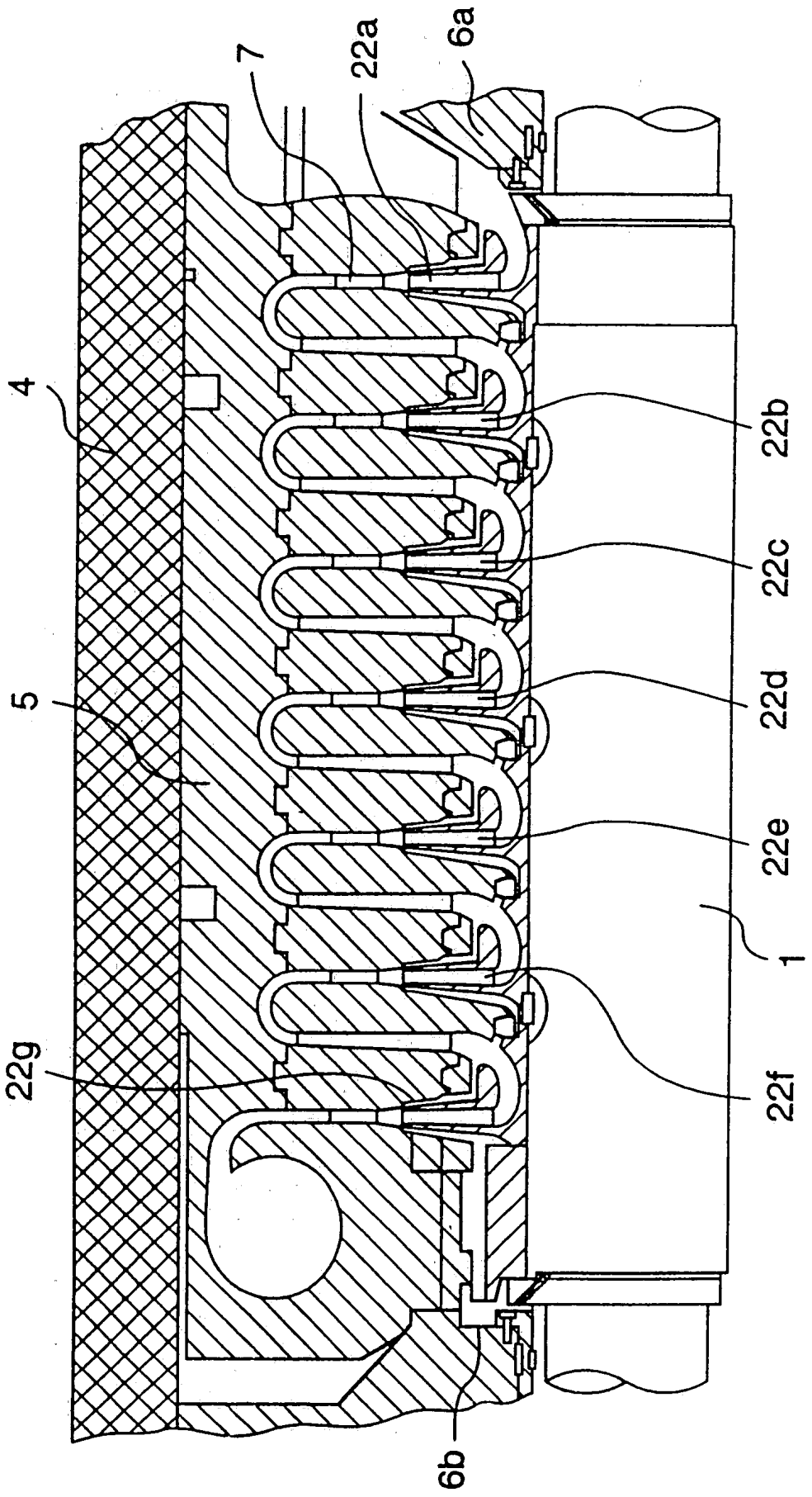


FIG. 6

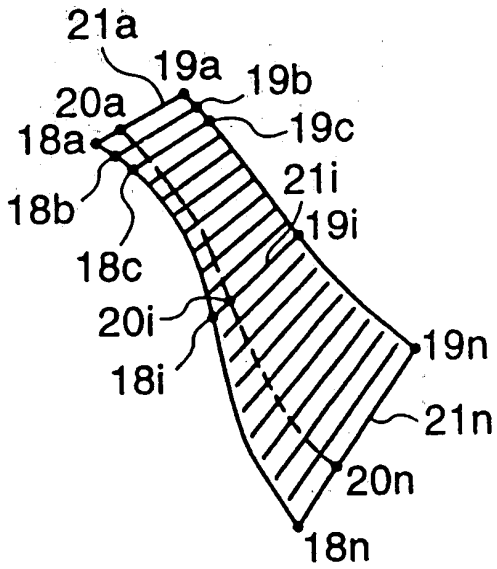

21a
19a
19b
20a
19c
18a
21i
18b
19i
18c
20i
19n
18i
21n
20n
18n

FIG. 7

