



(10) **DE 10 2020 201 830 B4** 2023.07.06

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 201 830.8**
(22) Anmeldetag: **13.02.2020**
(43) Offenlegungstag: **25.02.2021**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **06.07.2023**

(51) Int Cl.: **F04D 29/44** (2006.01)

Innerhalb von neun 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. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
2019-151896 22.08.2019 JP

(73) Patentinhaber:
Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Tokyo, JP

(74) Vertreter:
BARDEHLE PAGENBERG Partnerschaft mbB
Patentanwälte, Rechtsanwälte, 81675 München,
DE

(72) Erfinder:
Ishikawa, Yoshihiro, Tokyo, JP; Tomita, Isao,
Tokyo, JP; Iwakiri, Kenichiro, Tokyo, JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:

| | | |
|-----------|-------------------------|-----------|
| US | 9 551 225 | B2 |
| US | 2016 / 0 222 789 | A1 |
| EP | 1 860 325 | A1 |
| JP | 2004- 92 482 | A |
| JP | 2009- 197 613 | A |
| JP | 2018- 119 549 | A |

(54) Bezeichnung: **LEITSCHAUFEL-DIFFUSOR UND ZENTRIFUGALKOMPRESSOR**

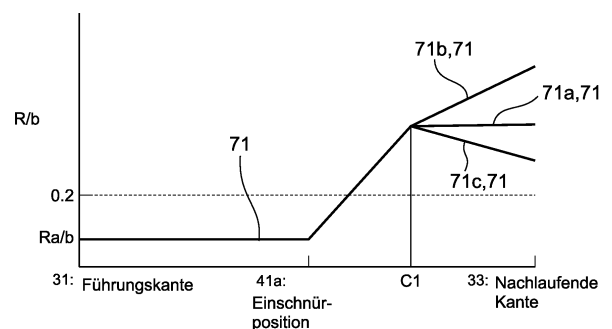
(57) Hauptanspruch: Ein an der stromabwärts gelegenen Seite eines Laufrads (20) eines Zentrifugalkompressors (100) vorgesehener Leitschaufel-Diffusor (10), bestehend aus:

einem einen Diffusordurchgang (8) bildenden Abschnitt, der eine nabenseitige Oberfläche (13a) und eine der nabenseitigen Oberfläche (13a) zugewandte mantelseitige Oberfläche 15a umfasst und einen ringförmigen Diffusordurchgang (8) auf einer stromabwärtigen Seite des Laufrads (20) bildet; und

eine Vielzahl von Diffusorschaufeln (30), die in dem Diffusordurchgang (8) in Intervallen in einer Umfangsrichtung des Laufrades (20) vorgesehen sind, wobei eine Ausrundung (50) in einem Verbindungsabschnitt (43, 45) zwischen jeder der Vielzahl von Diffusorschaufeln (30) und mindestens einer der nabenseitigen Oberfläche (13a) und der mantelseitigen Oberfläche (15a) gebildet wird, und wobei R ein Radius der Ausrundung (50) und b eine Schaufelhöhe jeder der mehreren Diffusorschaufeln (30) ist und ein Maximalwert von R/b auf einer stromabwärtigen Seite einer Einschnürposition (41a) des Diffusordurchgangs (8) größer als ein Maximalwert von R/b auf einer stromaufwärtigen Seite der Einschnürposition (41a) des Diffusordurchgangs (8) ist, wobei die Ausrundung (50) auf einer Druckfläche (30a) und einer Saugfläche (30b) jeder der mehreren Diffusorschaufeln (30) gebildet wird, und

wenn R_P ein Radius der auf der Druckfläche (30a) gebildeten Ausrundung (50) ist und R_S ein Radius der auf der

Saugfläche (30b) gebildeten Verrundung ist, ist eine Verteilung von R_P/b der auf der Druckfläche (30a) gebildeten Verrundung anders als eine Verteilung von R_S/b der auf der Saugfläche (30b) gebildeten Verrundung.



Beschreibung**ZUSAMMENFASSUNG****TECHNISCHER BEREICH**

[0001] Die vorliegende Offenlegung bezieht sich auf einen Diffusor mit Leitschaufeln und einen Zentrifugalkompressor.

HINTERGRUND

[0002] Ein Radialverdichter (Zentrifugalkompressor), der in einer Verdichtereinheit eines Turboladers für Fahrzeuge, Schiffe und Industriemaschinen verwendet wird, fügt dem Fluid durch die Rotation von Schaufelrädern kinetische Energie zu und gibt das Fluid in radialer Richtung nach außen ab, um einen auf der Fliehkraft basierenden Druckanstieg zu erreichen.

[0003] Es wurden verschiedene Anstrengungen unternommen, um die Leistung eines Radialverdichters zu verbessern. Eine der Bemühungen ist die Verbesserung der statischen Druckrückgewinnungsleistung (Diffusorleistung) eines Leitschaufel-Diffusors, der auf einer stromabwärts gelegenen Seite eines Laufrads des Radialverdichters vorgesehen ist. Das Patentdokument 1 offenbart beispielsweise eine Technik zur Unterdrückung der Abnahme der Diffusorleistung durch Verringerung des Einfalls zwischen dem Schaufelwinkel einer Diffusorschaufel und dem Strömungswinkel des Fluids (siehe Patentdokument 1).

[0004] JP 2009- 197 613 A betrifft einen Diffusor mit Schaufeln, der mit einer ringförmigen Diffusorplatte versehen ist, die in die nabenseitige Wandfläche eines Gehäuses eingelassen ist, und einer Vielzahl von Diffusorschaufeln, die in Abständen in einer Umfangsrichtung innerhalb eines ringförmigen Diffusorkanals angeordnet sind, der aus einer deckelseitigen Wandflächenwand des Gehäuses auf der Seite der Nabe und dessen Wandfläche gebildet ist, und der Basiskanten aufweist, die integral mit der Diffusorplatte verbunden sind.

[0005] US 2016 / 0 222 789 A1 betrifft eine Turbomaschine, die ein Laufrad aufweist, das drehbar neben einem Mantel mit einer Mantelfläche angeordnet ist. Das Laufrad weist eine Vielzahl von Laufradschaufeln auf. Dabei hat jede der Laufradschaufeln eine an die Mantelfläche angrenzende Mantelkante, eine Hinterkante und einen stromabwärts des Laufrads angeordneten Diffusor.

Zitierliste**Patent-Literatur**

[0006] Patentdokument 1: JP 2004- 92 482A

[0007] Bei dem in Patentdokument 1 offengelegten Zentrifugalkompressor wird die Abnahme der Diffusorleistung durch die Berücksichtigung einer Verteilung in einer Schaufelhöhenrichtung des Einfalls (incidence) effektiver unterdrückt. Eine weitere Verbesserung der Diffusorleistung ist jedoch unter dem Gesichtspunkt der Leistungsverbesserung des Radialverdichters erforderlich.

[0008] In Anbetracht des Vorstehenden ist es Ziel mindestens einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die Diffusorleistung eines Diffusors mit Leitschaufeln zu verbessern.

(1) Ein Leitschaufeldiffusor nach mindestens einer Ausbildungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Leitschaufeldiffusor, der auf einer stromabwärts gelegenen Seite eines Laufrades eines Radialverdichters vorgesehen ist, einschließlich: einem Diffusorkanal bzw. Diffusordurchgang, der einen Teil bildet, der eine nabenseitige Oberfläche und eine der nabenseitigen Oberfläche zugewandte Mantelseitenfläche umfasst und einen ringförmigen Diffusorkanal auf einer stromabwärtigen Seite des Laufrades bildet; und eine Vielzahl von Diffusorschaufeln, die in dem Diffusorkanal in Intervallen in einer Umfangsrichtung des Laufrads vorgesehen sind, wobei eine Ausrundung (fillet) in einem Verbindungsabschnitt zwischen jeder der Vielzahl von Diffusorschaufeln und mindestens einer der nabenseitigen Oberfläche und der mantelseitigen Oberfläche gebildet ist, und wobei R ein Radius der Ausrundung und b eine Schaufelhöhe jeder der mehreren Diffusorschaufeln ist und ein Maximalwert von R/b auf einer stromabwärtigen Seite einer Einschnürposition (throat position) des Diffusordurchgangs größer als ein Maximalwert von R/b auf einer stromaufwärtigen Seite der Einschnürposition des Diffusordurchgangs ist.

[0009] Im Allgemeinen wird ein Diffusorkanal so ausgebildet, dass die Querschnittsfläche des Kanals zur stromabwärtigen Seite hin zunimmt, so dass die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids zur stromabwärtigen Seite hin abnimmt, um eine Wiederherstellung des statischen Drucks zu erreichen. Da das Fluid in der Nähe des Verbindungsabschnitts bzw. Anschlussteils wahrscheinlich jeweils von der nabenseitigen Oberfläche und der Diffusorschaufel, die zwei sich kreuzende Wände sind, oder von der mantelseitigen Oberfläche und der Diffusorschaufel beeinflusst wird, ist es besonders wahrscheinlich, dass die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids abnimmt. Im Diffusorkanal steigt zwar der statische Druck auf der stromabwärts gelegenen Seite des Diffusorkanals aufgrund eines statischen Druckanstiegs, der aus der Wiederherstellung des statischen

Drucks resultiert, aber wenn die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids in der Nähe des Verbindungsabschnitts abnimmt, kann es aufgrund des Einflusses des statischen Drucks, der zur stromabwärts gelegenen Seite des Diffusorkanals hin zunimmt, zu einem Rückfluss des Fluids kommen. Daher kann der Fluidstrom vom Anschluss teil (Verbindungsteil) getrennt werden, der effektive Durchgangs querschnitt kann sich verengen und die Leistung der statischen Druckrückgewinnung kann sich verringern.

[0010] Da der Radius R der im Verbindungsteil gebildeten Verrundung bzw. Ausrundung (fillet) mit zunehmendem R/b zunimmt, die nabenseitige Oberfläche und die mantelseitige Oberfläche im Verbindungsteil mit der Diffusorschaufel mit der dazwischen angeordneten Verrundung glatt verbunden sind, ist es weniger wahrscheinlich, dass das Fluid von den beiden sich kreuzenden Wänden beeinflusst wird, und die Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit des Fluids in der Nähe des Verbindungsteils wird unterdrückt. Daher ist es möglich, das Auftreten der oben beschriebenen Rückströmung zu unterdrücken und die Trennung der Flüssigkeit zu unterdrücken. Da die Querschnittsfläche des Durchgangs bei Erhöhung des R/b im Vergleich zum kleinen R/b abnimmt, ist es außerdem möglich, die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids nicht mehr als nötig zu verringern, so dass die oben beschriebene Rückströmung weniger wahrscheinlich ist und die Trennung des Fluids unterdrückt werden kann. Aus der Sicht der statischen Druckrückgewinnung ist es zwar wünschenswert, die Durchgangs querschnittsfläche des Diffusors zur stromabwärtigen Seite hin weiter zu vergrößern, um die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids weiter zu verringern, aber wenn die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids übermäßig abnimmt, kommt es zu der oben beschriebenen Rückströmung und Abscheidung, die Leistung des Diffusors nimmt jedoch stark ab. Daher ist es möglich, durch Erhöhung des R/b die Vergrößerung der Querschnittsfläche des Durchgangs zur stromabwärtigen Seite hin zu erhöhen und die Rückströmung und die Abscheidung zu unterdrücken, was zu einer Verbesserung der Diffusorleistung führt.

[0011] Andererseits ist es wünschenswert, den Durchgangs querschnitt auf einer Seite, die näher an der stromaufwärtigen Seite liegt als die Einschnürungsposition des Diffusordurchgangs, so weit wie möglich zu vergrößern, um eine Verbesserung der Diffusorleistung zu erreichen. Daher ist der kleinere R/b auf der stromaufwärts gelegenen Seite wünschenswert als die Einschnürungsposition des Diffusordurchgangs.

[0012] Entsprechend der Konfiguration von (1) ist der maximale Wert von R/b auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürungsposition des Diffus-

sordurchgangs größer als der maximale Wert von R/b auf der stromaufwärts gelegenen Seite der Einschnürungsposition des Diffusordurchgangs. Da die Durchgangs querschnittsfläche auf der Seite, die der stromaufwärtigen Seite näher liegt als die Einschnürungsposition des Diffusordurchgangs, so weit wie möglich vergrößert werden kann, während die oben beschriebene Rückströmung und Abscheidung unterdrückt wird, ist es möglich, die Diffusorleistung effektiv zu verbessern.

[0013] (2) Bei einigen Ausführungen in der Konfiguration von (1) ist der maximale Wert von R/b auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürungsposition des Diffusordurchgangs gleich oder größer als 0,2.

