(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 0 925 452 B1

(12) # EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
21.08.2002 Patentblatt 2002/34

(21) Anmeldenummer: **97930285.8**

(22) Anmeldetag: **21.07.1997**

(51) Int Cl.[7]: **F04C 2/08**, F04C 2/16, F04C 15/00

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/CH97/00279

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 98/011351 (19.03.1998 Gazette 1998/11)

(54) **SCHRAUBENROTORSATZ**

SCREW ROTOR SET

JEU DE ROTORS FILETES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE DK ES FI FR GB IE IT LI LU NL PT SE

(30) Priorität: **12.09.1996 CH 223396**
04.10.1996 CH 241796

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.06.1999 Patentblatt 1999/26

(73) Patentinhaber: **Ateliers Busch S.A.**
2906 Chevenez (CH)

(72) Erfinder: **BECHER, Ulrich**
CH-2900 Porrentruy (CH)

(74) Vertreter: **Ganguillet, Cyril**
ABREMA
Agence Brevets & Marques
Ganguillet & Humphrey
Avenue du Théâtre 16
Case postale 2065
1002 Lausanne (CH)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 496 170
GB-A- 670 395
US-A- 2 441 771

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 12, no. 182 (M-702), 27.Mai 1988 & JP 62 291486 A (TAIKO KIKAI KOGYO K.K.), 18.Dezember 1987, in der Anmeldung erwähnt**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 13, no. 376 (M-862), 21.August 1989 & JP 01 130084 A (HITACHI LTD), 23.Mai 1989,**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 15, no. 89 (M-1088), 4.März 1991 & JP 02 305393 A (HITACHI LTD), 18.Dezember 1990,**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 0 925 452 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Maßnahmen zur Auswuchtung eines Schraubenrotorsatzes in achsparalleler Anordnung mit gegenläufigem außenachsigen Eingriff sowie mit Umschlingungswinkeln von mindestens 720° in eingängiger Ausführung.

[0002] Schwerpunktmittenabstand, Stirnfläche und Umschlingungswinkel bestimmen hierbei die Größen der statischen und der dynamischen Unwucht, die bei Schrauben mit eingängignen Profilen auftreten;

[0003] In der Offenlegungsschrift Sho 62 (1987)-291486 der Fa. Taiko, Japan, wird eine Methode zur Schraubenauswuchtung beschrieben : Zunächst wird statische Auswuchtung erreicht durch Festsetzen der Schraubenlänge auf ganzzahlige Vielfache der Steigung. Durch beidseitig stirnseitige Aussparungen in der Schraube, die hohl oder mit leichtem Material gefüllt sind, wird dynamisch ausgewuchtet.

[0004] Diese Methode der Auswuchtung ist nicht durchführbar, wenn Sonderwerkstoffe verlangt werden, die nicht gegossen werden können. Auch bei außergewöhnlichen Profilgeometrien hat diese Methode ihre Grenzen, da einerseits die Wandstärken der Schrauben aus Stabilitätsgründen nicht beliebig verringert werden können, andererseits eine zu große axiale Ausdehnung der Auswuchthöhlen wegen der spiraligen Form erhebliche Fertigungsprobleme mit sich bringt; das Füllen der Aussparungen mit leichtem Material verschärft dieses Problem noch.

[0005] In der schweizerischen Patentanmeldung 3487/95 der Fa. Busch S.A, Schweiz (WO-A-97/21925), wird eine andere Methode der Schraubenauswuchtung beschrieben : Die Schraubenlänge (= $2W_2$) ist um ganzzahlig vielfache der Steigung l größer als das 1½ - fache der Steigung ($2W_2 = 5 \cdot l/2 , 7 \cdot l/2 , 9 \cdot l/2...$).

[0006] Zum Ausgleich der verbleibenden statischen und dynamischen Unwucht dienen saugseitige Veränderungen an äußeren, passiven Schraubenteilen und/oder eine oder mehrere stirnseitige Auswuchthöhlen und/oder äußere Zusatzmassen.

[0007] Diese Methode bietet einerseits die Möglichkeit der Verwendung von Sonderwerkstoffen oder führt andererseits zu reduzierten Auswuchthöhlen, womit eine Erhöhung der Formstabilität erreicht wird.

[0008] Der Einsatz von Schraubenrotoren zum Pumpen bestimmter Medien sowie eine angestrebte Temperaturreduzierung am ausgangseitigen Schraubenende erfordern kleine, glatte, kavemenfreie Schraubenoberflächen, die schmutzabweisend und gut zu reinigen sind. Die Forderungen nach Aulwandreduzierung bei Service, Montage, Ersatzteilhaltung und nach kleinen, kompakten Pumpen lassen den Einsatz äußerer Zusatzmassen zum Hindernis werden.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Maßnahmen zu definieren zur Auswuchtung eingängiger Schrauben mit kavernenfreier, glatter Oberfläche ohne die Verwendung äußerer Zusatzmassen.