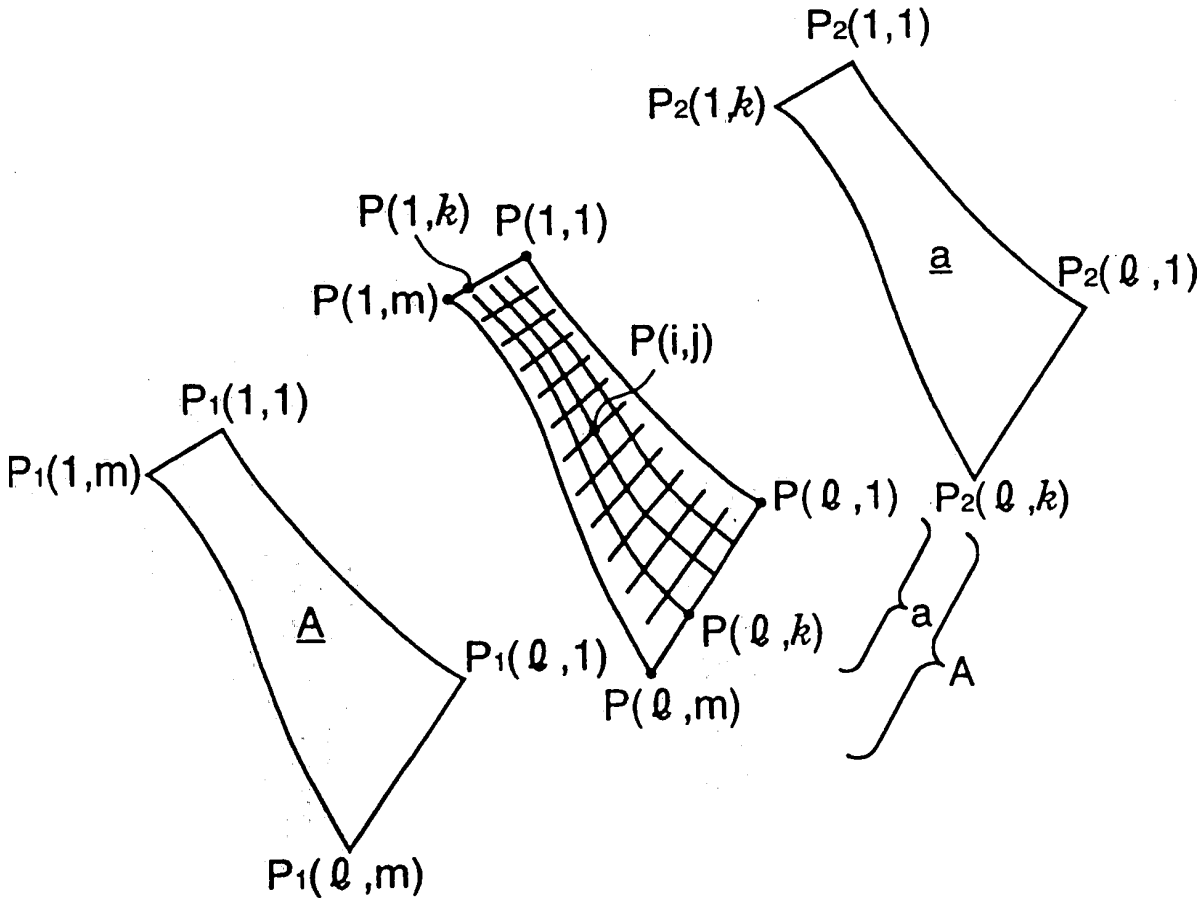

P2(1,1)
P2(1,k)
P(1,k)
P(1,1)
a
P2(ℓ,1)
P(1,m)
P(i,j)
P1(1,1)
P1(1,m)
P(ℓ,1)
P2(ℓ,k)
A
P1(ℓ,1)
P(ℓ,k)
a
A
P(ℓ,m)
P1(ℓ,m)

FIG. 8