[0014] Nach den Erkenntnissen des gegenwärtigen Erfinders beträgt die Dicke einer Grenzschicht des Diffusordurchgangs (d.h. die Dicke eines Bereichs nahe der Wand, in dem die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids relativ gering ist) etwa 20% der Schaufelhöhe der Diffusorschaufel. Daher wird gemäß der Konfiguration von (2), wenn der Maximalwert von R/b gleich oder größer als 0,2 ist, da die Abmessung in Richtung der Schaufelhöhe der Ausrundung 20% oder mehr der Schaufelhöhe der Diffusorschaufel beträgt, die Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit des Fluids in der Nähe des Anschluss teils wirksam unterdrückt. Daher ist es möglich, den Rückfluss und die Abscheidung wirksam zu unterdrücken.

[0015] (3) Bei einigen Ausführungen in der Konfiguration von (1) oder (2) nimmt der R/b in mindestens einem Teilsegment auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürstelle des Diffusordurchgangs in Richtung der Hinterkantenseite der Diffusorschaufel zu.

[0016] Nach den Erkenntnissen des gegenwärtigen Erfinders entwickelt sich die oben beschriebene Rückströmung und Trennung zur stromabwärtigen Seite des Diffusordurchgangs hin. Daher ist es nach der Konfiguration von (3) möglich, durch Erhöhung des R/b zur Hinterkantenseite der Diffusorschaufel hin die oben beschriebene Rückströmung und Abscheidung wirksam zu unterdrücken.

[0017] (4) Bei einigen Ausführungen in der Konfiguration von (3) steigt der R/b in mindestens einem Teilsegment auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürstelle des Diffusordurchgangs linear zur Hinterkantenseite der Diffusorschaufel hin an.

[0018] Nach den Erkenntnissen des gegenwärtigen Erfinders wird eine bessere Diffusorleistung erzielt, wenn sich die Durchgangs querschnittsfläche des Diffusordurchgangs zur Hinterkantenseite der Diffusorschaufel hin linear ändert, als wenn sich die Durchgangs querschnittsfläche nichtlinear ändert.

Wenn die Diffusorscheufel in einer linearen Form unter Verwendung eines ebenen Elements oder ähnlichem geformt wird, z.B. durch lineare Zunahme von R/b zur Hinterkantenseite der Diffusorscheufel wie in der Konfiguration von (4), ist es daher möglich, die Durchgangsquerschnittsfläche des Diffusordurchgangs linear zu ändern. Auf diese Weise wird eine zufriedenstellende Leistung des Diffusors erreicht.

[0019] Entsprechend der Konfiguration von (4), da die Ausrundung so geformt ist, dass sich der Radius R der Ausrundung linear ändert, ist es einfach, den Leitschaufel-Diffusor herzustellen.

[0020] (5) In einigen Ausführungsformen in der Konfiguration von (3) nimmt R/b in mindestens einem Teilsegment auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürstelle des Diffusordurchgangs zu einer Hinterkantenseite der Diffusorscheufel hin gekrümmt zu, so dass ein Betrag der Änderung zur Hinterkantenseite hin zunimmt.

[0021] Nach den Erkenntnissen des gegenwärtigen Erfinders wird eine bessere Diffusorleistung erzielt, wenn sich die Durchgangsquerschnittsfläche des Diffusordurchgangs zur Hinterkantenseite der Diffusorscheufel hin linear ändert, im Vergleich zu einer nichtlinearen Änderung der Durchgangsquerschnittsfläche. Wenn die Diffusorscheufel in einer nichtlinear gekrümmten Form zur Hinterkantenseite hin gebildet wird, z.B. durch eine gekrümmte Erhöhung von R/b , so dass der Betrag der Änderung (d.h. der Wert von R/b wird nach unten konvex) zur Hinterkantenseite der Diffusorscheufel hin zunimmt, ist es daher möglich, die Durchgangsquerschnittsfläche des Diffusordurchgangs linear zu ändern. Auf diese Weise wird eine zufriedenstellende Leistung des Diffusors erreicht.

[0022] (6) In der Ausführungsformen (1) wird die Ausrundung auf einer Druckfläche (Druckseite) und einer Saugfläche (Saugseite) jeder der Vielzahl von Diffusorscheufeln gebildet, und wenn R_p ein Radius der auf der Druckfläche gebildeten Ausrundung und R_s ein Radius der auf der Saugfläche gebildeten Ausrundung ist, ist eine Verteilung von R_p/b der auf der Druckfläche gebildeten Ausrundung anders als eine Verteilung von R_s/b der auf der Saugfläche gebildeten Ausrundung.

[0023] Nach den Erkenntnissen des gegenwärtigen Erfinders ist die Dicke der Grenzschicht des Diffusordurchgangs auf der Druckflächenseite anders als auf der Saugflächenseite. Daher ist es, wie in der Konfiguration von (6), möglich, die Diffusorleistung zu verbessern, wenn die Verteilung von R_p/b der in der Druckfläche gebildeten Ausrundung von der Verteilung von R_s/b der in der Saugfläche gebildeten Ausrundung in Abhängigkeit von den Dicken der auf

den jeweiligen Flächen gebildeten Grenzschichten abweicht.

[0024] (7) In einigen Ausführungsformen ist in der Konfiguration von (1) bis (5) ein Maximalwert von R_p/b auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürungsposition des Diffusorkanals größer als ein Maximalwert von R_s/b auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürungsposition des Diffusorkanals.

[0025] Nach den Erkenntnissen des gegenwärtigen Erfinders ist in einem bestimmten Betriebspunkt des Radialverdichters die Grenzschicht auf der Druckflächenseite dicker als die auf der Saugflächenseite. Wie in der Konfiguration von (7) ist es daher möglich, die Diffusorleistung zu verbessern, wenn der Maximalwert von R_p/b auf der Druckflächenseite auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürung größer ist als der Maximalwert von R_s/b auf der Saugflächenseite, da eine Sekundärströmung erzeugt wird und die Grenzschicht auf der Druckflächenseite dünner wird.

[0026] (8) Bei einigen Ausführungsformen, in einer der Konfigurationen von (1) bis (7), wird die Verrundung (Ausrundung) nur in einem Verbindungsabschnitt zwischen der nabenseitigen Oberfläche und jeder der Vielzahl von Diffusorscheufeln oder nur in einem Verbindungsabschnitt zwischen der mantelseitigen Oberfläche und jeder der Vielzahl von Diffusorscheufeln gebildet.

[0027] Die Ausrundung, die nur in dem Verbindungsabschnitt zwischen der nabenseitigen Oberfläche und jeder der Vielzahl von Diffusorscheufeln oder nur in dem Verbindungsabschnitt zwischen der mantelseitigen Oberfläche und jeder der Vielzahl von Diffusorscheufeln gebildet wird, trägt zur Verbesserung der Diffusorleistung bei. Daher ist es je nach der Konfiguration von (8) möglich, die Diffusorleistung zu verbessern.

[0028] (9) In einigen Ausführungen in der Konfiguration von (1) bis (7) enthält das Laufrad eine Vielzahl von Schaufeln, die in Umfangsrichtung des Laufrads in Abständen angeordnet sind, wobei die Spitzen der Vielzahl von Schaufeln mit einem vorbestimmten Spalt in Bezug auf eine Innenfläche eines Gehäuses des Zentrifugalkompressors angeordnet sind und die Ausrundung zumindest in einem Verbindungsabschnitt zwischen der mantelseitigen Oberfläche und jeder der Vielzahl von Diffusorscheufeln ausgebildet ist.

[0029] Gemäß der Konfiguration von (9) sind die Spitzen der mehreren Schaufeln mit einem vorbestimmten Abstand zur Innenfläche des Gehäuses des Radialverdichters angeordnet. Das heißt, nach der Konfiguration von (9) ist das Laufrad als so-

nanntes offenes Laufrad ohne ringförmiges Deckblech ausgebildet.

[0030] Nach den Erkenntnissen des vorliegenden Erfinders bildet sich bei einem Radialverdichter mit offenem Laufrad durch den Einfluss einer Leckageströmung aus dem Schaufelspitzenspiel eine Grenzschicht aus, die auf der deckelseitigen Oberfläche dicker ist als auf der nabenseitigen Oberfläche.

[0031] Da die Ausrundung im Verbindungsbereich zwischen der mantelseitigen Oberfläche und jeder der mehreren Diffusorschaufeln gebildet wird, kann entsprechend der Konfiguration von (9) eine Verbesserung der Diffusorleistung eines offenen Laufrades erreicht werden.

[0032] (10) Ein Zentrifugalkompressor bzw. Radialverdichter gemäß mindestens einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst: ein Laufrad; und den Leitschaufel-Diffusor gemäß der Konfiguration eines der (1) bis (9).

[0033] Da der Zentrifugalkompressor den Leitschaufel-Diffusor in der Konfiguration von (1) bis (9) enthält, ist es möglich, die Leistung des Diffusors effektiv zu verbessern und den Wirkungsgrad des Zentrifugalkompressors zu erhöhen.

[0034] Nach mindestens einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist es möglich, die Diffusorleistung eines Lamellendiffusors zu verbessern.

Figurenliste

Fig. 1 ist eine schematische Querschnittsansicht entlang einer axialen Richtung eines Radialverdichters nach einer Ausführungsform.

Fig. 2 ist eine Ansicht entlang des Pfeils II-II in Fig. 1.

Fig. 3 ist eine Ansicht entlang des Pfeils III-III in Fig. 2.

Fig. 4 ist eine Ansicht entlang der Pfeile IV-IV in Fig. 2.

Fig. 5 ist eine Ansicht entlang des Pfeils V-V in Fig. 2.

Fig. 6 ist eine Ansicht entlang der Pfeile VI-VI in Fig. 2.

Fig. 7 ist eine schematische Ansicht, die ein Beispiel zeigt, bei dem eine Verrundung in zwei von vier Verbindungsabschnitten gebildet wird.

Fig. 8 ist eine schematische Ansicht, die ein Beispiel zeigt, bei dem eine Verrundung in drei von vier Verbindungsabschnitten gebildet wird.

Fig. 9 ist eine schematische Ansicht, die ein Beispiel veranschaulicht, bei dem eine Verrundung

in allen vier Verbindungsabschnitten gebildet wird.

Fig. 10 ist ein Beispiel für ein Diagramm, das veranschaulicht, wie sich die Größe eines Radius R der Verrundung in einem Bereich von der Vorderkante einer Diffusorschaufel bis zur Hinterkante in einigen Ausführungsformen ändert.

Fig. 11 ist ein Beispiel für ein Diagramm, das veranschaulicht, wie sich die Größe eines Radius R der Verrundung in einem Bereich von der Vorderkante einer Diffusorschaufel bis zur Hinterkante in einigen Ausführungen ändert.

Fig. 12 ist ein Beispiel für ein Diagramm, das veranschaulicht, wie sich die Größe eines Radius R der Verrundung in einem Bereich von der Vorderkante einer Diffusorschaufel bis zur Hinterkante in einigen Ausführungen ändert.

Fig. 13 ist ein Beispiel für ein Diagramm, das veranschaulicht, wie sich die Größe eines Radius R der Verrundung in einem Bereich von der Vorderkante einer Diffusorschaufel bis zur Hinterkante in einigen Ausführungen ändert.

Fig. 14 ist ein Diagramm zur Beschreibung einer Grenzschicht und einer Sekundärströmung in einem Diffusordurchgang.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0035] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nun anhand der beiliegenden Zeichnungen ausführlich beschrieben. Es ist jedoch beabsichtigt, dass Abmessungen, Materialien, Formen, relative Positionen und Ähnliches der in den Ausführungsformen beschriebenen Komponenten, sofern nicht besonders spezifiziert, nur zur Veranschaulichung und nicht zur Beschränkung des Anwendungsbereichs der vorliegenden Erfindung ausgelegt werden sollen.

[0036] In der vorliegenden Spezifikation ist ein Ausdruck der relativen oder absoluten Anordnung wie „in einer Richtung“, „entlang einer Richtung“, „parallel“, „orthogonal“, „zentriert“, „konzentrisch“ und „koaxial“ nicht nur als Angabe der Anordnung im engeren Wortsinn zu verstehen, sondern schließt auch einen Zustand ein, in dem die Anordnung um eine Toleranz oder um einen Winkel oder eine Strecke relativ verschoben ist, wodurch die gleiche Funktion erreicht werden kann.

[0037] Beispielsweise ist ein Ausdruck eines gleichen Zustands wie „gleich“, „genauso“ und „einheitlich“ nicht so auszulegen, dass er nur den Zustand angibt, in dem das Merkmal streng gleich ist, sondern umfasst auch einen Zustand, in dem es eine Toleranz oder einen Unterschied gibt, der noch die gleiche Funktion erfüllen kann.

[0038] Darüber hinaus ist in der vorliegenden Spezifikation ein Ausdruck einer Form, wie z.B. eine rechteckige Form oder eine zylindrische Form, nicht nur als die geometrisch strenge Form auszulegen, sondern schließt auch eine Form mit Unebenheiten oder abgeschrägten Ecken innerhalb des Bereichs ein, in dem die gleiche Funktion erzielt werden kann.

[0039] Darüber hinaus soll in der vorliegenden Spezifikation ein Ausdruck wie „umfassen“, „einschließen“, „haben“, „enthalten“ und „konstituieren“ andere Bestandteile nicht ausschließen.

[0040] **Fig. 1** ist eine schematische Querschnittsansicht entlang einer axialen Richtung eines Radialverdichters 100 gemäß einer Ausführungsform. **Fig. 2** ist eine perspektivische Ansicht entlang des Pfeils II-II in **Fig. 2** und ist eine schematische Ansicht zur Beschreibung eines Leitschaufel-Diffusors 10, der später beschrieben wird. **Fig. 3** ist eine Ansicht entlang des Pfeils III-III in **Fig. 2**. **Fig. 4** ist eine Ansicht entlang der Pfeile IV-IV in **Fig. 2**. **Fig. 5** ist eine Ansicht entlang des Pfeils V-V in **Fig. 2**. **Fig. 6** ist eine Ansicht entlang der Pfeile VI-VI in **Fig. 2**.

[0041] Der Radialverdichter 100 kann z.B. für Turbolader von Automobilen oder Schiffen und andere industrielle Radialverdichter, Gebläse und dergleichen eingesetzt werden.

[0042] In der folgenden Beschreibung wird eine später zu beschreibende axiale Richtung (d.h. eine Ausdehnungsrichtung des Rotationsmittelpunktes O) eines Laufrades 20 als axiale Richtung bezeichnet. Die stromaufwärtige Seite entlang der Strömung des in den Radialverdichter 100 einströmenden Fluids unter den axialen Richtungen wird als axiale stromaufwärtige Seite und die gegenüberliegende Seite als axiale stromabwärtige Seite bezeichnet. In den später zu beschreibenden **Fig. 3** bis **Fig. 9** wird die axiale stromaufwärtige Seite als Mantelseite und die axiale stromabwärtige Seite als Nabenseite bezeichnet.

[0043] In der folgenden Beschreibung wird eine radiale Richtung des Laufrads 20 um den Drehpunkt O herum ebenfalls einfach als radiale Richtung bezeichnet. Eine Richtung, die unter den radialen Richtungen näher am Drehzentrum O liegt, wird als radiale Innenseite und eine Richtung, die vom Drehzentrum O wegführt, als radiale Außenseite bezeichnet.

[0044] In der folgenden Beschreibung wird eine Richtung entlang der Drehrichtung des Laufrades 20 um den Drehpunkt O auch einfach als Umfangsrichtung bezeichnet.

[0045] In der folgenden Beschreibung bezeichnet eine Seite, die einfach als stromaufwärts gelegene

Seite bezeichnet wird, eine stromaufwärts gelegene Seite entlang der Richtung eines Hauptflusses von Fluid in einem Teil oder einem Bereich, der mit der Beschreibung einer Richtung zusammenhängt. In ähnlicher Weise zeigt in der folgenden Beschreibung eine Seite, die einfach als die stromabwärts gelegene Seite bezeichnet wird, eine stromabwärts gelegene Seite entlang der Richtung eines Hauptflusses von Fluid in einem Teil oder einem Bereich an, der mit der Beschreibung einer Richtung in Zusammenhang steht.

[0046] Der Zentrifugalkompressor 100 umfasst nach einigen Ausführungsformen ein Laufrad 20 und ein Gehäuse 3, wie z.B. in **Fig. 1** dargestellt. Das Gehäuse 3 umfasst einen Spiralteil 6, der einen Spiralkanal 4 an einem Außenumfangsteil des Laufrads 20 bildet, und einen Leitschaufel-Diffusor 10, der auf der stromabwärts gelegenen Seite des Laufrads 20 vorgesehen ist, um vom Laufrad 20 verdichtetes Fluid (komprimierte Luft) dem Spiralkanal 4 zuzuführen.

[0047] In einigen Ausführungsformen enthält das Laufrad 20 eine Vielzahl von Schaufeln 21, die in Abständen in Umfangsrichtung des Laufrads 20 angeordnet sind. Jede der Vielzahl von Schaufeln 21 steht auf einer Nabenfläche 20a des Laufrades 20.

[0048] In einigen Ausführungen sind die Spitzen 21a der Vielzahl von Schaufeln 21 mit einem vorbestimmten Spalt in Bezug auf eine Innenfläche 3a des Gehäuses 3 angeordnet. Das heißt, das Laufrad 20 ist nach einigen Ausführungsformen als offenes Laufrad konfiguriert, das kein ringförmiges Abdeckblech aufweist.

[0049] Der Leitschaufel-Diffusor 10 enthält nach einigen Ausführungsformen einen Diffusorkanal, der den Teil 11 bildet, der einen ringförmigen Diffusorkanal bzw. Diffusordurchgang 8 auf der stromabwärts gelegenen Seite des Laufrades 20 bildet, und eine Vielzahl von Diffusorschaufeln 30, die im Diffusorkanal 8 in Abständen in Umfangsrichtung des Laufrades 20 vorgesehen sind.

[0050] In einem Querschnitt entlang der axialen Richtung des Laufrads 20 (d.h. auf der Plattenoberfläche von **Fig. 1**) hat der Spiralkanal 4 eine kreisförmige Form und der Diffusorkanal 8 ist in einer linearen Form ausgebildet.

[0051] Der den Teil 11 bildende Diffusorkanal wird durch ein Paar von Kanalwänden 13 und 15 gebildet, die den Diffusorkanal 8 in axialer Richtung des Laufrads 20 sandwichartig umschließen. Von dem Paar von Durchgangswänden 13 und 15 hat die nabenseitige Durchgangswand 13 eine nabenseitige Oberfläche 13a, die den Diffusorkanal 8 berührt, und die

mantelseitige Durchgangswand 15, die der nabenseitigen Oberfläche 13a zugewandt ist, und die mantelseitige Oberfläche 15a, die den Diffusorkanal 8 berührt.

[0052] In **Fig. 1** sind zwar der Spiralteil 6 und der den Teil 11 bildende Diffusordurchgang der Einfachheit halber mit unterschiedlichen Mustern schraffiert, aber das Gehäuse 3 kann aus einer Vielzahl von Gehäusekomponenten gebildet werden, die unabhängig von der Grenzposition zwischen dem Spiralteil 6 und dem den Teil 11 bildenden Diffusordurchgang an beliebigen Stellen verbunden sind. Darüber hinaus kann das Gehäuse 3 einen Teil eines Lagergehäuses enthalten, das Lager aufnimmt, die das Laufrad 20 drehbar lagern, sowie ein Verdichtergehäuse, welches das Laufrad 20 aufnimmt.

[0053] Zum Beispiel hat, wie auch in **Fig. 2** dargestellt, jede der mehreren Diffusorschaufeln 30 eine druckflächenseitige Wand 30a, die sich von einer Vorderkante 31, die ein inneres Ende in radialer Richtung der Diffusorschaufel 30 ist, bis zu einer Hinterkante 33, die ein äußeres Ende in radialer Richtung ist, erstreckt, und eine saugseitige Wand 30b, die auf der gegenüberliegenden Seite in Richtung der Schaufeldicke der druckflächenseitigen Wand 30a vorgesehen ist. In der folgenden Beschreibung wird die druckflächenseitige Wand 30a auch einfach als Druckfläche 30a und die saugflächenseitige Wand 30b auch einfach als Saugfläche 30b bezeichnet. Bei einigen Ausführungen ist eine konvex-seitige Wand der Diffusorschaufel 30 die Druckfläche 30a und eine konkav-seitige Wand die Saugfläche 30b.

[0054] Bei einem Paar von in Umfangsrichtung benachbarten Diffusorschaufeln 30 steht die Druckfläche 30a der einen Diffusorschaufel 30 der Saugfläche 30b der anderen Diffusorschaufel 30 gegenüber. Eine Position, bei der die Durchgangsfläche zwischen einem Diffusorschaufelpaar 30 am kleinsten ist, wird als Einschnürung 41 bezeichnet. In **Fig. 2** ist ein Bereich, in dem die Einschnürung 41 vorhanden ist, durch gestrichelte Linien gekennzeichnet. In der folgenden Beschreibung wird die Position des Bereichs, in dem die Einschnürung 41 vorhanden ist, auch als Einschnürungsposition 41a bezeichnet.

[0055] Beim Radialverdichter 100 wird bei einigen Ausführungsformen die Diffusorleistung des Leitschaufel-Diffusors 10 verbessert, um die Leistung des Radialverdichters 100 zu erhöhen. Im Folgenden wird der Leitschaufel-Diffusor 10 nach einigen Ausführungsformen detailliert beschrieben.

[0056] Der Leitschaufel-Diffusor 10 nach einigen Ausführungsformen enthält einen Verbindungsabschnitt 43 zwischen der nabenseitigen Oberfläche 13a und jeder der mehreren Diffusorschaufeln 30

und einen Verbindungsabschnitt 45 zwischen der mantelseitigen Oberfläche 15a und jeder der mehreren Diffusorschaufeln 30. D.h. der Leitschaufel-Diffusor 10 gemäß einigen Ausführungsformen enthält vier Verbindungsabschnitte 43 und 45, einschließlich des Verbindungsabschnitts 43, der die Druckfläche 30a und die nabenseitige Fläche 13a verbindet, des Verbindungsabschnitts 43, der die Saugfläche 30b und die nabenseitige Fläche 13a verbindet, des Verbindungsabschnitts 45, der die Druckfläche 30a und die mantelseitige Fläche 15a verbindet, und des Verbindungsabschnitts 45, der die Saugfläche 30b und die mantelseitige Fläche 15a verbindet.

[0057] Beim Leitschaufel-Diffusor 10 wird nach einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 4** bis **Fig. 6** dargestellt, in mindestens einem Verbindungsteil der vier Verbindungsteile 43 und 45 eine Ausrundung bzw. Verrundung 50 gebildet. In dem in den **Fig. 4** bis **Fig. 6** dargestellten Beispiel wird die Ausrundung 50 in dem Verbindungsteil 43 gebildet, das die Saugfläche 30b und die nabenseitige Fläche 13a verbindet.

[0058] Die Verrundung 50 ist nach einigen Ausführungsformen ein absichtlich gebildeter Bogen, im Gegensatz zu einem Eckbogen, der auch als sogenannter Eck-R-Abschnitt bezeichnet wird (d.h. ein Eckbogen, der unabsichtlich bei der Bildung des Leitschaufel-Diffusors 10 in einem sich kreuzenden Wandabschnitt gebildet wird). Der Radius der Verrundung 50 hat einen Krümmungsradius, der größer ist als der Radius eines Bogens einer unbeabsichtigt gebildeten Ecke. Wenn der Radius eines Bogens einer unbeabsichtigt geformten Ecke in einigen Ausführungsformen R_a ist, hat R_a/b im Allgemeinen eine Größe von etwa 0,05 bis 0,1. Die Verrundung 50 hat möglicherweise keine vollständige Bogenform, aber sie kann eine annähernd bogenförmige Form haben.

[0059] Die Verrundung 50 kann nach einigen Ausführungsformen in einem von drei Verbindungsabschnitten 43 und 45 gebildet werden, mit Ausnahme des Verbindungsabschnitts 43, der die Saugfläche 30b und die nabenseitige Fläche 13a verbindet.

[0060] Darüber hinaus kann die Verrundung 50 nach einigen Ausführungsformen in zwei beliebigen der vier Verbindungsteile 43 und 45 gebildet werden. **Fig. 7** ist beispielsweise eine schematische Darstellung, die ein Beispiel zeigt, bei dem die Verrundung 50 in zwei der vier Verbindungsabschnitte 43 und 45 gebildet wird. In dem in **Fig. 7** dargestellten Beispiel wird die Verrundung 50 nach einigen Ausführungsformen in dem Verbindungsteil 43, der die Saugfläche 30b und die nabenseitige Fläche 13a verbindet, und dem Verbindungsteil 45, der die Saugfläche 30b und die mantelseitige Fläche 15a verbindet, gebildet.

[0061] Die Verrundung 50 kann nach einigen Ausführungsformen in drei beliebigen der vier Verbindungsabschnitte 43 und 45 gebildet werden. Beispielsweise ist **Fig. 8** eine schematische Darstellung, die ein Beispiel zeigt, bei dem die Verrundung 50 in drei der vier Verbindungsabschnitte 43 und 45 gebildet wird. In dem in **Fig. 8** dargestellten Beispiel wird die Verrundung 50 gemäß einigen Ausführungsformen in dem Verbindungsabschnitt 43 gebildet, der die Saugfläche 30b und die nabenseitige Fläche 13a verbindet, in dem Verbindungsabschnitt 45, der die Saugfläche 30b und die mantelseitige Fläche 15a verbindet, und in dem Verbindungsabschnitt 43, der die Druckfläche 30a und die nabenseitige Fläche 13a verbindet.

[0062] Die Verrundung 50 kann nach einigen Ausführungsformen in allen vier Verbindungsabschnitten 43 und 45 ausgebildet werden. Beispielsweise ist **Fig. 9** eine schematische Darstellung, die ein Beispiel zeigt, bei dem die Verrundung 50 in allen vier Verbindungsabschnitten 43 und 45 gebildet wird.

[0063] **Fig. 10** bis **Fig. 13** sind Beispiele für ein Diagramm, das veranschaulicht, wie sich die Größe des Radius R der Verrundung 50 in einem Bereich von der Vorderkante 31 der Diffusorschaukel 30 bis zur Hinterkante 33 in einigen Ausführungsformen ändert. In **Fig. 10** bis **Fig. 13** liegt die Position von der Vorderkante 31 bis zur Hinterkante 33 der konkaven Seitenwand 30b (d.h. der Saugfläche 30b) auf der horizontalen Achse, und der Wert R/b , der eine Division des Radius R der Verrundung 50 durch die Schaukelhöhe b der Diffusorschaukel 30 ist, liegt auf der vertikalen Achse.

[0064] Die Diagramme 71 bis 74 in den **Fig. 10** bis **Fig. 13** sind einfache Beispiele und die vorliegende Erfindung ist nicht darauf beschränkt.

[0065] Wie in den Diagrammen 71 und 74 in **Fig. 10** bzw. **Fig. 13** dargestellt, kann z.B. die Verrundung 50 nicht in einem Bereich von der Vorderkante 31 bis zur Einschnürungsposition 41a vorgesehen werden, aber die Verrundung 50 kann in einem späteren Bereich später als die Einschnürungsposition 41a vorgesehen werden, so dass der Wert von R/b auf einer Seite, die näher an der Hinterkante 33 liegt als die Einschnürungsposition 41a, gleich oder größer als 0,2 ist. In der folgenden Beschreibung gibt ein nachfolgender Bereich einen Bereich an, der zwischen einer Referenzposition und einer Position liegt, die näher an der Hinterkante 33 als die Position liegt. Zum Beispiel zeigt der nachfolgende Bereich später als die Einschnürungsposition 41a einen Bereich an, der von der Einschnürungsposition 41a bis zu einer Position reicht, die näher an der Hinterkante 33 liegt als die Einschnürungsposition 41a.

[0066] Wie in Grafik 72 in **Fig. 11** dargestellt, kann beispielsweise die Verrundung 50 nicht in einem Bereich von der Vorderkante 31 bis zu einer Position C2, die näher an der Vorderkante 31 liegt als die Einschnürungsposition 41a, bereitgestellt werden, aber die Verrundung 50 kann in einem nachfolgenden Bereich später als die Position C2 bereitgestellt werden, so dass der Wert von R/b an der Einschnürungsposition 41a gleich oder größer als 0,2 ist.

[0067] Wie in dem Graph 73 in **Fig. 12** dargestellt, kann zum Beispiel die Verrundung 50 nicht in einem Bereich von der Vorderkante 31 bis zu einer Position C3, die näher an der Hinterkante 33 liegt als die Einschnürungsposition 41a, vorgesehen werden, aber die Verrundung 50 kann in einem nachfolgenden Bereich später als die Position C3 vorgesehen werden, so dass der Wert von R/b an einer Position, die näher an der Hinterkante 33 liegt als die Position C3, gleich oder größer als 0,2 ist.

[0068] Wie in den Graphen 71a, 72a und 73a in **Fig. 10**, **Fig. 11** bzw. **Fig. 12** kann der Wert von R/b in einem nachfolgenden Bereich später als die Position C1, die näher an der Hinterkante 33 als die Position 41a der Einschnürung liegt, konstant sein.

[0069] Darüber hinaus kann, wie in den Graphen 71b, 72b und 73b in **Fig. 10**, **Fig. 11** bzw. **Fig. 12**, der Wert von R/b in einer nachfolgenden Region, die später als die Position C1 näher an der Hinterkante 33 als die Einschnürungsposition 41a liegt, allmählich ansteigen.

[0070] Darüber hinaus kann, wie in den Graphen 71c, 72c und 73c in **Fig. 10**, **Fig. 11** bzw. **Fig. 12**, der Wert von R/b in einer nachfolgenden Region, die später als die Position C1 näher an der Hinterkante 33 als die Einschnürungsposition 41a liegt, allmählich abnehmen.

[0071] Der Wert von R/b kann linear geändert werden, wie in den Graphen 71 bis 73 in **Fig. 10** bis **Fig. 12**, und der Wert von R/b kann gekrümmt (nicht-linear) geändert werden, wie in dem Graphen 74 in **Fig. 13**.

[0072] Darüber hinaus kann der Wert von R/b in einem nachfolgenden Bereich später als die Einschnürungsposition 41a oder an einer Position näher an der Hinterkante 33 als die Einschnürungsposition 41a allmählich ansteigen, wie in den Graphen 74a und 74c in **Fig. 13**, und der Wert von R/b in einem nachfolgenden Bereich später als die Position C4 näher an der Hinterkante 33 als die Einschnürungsposition 41a allmählich abnehmen, wie in dem Graph 74.

[0073] Der Betrag der Änderung des R/b -Wertes kann zur Seite der Hinterkante hin abnehmen, wie

in dem Graph 74a in **Fig. 13** dargestellt, und der Betrag der Änderung des R/b -Wertes kann zur Seite der Hinterkante hin zunehmen, wie in dem Graph 74c in **Fig. 13** dargestellt.

[0074] Außerdem kann der Wert von R/b , wenn der Wert von R/b zur Hinterkante 33 hin allmählich abnimmt, wie in den Graphen 71c, 72c, 73c und 74b in **Fig. 10** bis **Fig. 13**, in einem Teilsegment, in dem der Wert von R/b allmählich abnimmt, kleiner als 0,2 sein.

[0075] Um den Wert von R/b zu ändern, kann die Schaufeldicke t der Diffusorscheufel 30 in axialer Richtung und in der Strömungsrichtung des Fluids geändert werden. Dabei ist die Schaufeldicke t der Abstand von einer Sturzlinie der Diffusorscheufel 30 zu einer Schaufeloberfläche.

[0076] Wie in **Fig. 10** bis **Fig. 13** dargestellt, ist beim Leitschaufel-Diffusor 10 gemäß einigen Ausführungsformen, wenn R der Radius der Ausrundung 50 und b eine Schaufelhöhe jeder der mehreren Diffusorscheufeln 30 ist, der maximale Wert von R/b auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürungsposition 41a des Diffusordurchgangs 8 größer als der maximale Wert von R/b auf der stromaufwärts gelegenen Seite der Einschnürungsposition 41a des Diffusordurchgangs 8.

[0077] Im Allgemeinen ist der Diffusordurchgang bzw. Diffusorkanal 8 so ausgebildet, dass die Querschnittsfläche des Kanals zur stromabwärtigen Seite hin zunimmt, so dass die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids zur stromabwärtigen Seite hin abnimmt, um eine statische Druckrückgewinnung zu erreichen. Da das Fluid in der Nähe des Verbindungsabschnitts 43 oder 45 wahrscheinlich von der nabenseitigen Oberfläche 13a und der Diffusorscheufel 30, die zwei sich kreuzende Wände sind, oder von der mantelseitigen Oberfläche 15a und der Diffusorscheufel 30 beeinflusst wird, ist es besonders wahrscheinlich, dass die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids abnimmt. Im Diffusorkanal 8 steigt zwar der statische Druck auf der stromabwärts gelegenen Seite des Diffusorkanals 8 aufgrund eines statischen Druckanstiegs, der sich aus der Wiederherstellung des statischen Drucks ergibt, aber wenn die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids in der Nähe des Verbindungsabschnitts 43 oder 45 abnimmt, kann es aufgrund des Einflusses des statischen Drucks, der zur stromabwärts gelegenen Seite des Diffusorkanals 8 hin zunimmt, zu einer Rückströmung des Fluids kommen. Daher kann der Flüssigkeitsstrom vom Verbindungsabschnitt 43 oder 45 getrennt werden, die effektive Querschnittsfläche des Durchgangs kann sich verengen und die Leistung der statischen Druckrückgewinnung kann abnehmen.

[0078] Da der Radius R der im Verbindungsabschnitt 43 oder 45 gebildeten Ausrundung 50 mit zunehmendem R/b zunimmt, werden hier die nabenseitige Fläche 13a und die mantelseitige Fläche 15a im Verbindungsabschnitt 43 oder 45 mit der Diffusorscheufel 30 mit der dazwischen angeordneten Ausrundung 50 glatt verbunden, die Wahrscheinlichkeit einer Beeinflussung des Fluids durch die beiden sich kreuzenden Wände ist geringer, und die Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit des Fluids in der Nähe des Verbindungsabschnitts 43 oder 45 wird unterdrückt. Daher ist es möglich, das Auftreten der oben beschriebenen Rückströmung zu unterdrücken und die Trennung des Fluids zu unterdrücken. Da die Durchgangsquerschnittsfläche bei Erhöhung des R/b im Vergleich zum kleinen R/b abnimmt, kann außerdem die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids nicht mehr als nötig verringert werden, so dass der oben beschriebene Rückfluss weniger wahrscheinlich ist und die Trennung des Fluids unterdrückt werden kann. Aus der Sicht der statischen Druckrückgewinnung ist es zwar wünschenswert, die Durchgangsquerschnittsfläche des Diffusorkanals 8 zur stromabwärtigen Seite hin weiter zu vergrößern, um die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids weiter zu verringern, aber wenn die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids übermäßig abnimmt, kommt es zu der oben beschriebenen Rückströmung und Abscheidung, die Leistung des Diffusors nimmt stark ab. Daher ist es möglich, durch eine Erhöhung von R/b die Vergrößerung der Querschnittsfläche des Durchlasses zur stromabwärtigen Seite hin zu unterdrücken und die Rückströmung und die Abscheidung zu unterdrücken, was zu einer Verbesserung der Diffusorleistung führt.

[0079] Andererseits ist es wünschenswert, die Durchgangsquerschnittsfläche auf einer Seite, die näher an der stromaufwärtigen Seite liegt als die Einschnürungsposition 41a des Diffusorkanals 8, so weit wie möglich zu vergrößern, um eine Verbesserung der Diffusorleistung zu erreichen. Daher ist der kleinere R/b auf der stromaufwärts gelegenen Seite wünschenswert als die Einschnürungsposition 41a des Diffusorkanals 8.

[0080] Nach einigen Ausführungsformen ist der Maximalwert von R/b auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürungsposition 41a des Diffusorkanals 8 größer als der Maximalwert von R/b auf der stromaufwärts gelegenen Seite der Einschnürungsposition 41a des Diffusorkanals 8. Da die Durchgangsquerschnittsfläche auf der Seite, die näher an der stromaufwärtigen Seite liegt als die Einschnürungsposition des Diffusordurchgangs 8, so weit wie möglich vergrößert werden kann, während die oben beschriebene Rückströmung und Abscheidung unterdrückt wird, ist es möglich, die Diffusorleistung effektiv zu verbessern.

[0081] Beim Leitschaufel-Diffusor 10 kann die Ausrundung 50 nach einigen Ausführungsformen in einem beliebigen Verbindungsteil 43 zwischen der nabenseitigen Fläche 13a und jeder der mehreren Diffusorschaukeln 30 oder im Verbindungsteil 45 zwischen der mantelseitigen Fläche 15a und jeder der mehreren Diffusorschaukeln 30 gebildet werden.

[0082] Fig. 14 ist ein Diagramm zur Beschreibung einer Grenzschicht und einer Sekundärströmung im Diffusorkanal 8. Fig. 14 ist ein Diagramm, das der Ansicht entlang des Pfeils V-V in Fig. 2 entspricht und einen Fall veranschaulicht, in dem die Ausrundung 50 nicht gebildet wird.

[0083] Im Folgenden wird der Einfluss auf die Diffusorleistung einer Grenzschicht 91 und einer Sekundärströmung 93 mit Bezug auf Fig. 14 beschrieben.

[0084] Wenn Flüssigkeit durch den Diffusorkanal 8 strömt, da das Fluid in der Nähe der nabenseitigen Oberfläche 13a, der mantelseitigen Oberfläche 15a, der Druckfläche 30a und der Saugfläche 30b, bei denen es sich um Wände handelt, von den Wänden beeinflusst wird, tritt eine Grenzschicht 91 auf, in der die Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zu einem Bereich, in dem das Fluid nicht von diesen Wänden beeinflusst wird, deutlich abnimmt.

[0085] Außerdem entsteht im Diffusorkanal 8 ein Druckgefälle aufgrund einer Differenz zwischen dem Druck in der Nähe der Saugfläche 30b und dem Druck in der Nähe der Druckfläche 30a. Dieser Druckgradient tritt in einem Querschnitt auf, der parallel zu einem Querschnitt verläuft, der eine Ebene ist, die eine Richtung senkrecht zur Strömungsrichtung des Fluids im Diffusorkanal 8 und eine Richtung der Schaukelhöhe (eine axiale Richtung) der Diffusorschaukel 30 einschließt. Fig. 3 bis Fig. 9 und Fig. 14 zeigen einen Querschnitt parallel zum Querschnitt.

[0086] Die Sekundärströmung 93 ist die Strömung des Fluids, das im Inneren des Diffusorkanals 8 entlang einer Richtung parallel zu einer Ausdehnungsrichtung des Querschnitts zirkuliert, wobei der Druckgradient als Hauptantriebskraft verwendet wird.

[0087] Ein weiterer Sekundärstrom 95, der durch den Sekundärstrom 93 angetrieben wird, tritt in der Nähe der Verbindungsabschnitte 43 und 45 auf. Wenn dieser weitere Sekundärstrom 95 auftritt, entsteht ein Bereich, der als Eckstau („corner stall“) bezeichnet wird, in dem das Fluid selten in eine Richtung von der stromaufwärtigen Seite des Diffusorkanals 8 zur stromabwärtigen Seite fließt. Das Auftreten des Eckstaus verringert den effektiven Durchgangsquerschnitt im Diffusorkanal 8 und verursacht die oben beschriebene Rückströmung und

Trennung und verringert somit die statische Druckrückgewinnungsleistung.

[0088] Darüber hinaus verringert sich die Geschwindigkeit des Hauptstroms des Fluids aufgrund der Rückgewinnung des statischen Drucks zur stromabwärtigen Seite des Diffusorkanals 8 hin. Daher erhöht sich im Allgemeinen ein Auftretensbereich des Eckstaus im Querschnitt zur stromabwärtigen Seite des Diffusorkanals 8 hin.

[0089] In einem Teil des Diffusorkanals 8, der sich näher an der stromaufwärtigen Seite als an der Einschnürungsposition 41a befindet, wird ein Zustand beibehalten, in dem die kinetische Energie des von der stromaufwärtigen Seite zur stromabwärtigen Seite strömenden Fluids vorherrscht. Daher ist der Impuls (der Impuls in einer Strömungsrichtung) des von der stromaufwärtigen Seite zur stromabwärtigen Seite strömenden Fluids größer als die Impulsänderung, die sich aus dem Druckgefälle im Querschnitt ergibt, und die Sekundärströmung 93 tritt nicht leicht auf. Daher ist es wünschenswert, den Durchgangsquerschnitt auf einer Seite, die näher an der stromaufwärtigen Seite liegt als die Einschnürungsposition 41a, so groß wie möglich zu machen.

[0090] In einem Teil, der näher an der stromabwärts gelegenen Seite liegt als die Einschnürungsposition 41a, nimmt jedoch der Impuls in Strömungsrichtung aufgrund der statischen Druckrückgewinnung ab und die Flüssigkeit beginnt, durch den Druckgradienten im Querschnitt beeinflusst zu werden.

[0091] In diesem Fall ist es möglich, durch geeignete Erzeugung der Sekundärströmung und durch eine möglichst dünne Dicke der Grenzschicht 91 unter Beibehaltung eines solchen Impulses in Strömungsrichtung, der den Druckgradienten (Rückwärtsdruckgradienten) des statischen Drucks, der aufgrund der statischen Druckrückgewinnung zur stromabwärtigen Seite hin zunimmt, überwindet, die effektive Durchgangsquerschnittsfläche zu vergrößern und eine weitere statische Druckrückgewinnung zu erreichen.

[0092] Nach einigen Ausführungsbeispielen ist es möglich, durch Änderung des Radius R der Ausrundung 50 in der Ausdehnungsrichtung des Diffusorkanals 8 die durch den Druckgradienten im Querschnitt entstehende Sekundärströmung zu steuern, den Betriebsbereich des Radialverdichters 100 zu erweitern und den Wirkungsgrad zu verbessern.

[0093] Da die Verrundung 50 in mindestens einem der vier Verbindungsabschnitte 43 und 45 gebildet wird, wird nach einigen Ausführungsformen ein Bereich, in dem ein Eckstau wahrscheinlich ist, durch die Verrundung 50 ersetzt und das Auftreten des Eckstaus unterdrückt.

[0094] Wie in **Fig. 10** bis **Fig. 13** dargestellt, ist in einigen Ausführungsformen der maximale Wert von R/b auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürstelle 41a des Diffusordurchgangs 8 gleich oder größer als 0,2.

[0095] Nach den Erkenntnissen des gegenwärtigen Erfinders beträgt die Dicke der Grenzschicht 91 des Diffusordurchgangs 8 (d.h. die Dicke eines Bereichs in Wandnähe, in dem die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids relativ gering ist) etwa 20% der Schaufelhöhe b der Diffusorschaukel 30. Daher wird nach einigen Ausführungsformen, wenn der Maximalwert von R/b gleich oder größer als 0,2 ist, da die Abmessung in Richtung der Schaufelhöhe der Ausrundung 50 gleich oder größer als 20% der Schaufelhöhe b der Diffusorschaukel 30 ist, die Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit des Fluids in der Nähe des Verbindungsabschnitts 43 oder 45 wirksam unterdrückt. Daher ist es möglich, den Rückfluss und die Abscheidung wirksam zu unterdrücken.

[0096] Wie in **Fig. 10** bis **Fig. 13** dargestellt, steigt bei einigen Ausführungen R/b in mindestens einem Teilsegment auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürposition 41a des Diffusordurchgangs 8 zur Hinterkante 33 der Diffusorschaukel 30 hin an.

[0097] Nach den Erkenntnissen des gegenwärtigen Erfinders entwickelt sich die oben beschriebene Rückströmung und Abscheidung zur stromabwärtigen Seite des Diffusorkanals 8 hin. Daher ist es nach einigen Ausführungsformen möglich, durch Erhöhung des R/b zur Hinterkante 33 der Diffusorschaukel 30 hin die oben beschriebene Rückströmung und Abscheidung wirksam zu unterdrücken.

[0098] Wie in **Fig. 10** bis **Fig. 12** dargestellt, steigt bei einigen Ausführungen R/b in mindestens einem Teilsegment auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürposition 41a des Diffusordurchgangs 8 linear zur Hinterkante 33 der Diffusorschaukel 30 an.

[0099] Nach den Erkenntnissen des Erfinders wird eine bessere Diffusorleistung erzielt, wenn sich die Durchgangsquerschnittsfläche des Diffusordurchgangs 8 linear zur Hinterkante 33 der Diffusorschaukel 30 hin verändert, als wenn sich die Durchgangsquerschnittsfläche nichtlinear verändert. Wenn die Diffusorschaukel 30 in linearer Form unter Verwendung eines ebenen Elements o.ä. gebildet wird, z.B. durch lineare Zunahme von R/b zur Hinterkante 33 der Diffusorschaukel 30, ist es daher möglich, die Durchgangsquerschnittsfläche des Diffusordurchgangs 8 linear zu ändern. Auf diese Weise wird eine zufriedenstellende Leistung des Diffusors erreicht.

[0100] Da die Ausrundung 50 so geformt ist, dass sich der Radius R der Ausrundung 50 linear ändert,

ist es außerdem einfach, den Leitschaukel-Diffusor herzustellen.

[0101] Wie in dem Graph 74c in **Fig. 13** kann R/b in mindestens einem Teilsegment auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürposition 41a des Diffusordurchgangs 8 zur Hinterkante 33 der Diffusorschaukel 30 hin gekrümmt ansteigen, so dass der Betrag der Änderung zur Hinterkante 33 hin zunimmt.

[0102] Wie oben beschrieben, wird nach den Erkenntnissen des gegenwärtigen Erfinders eine bessere Diffusorleistung erzielt, wenn sich die Durchgangsquerschnittsfläche des Diffusordurchgangs 8 zur Hinterkante 33 der Diffusorschaukel 30 hin linear ändert, im Vergleich zu einer nichtlinearen Änderung der Durchgangsquerschnittsfläche. Wenn die Diffusorschaukel 30 also in einer nichtlinear gekrümmten Form zur Hinterkante 33 hin gebildet wird, z.B. durch Erhöhung des Wertes von R/b gekrümmt, so dass der Betrag der Änderung zunimmt (d.h. der Wert von R/b wird nach unten konvex, wie in dem Graph 74c in **Fig. 13** gezeigt) zur Hinterkante 33 der Diffusorschaukel 30, ist es möglich, die Durchgangsquerschnittsfläche des Diffusordurchgangs 8 linear zu ändern. Auf diese Weise wird eine zufriedenstellende Leistung des Diffusors erreicht.

[0103] Wenn die Ausrundung 50 in der Saugfläche 30b und der Druckfläche 30a jeder der mehreren Diffusorschaukeln 30 gebildet wird, kann der Radius R der Ausrundung 50 wie folgt eingestellt werden. Das heißt, wenn R_p der Radius der auf der Druckfläche 30a gebildeten Ausrundung 50 und R_s der Radius der auf der Saugfläche 30b gebildeten Ausrundung 50 ist, kann sich eine Verteilung von R_p/b der auf der Druckfläche 30a gebildeten Ausrundung 50 von einer Verteilung von R_s/b der auf der Saugfläche 30b gebildeten Ausrundung 50 unterscheiden.

[0104] Nach den Erkenntnissen des heutigen Erfinders unterscheidet sich die Dicke auf der Druckseite 30a der Grenzschicht 91 des Diffusorkanals 8 von der Dicke auf der Saugseite 30b. Daher ist es, wie oben beschrieben, möglich, die Diffusorleistung zu verbessern, wenn die Verteilung von R_p/b der in der Druckfläche 30a gebildeten Ausrundung 50 von der Verteilung von R_s/b der in der Saugfläche 30b gebildeten Ausrundung 50 in Abhängigkeit von den Dicken der auf den jeweiligen Flächen gebildeten Grenzschichten 91 abweicht.

[0105] Wenn die Verrundung 50 jeweils in der Saugfläche 30b und der Druckfläche 30a jeder der mehreren Diffusorschaukeln 30 gebildet werden, kann der Maximalwert von R_p/b auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürposition 41a des Diffusorkanals 8 größer sein als der Maximalwert von

R_S/b auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürungsposition 41a des Diffusorkanals 8.

[0106] Nach den Erkenntnissen des vorliegenden Erfinders ist in einem bestimmten Betriebspunkt des Radialverdichters die Grenzschicht 91 auf der Druckseite 30a dicker als die auf der Saugseite 30b. Daher ist es, wie oben beschrieben, möglich, die Diffusorleistung zu verbessern, wenn der Maximalwert von R_P/b auf der Druckflächenseite 30a auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürposition 41a größer ist als der Maximalwert von R_S/b auf der Saugflächenseite 30b.

[0107] Die Ausrundung 50 darf nur im Verbindungsteil 43 zwischen der nabenseitigen Fläche 13a und jeder der mehreren Diffusorschaufeln 30 oder nur im Verbindungsteil 45 zwischen der mantelseitigen Fläche 15a und jeder der mehreren Diffusorschaufeln 30 gebildet werden.

[0108] Die Ausrundung 50, die nur in dem Verbindungsabschnitt 43 zwischen der nabenseitigen Oberfläche 13a und jeder der mehreren Diffusorschaufeln 30 oder nur in dem Verbindungsabschnitt 45 zwischen der mantelseitigen Oberfläche 15a und jeder der mehreren Diffusorschaufeln 30 gebildet wird, trägt zur Verbesserung der Diffusorleistung bei.

[0109] In einigen der oben beschriebenen Ausführungen sind die Spitzen 21a der Vielzahl von Schaufeln 21 mit einem vorbestimmten Abstand zur Innenfläche 3a des Gehäuses 3 des Radialverdichters 100 angeordnet. Außerdem kann bei einigen der oben beschriebenen Ausführungen die Ausrundung 50 zumindest im Verbindungsbereich 45 zwischen der mantelseitigen Fläche 15a und jeder der mehreren Diffusorschaufeln 30 gebildet werden.

[0110] Das heißt, in einigen der oben beschriebenen Ausführungen ist das Laufrad 20 als sogenanntes offenes Laufrad konfiguriert, das keinen ringförmigen Abdeckblech hat.

[0111] Nach den Erkenntnissen des vorliegenden Erfinders bildet sich beim Radialverdichter 100 mit offenem Laufrad durch den Einfluss einer Leckageströmung aus dem Spitzenspiel der Schaufel 21 die Grenzschicht 91, die auf der mantelseitigen Fläche 15a dicker ist als die auf der nabenseitigen Fläche 13a.

[0112] Da die Ausrundung 50 im Verbindungsteil 45 zwischen der mantelseitigen Fläche 15a und jeder der mehreren Diffusorschaufeln 30 gebildet wird, kann nach der oben beschriebenen Ausführung eine Verbesserung der Diffusorleistung eines offenen Laufrades erreicht werden.

[0113] In der oben beschriebenen Ausführung kann das Laufrad 20 ein ringförmiges Deckblechelement aufweisen.

[0114] Da der Radialverdichter 100 nach einigen Ausführungsformen den Diffusor 10 nach der oben beschriebenen Ausführung enthält, ist es, wie oben beschrieben, möglich, die Diffusorleistung effektiv zu verbessern und den Wirkungsgrad des Radialverdichters 100 zu erhöhen.

[0115] Während die Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben wurde, ist die vorliegende Erfindung nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt, sondern umfasst Modifikationen der oben beschriebenen Ausführungsformen und geeignete Kombinationen dieser Modifikationen.

[0116] In einigen der oben beschriebenen Ausführungsformen können, obwohl ein Zentrifugalkompressor beschrieben wurde, die Merkmale einiger der oben beschriebenen Ausführungsformen auf eine Zentrifugalpumpe angewendet werden.

Patentansprüche

1. Ein an der stromabwärts gelegenen Seite eines Laufrads (20) eines Zentrifugalkompressors (100) vorgesehener Leitschaufel-Diffusor (10), bestehend aus:

einem einen Diffusordurchgang (8) bildenden Abschnitt, der eine nabenseitige Oberfläche (13a) und eine der nabenseitigen Oberfläche (13a) zugewandte mantelseitige Oberfläche 15a umfasst und einen ringförmigen Diffusordurchgang (8) auf einer stromabwärtigen Seite des Laufrads (20) bildet; und eine Vielzahl von Diffusorschaufeln (30), die in dem Diffusordurchgang (8) in Intervallen in einer Umfangsrichtung des Laufrades (20) vorgesehen sind, wobei

eine Ausrundung (50) in einem Verbindungsabschnitt (43, 45) zwischen jeder der Vielzahl von Diffusorschaufeln (30) und mindestens einer der nabenseitigen Oberfläche (13a) und der mantelseitigen Oberfläche (15a) gebildet wird, und wobei R ein Radius der Ausrundung (50) und b eine Schaufelhöhe jeder der mehreren Diffusorschaufeln (30) ist und ein Maximalwert von R/b auf einer stromabwärtigen Seite einer Einschnürposition (41a) des Diffusordurchgangs (8) größer als ein Maximalwert von R/b auf einer stromaufwärtigen Seite der Einschnürposition (41a) des Diffusordurchgangs (8) ist, wobei

die Ausrundung (50) auf einer Druckfläche (30a) und einer Saugfläche (30b) jeder der mehreren Diffusorschaufeln (30) gebildet wird, und wenn R_P ein Radius der auf der Druckfläche (30a) gebildeten Ausrundung (50) ist und R_S ein Radius der auf der Saugfläche (30b) gebildeten Verrundung

ist, ist eine Verteilung von R_P/b der auf der Druckfläche (30a) gebildeten Verrundung anders als eine Verteilung von R_S/b der auf der Saugfläche (30b) gebildeten Verrundung.

2. Der Leitschaufel-Diffusor (10) nach Anspruch 1, wobei der maximale Wert von R/b auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürposition (41a) des Diffusordurchgangs (8) gleich oder größer als 0,2 ist.

3. Der Leitschaufel-Diffusor (10) nach Anspruch 1 oder 2, wobei R/b in mindestens einem Teilsegment auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürposition (41a) des Diffusordurchgangs (8) zu einer Hinterkantenseite der Diffusorschaufel (30) hin zunimmt.

4. Der Leitschaufel-Diffusor (10) nach Anspruch 3, wobei R/b in mindestens einem Teilsegment auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürposition (41a) des Diffusordurchgangs (8) linear zur Hinterkantenseite der Diffusorschaufel (30) hin ansteigt.

5. Der Leitschaufel-Diffusor (10) nach Anspruch 3, wobei R/b in mindestens einem Teilsegment auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürposition (41a) des Diffusordurchgangs (8) zur Hinterkantenseite der Diffusorschaufel (30) hin gekrümmt zunimmt, so dass ein Betrag der Änderung zur Hinterkantenseite hin zunimmt.

6. Der Leitschaufel-Diffusor (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei ein maximaler Wert von R_P/b auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürposition (41a) des Diffusordurchgangs (8) größer ist als ein maximaler Wert von R_S/b auf der stromabwärts gelegenen Seite der Einschnürposition (41a) des Diffusordurchgangs (8).

7. Der Leitschaufel-Diffusor (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Ausrundung (50) nur in einem Verbindungsabschnitt (43, 45) zwischen der nabenseitigen Oberfläche (13a) und jeder der Vielzahl von Diffusorschaufeln (30) oder nur in einem Verbindungsabschnitt (43, 45) zwischen der mantelseitigen Oberfläche (15a) und jeder der Vielzahl von Diffusorschaufeln (30) gebildet wird.

8. Der Leitschaufel-Diffusor (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Laufrad (20) eine Vielzahl von Schaufeln (21) aufweist, die in Abständen in Umfangsrichtung des Laufrades (20) angeordnet sind, die Spitzen (21a) der Vielzahl von Schaufeln (21) mit einem vorbestimmten Abstand zu einer Innenfläche (3a) eines Gehäuses (3) des Zentrifugalkompressors (100) angeordnet sind, und

die Ausrundung (50) zumindest in einem Verbindungsabschnitt (43, 45) zwischen der mantelseitigen Oberfläche 15a und jeder der Vielzahl von Diffusorschaufeln (30) gebildet wird.

9. Ein Zentrifugalkompressor (100), bestehend aus:
einem Laufrad (20); und
der Leitschaufel-Diffusor (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 8.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

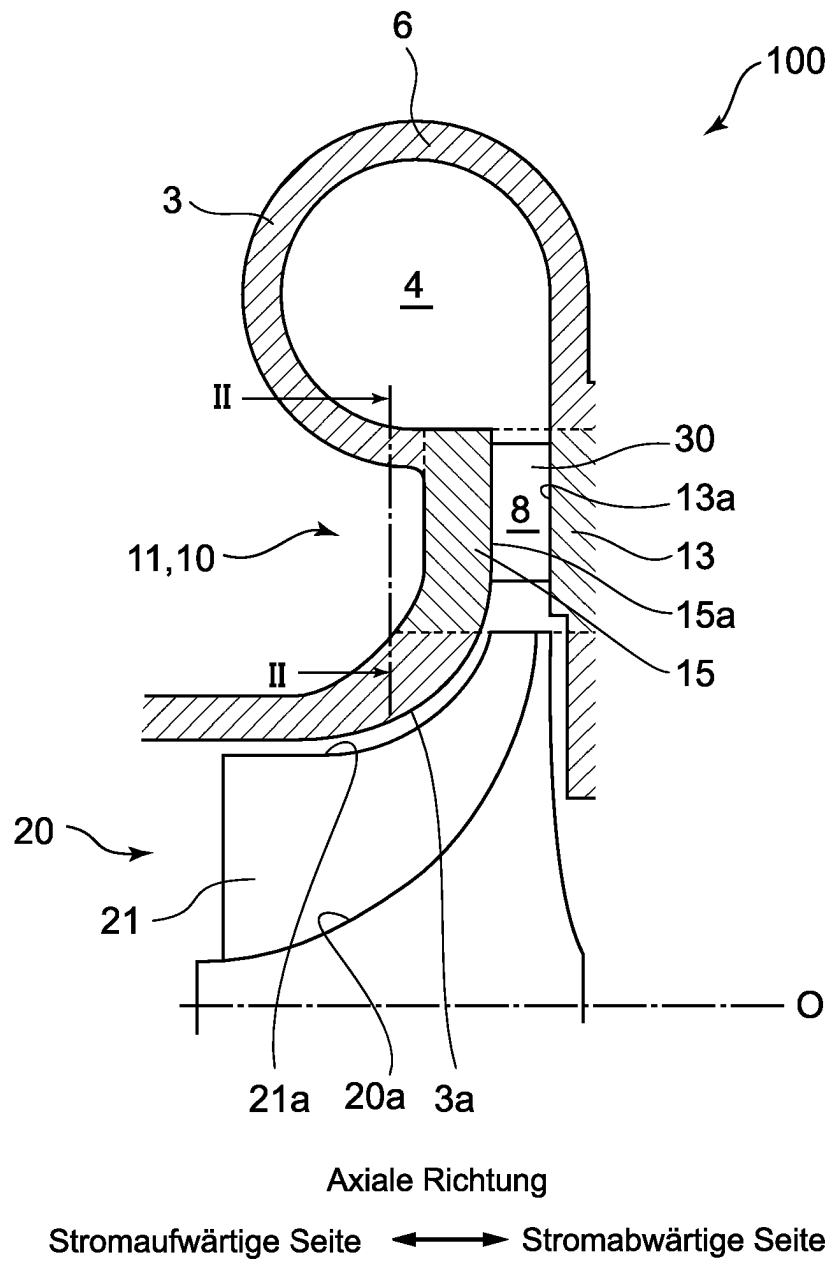


FIG. 2

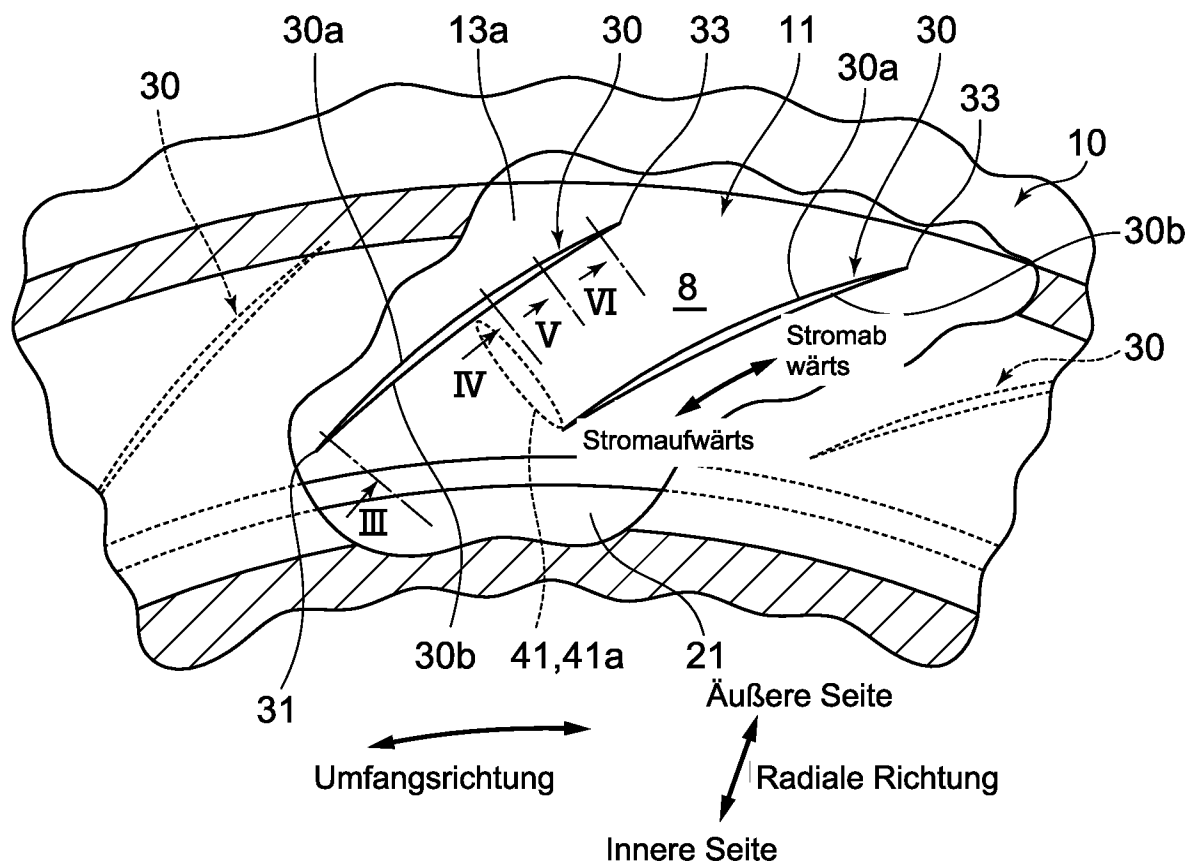


FIG. 3

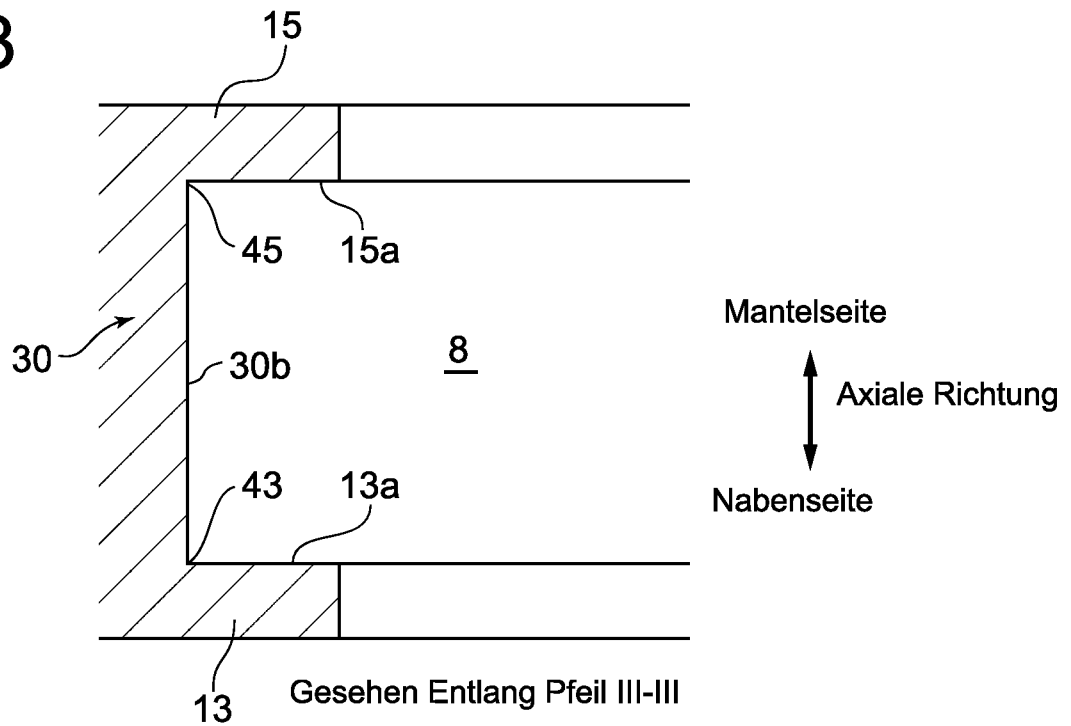


FIG. 4

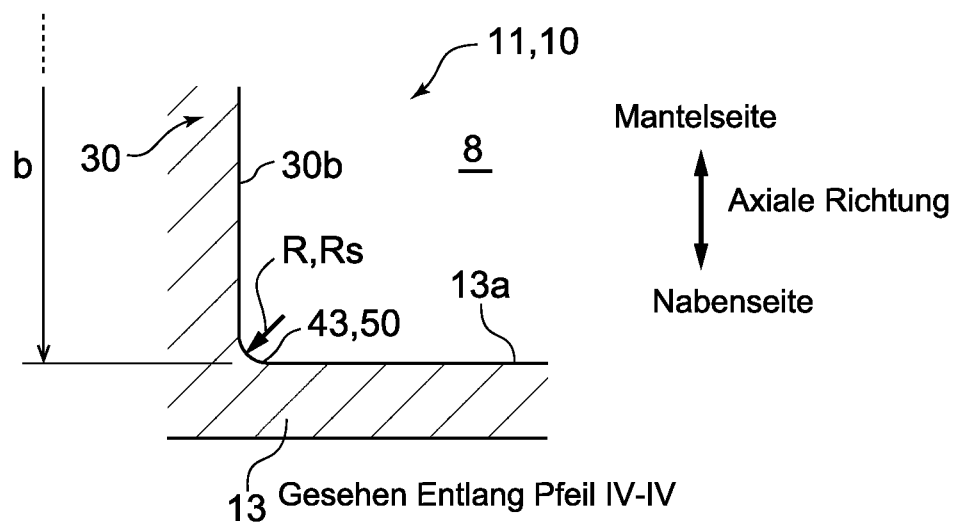


FIG. 5

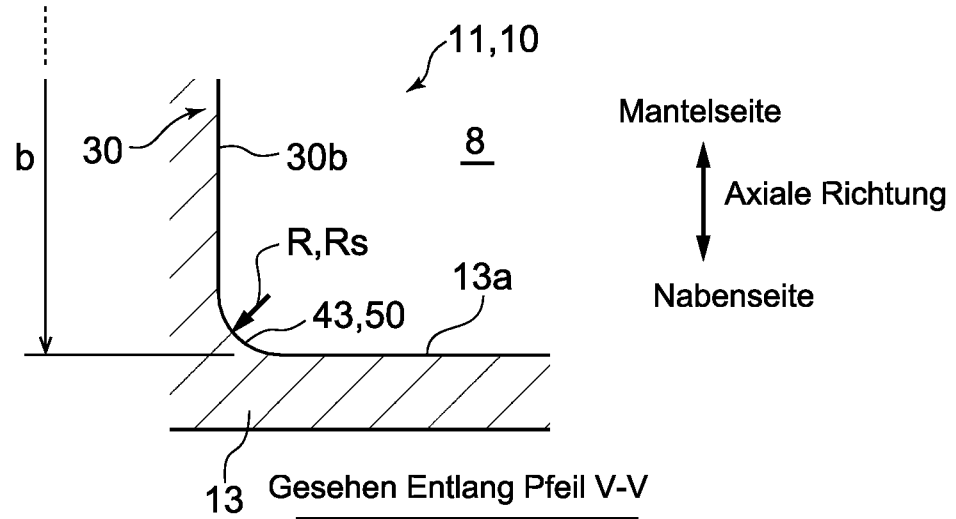


FIG. 6

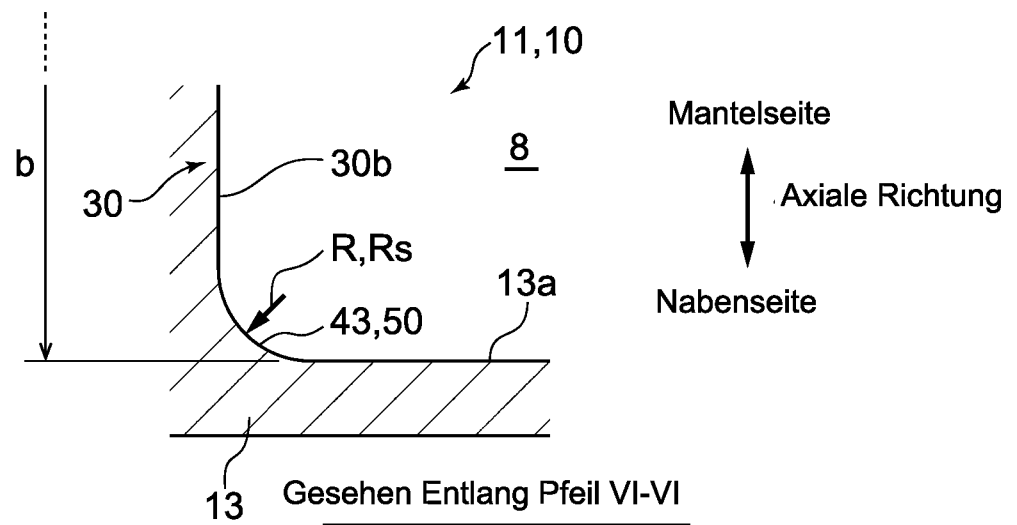


FIG. 7

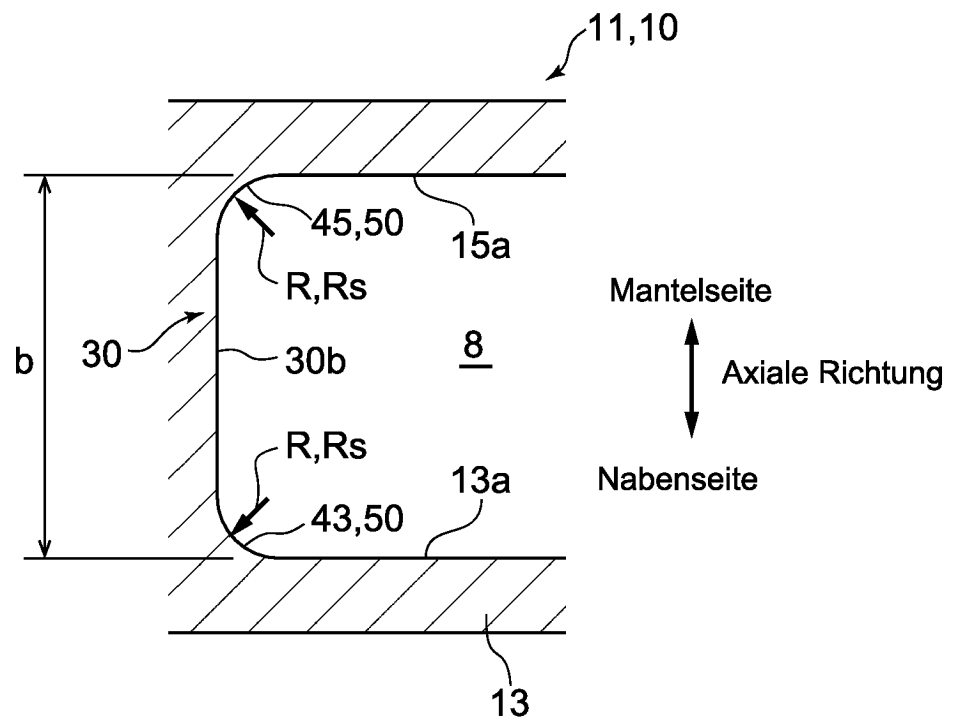


FIG. 8

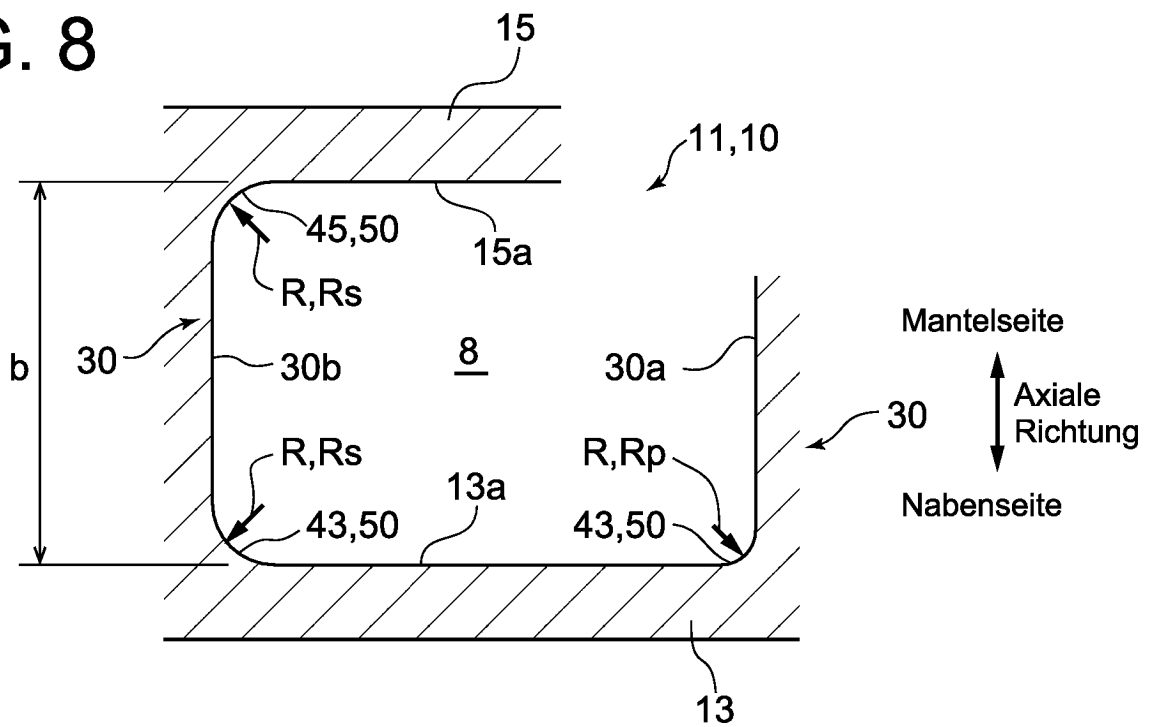


FIG. 9

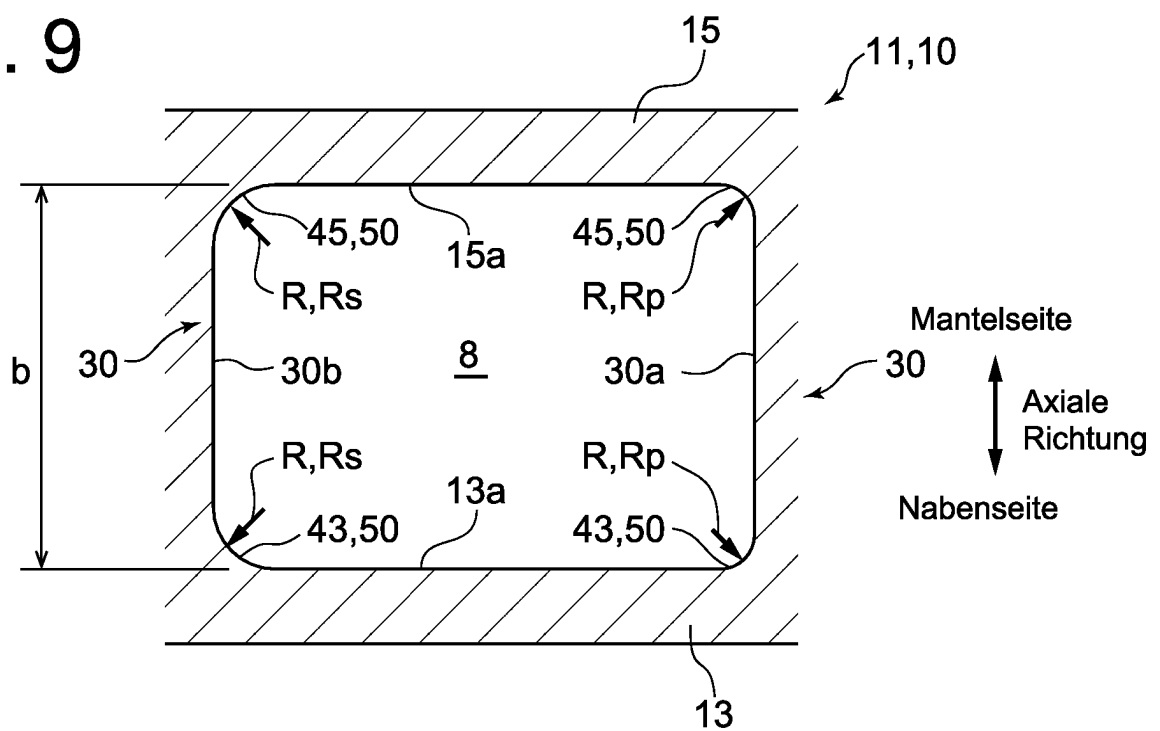


FIG. 10

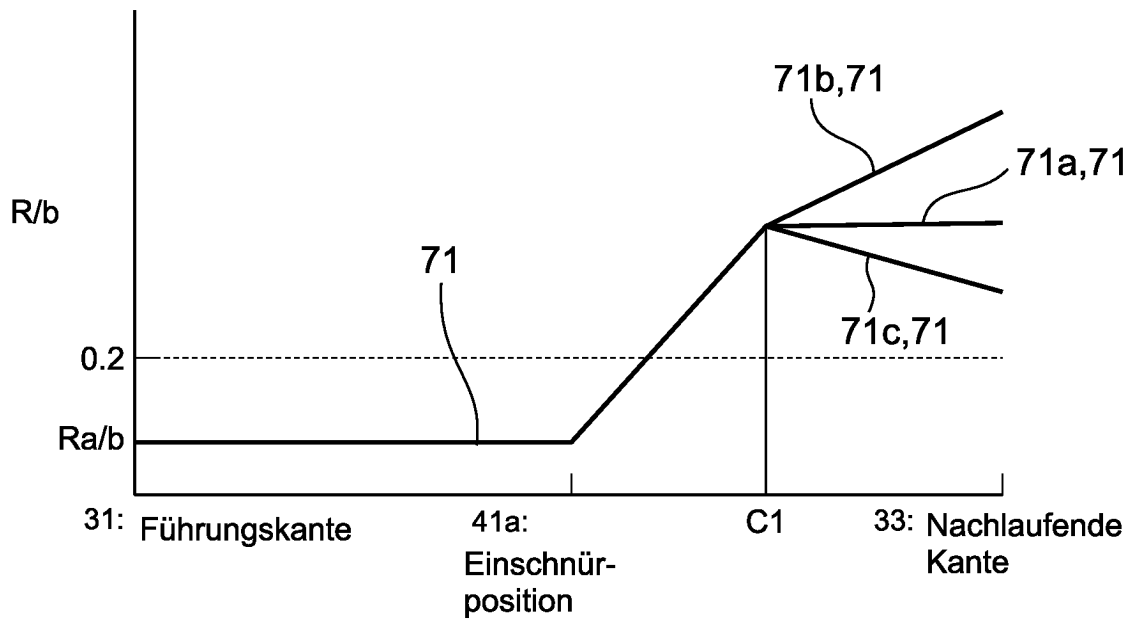


FIG. 11

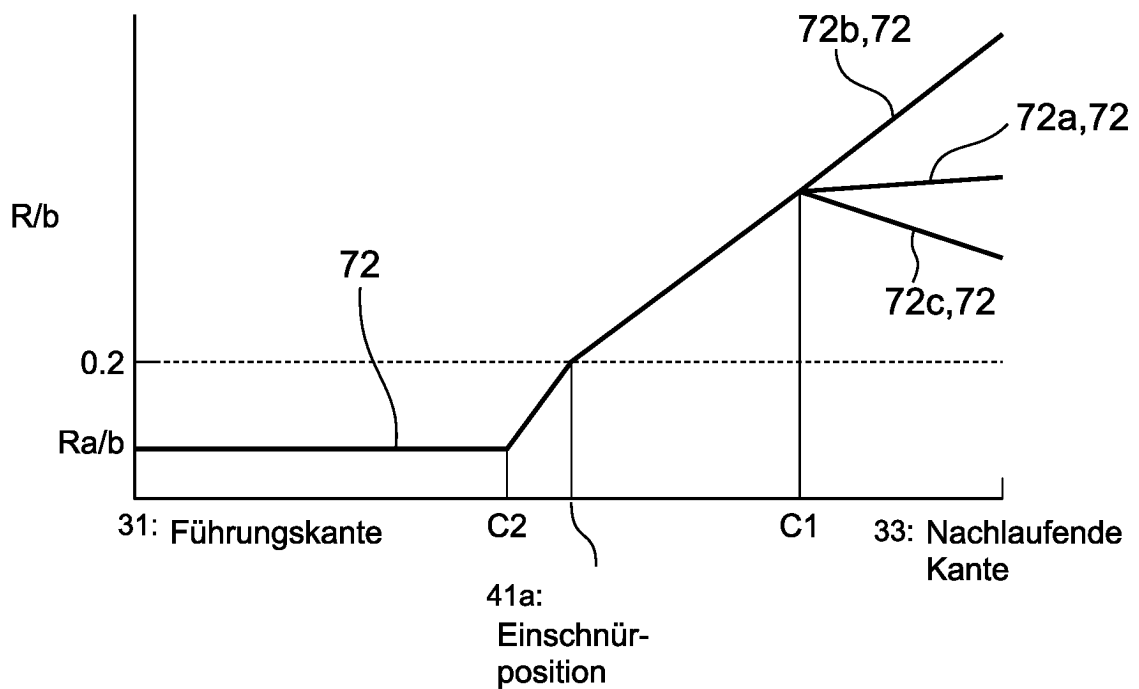


FIG. 12

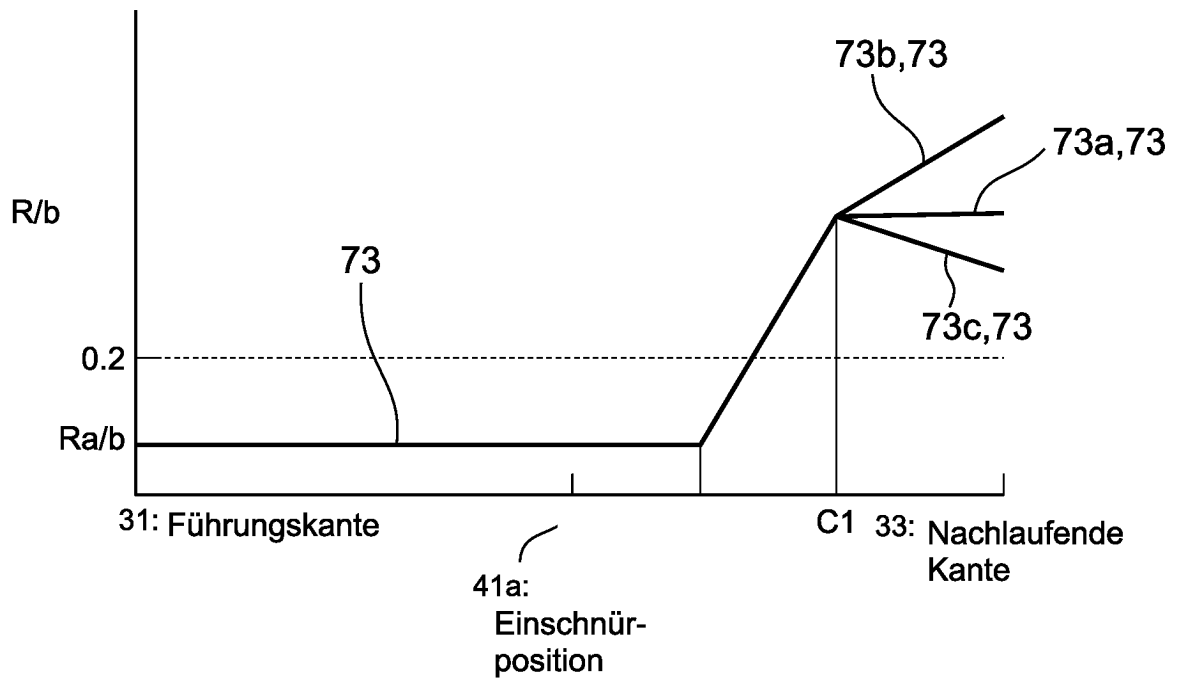


FIG. 13

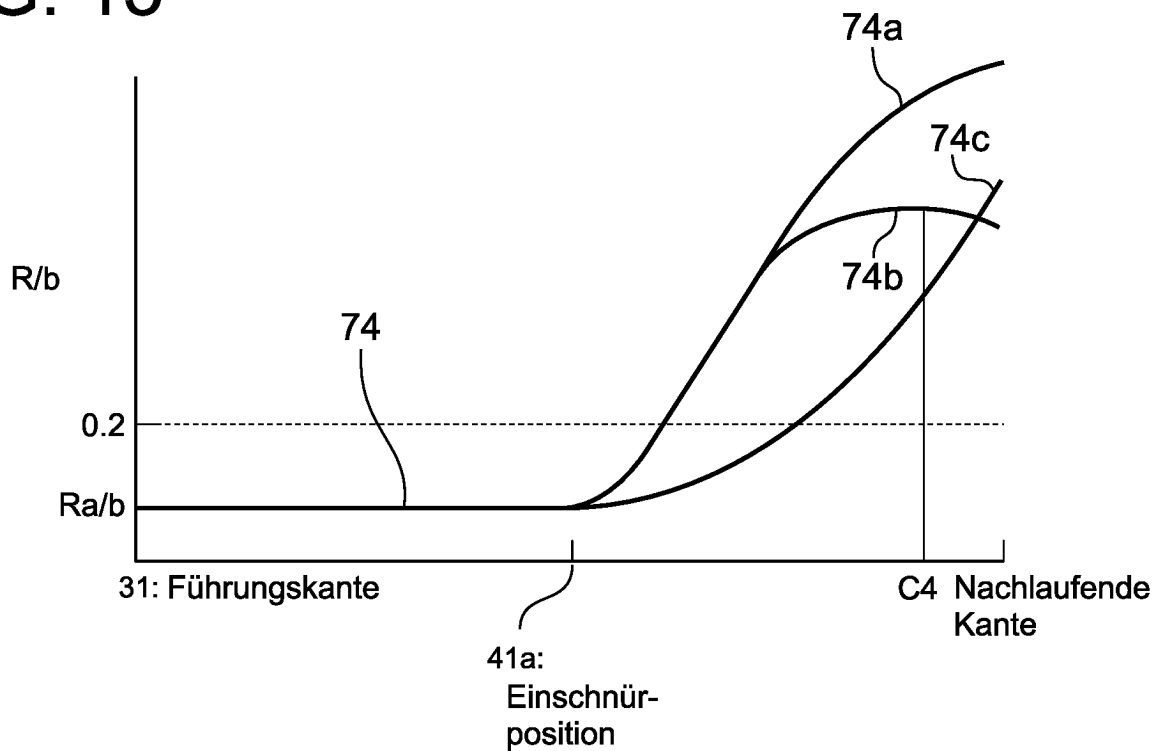


FIG. 14