[0010] Diese Aufgabe wird bei einem Schraubenrotorsatz für Schraubenpumpen in achsparalleler Anordnung mit gegenläufigem außenachsigem Eingriff sowie mit Umschlingungswinkeln von mindestens 720° in eingängiger Ausführung und mit glatten, planparallelen Rotor-Stimflächen, dadurch gelöst, daß jeder Schraubenrotor aus mehreren starr miteinander verbundenen Einzelteilen mit gemeinsamer Drehachse, wahlweise exzentrischen Schwerpunktlagen und wahlweise unterschiedlichen Werkstoffdichten gebildet ist; daß die Einzelteile im Rotorinneren einen exzentrischen, zum Pumpenraum hin abgeschlossenen Hohlraum, den Auswuchtraum bilden; daß die Abstimmung der Werkstoffdichten und der Geometrien der Einzelteile im Rotorinneren die statische Auswuchtung bewirkt und die dynamische Unwucht beeinflußt und daß die dynamische Auswuchtung bei geringer Rückwirkung auf die statische Unwucht erreicht wird durch rechnerische Bestimmung des Verhältnisses Schraubenlänge/Steigung = a auf Werte, die jeweils etwas kleiner als ungeradzahlig Vielfache von 1/2 sind.

[0011] Ausgestaltungsmöglichkeiten im Rahmen einer vorgegebenen Schraubengeometrie liegen in der Wahl von Anzahl, Form und Werkstoff der Rotoreinzelteile sowie in der Gestaltung des Auswuchtraumes 3, wie in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

[0012] Einem Mehraufwand in der Fertigung stehen folgende mit der Erfindung erzielten Vorteile gegenüber:

1. Glatte, kavernenfreie, Prozess- und Service-freundliche Oberfläche:
2. Temperaturreduzierung am Schraubenende durch Oberflächenverkleinerung.
3. Optimierung in der Werkstoffauswahl der Einzelteile mit unterschiedlichen chemischen und mechanischen Beanspruchungen.
4. Einfache Montage, Ersatzteilbeschaffung und - haltung.
5. Kleiner, kompakter, formstabiler Aufbau.
6. Baukastenprinzip durch Kombinationen von Schraubenkörpern mit verschiedenen Rotorachsen.
7. Möglichkeit einer Rotor - Innenkühlung.

[0013] Anhand eines in den Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispiels wird die Erfindung anschließend näher erläutert:

[0014] Es zeigen:

Fig.1: Einen Schraubenrotorsatz mit Pilotgetriebe für eine Schraubenpumpe in eingängiger Ausführung nach der Erfindung aus Einzelteilen zusammengesetzt mit exzentrischer innerer Massenkonzentration und mit einem Verhältnis Schraubenlänge/Steigung = 2 W_2/l < 9/2 in einem axialen Schnitt.

Fig.2: Die Darstellung der spiraligen Stimprofilschwerpunkt-Ortskurve einer rechtssteigenden Schraube von Fig.1.

Fig.3: Ein Ausführungsbeispiel eines Rotors des Schraubenrotorsatzes von Fig. 1 in zweiteiliger Ausführung in einer ersten Variante mit flügelförmig gegliedertem Auswuchtraum in einem axialen Schnitt.

Fig.4: Den Rotor von Fig.3 im Stirnschnitt entsprechend der Linie A-A.

Fig.5: Die Darstellung der spiraligen Stirnprofilschwerpunkt-Ortskurve sowie strichpunktiert die Ortskurvenäste I, II, III, IV, V der Stirnschnitt-Schwerpunkte des flügelförmig gegliederten Auswuchtraumes von Fig.3, 4.

Fig.6: Die Stirnschnittgeometrie der ersten Rotorvariante mit Schwerpunkt sowie die maximal zulässige innere Aushöhlung.

Fig.7: Unterschiedliche Stirnschnittkonturen eines Auswuchtraumes 103, variierend mit der Axialposition W.

Fig.8: Ein Ausführungsbeispiel eines Rotors des Schraubenrotorsatzes von Fig. 1 in zweiteiliger Ausführung in einer zweiten Variante mit geradem Auswuchtraum in einem axialen Schnitt.

Fig.9: Den Rotor von Fig.4 im Stirnschnitt entsprechend der Linie B-B.

Fig.10: Die Darstellung der spiraligen Stimprofilschwerpunkt-Ortskurve sowie strichpunktiert die Schwerachse des geraden Auswuchtraumes von Fig. 8, 9.

Fig. 11: Ein Ausführungsbeispiel eines Rotors von Fig. 8 in einer Untervariante mit einseitiger Rotorachse.

[0015] In einem Ausführungsbeispiel sind die Schraubenrotoren 101; 201 (Fig.3, 4; 8, 9) jeweils aus zwei Teilen, einem zylinderförmigen Schraubenkörper und einer koaxialen Rotorachse gebildet. Der Schraubenkörper 104; 204 (Fig.3; 8) ist mit einem Schraubengang von ca. 9/2 Umschlingungen sowie mit einer koaxialen Zentralbohrung versehen. Innerhalb des Schraubenkörpers 104; 204 ist die Zentralbohrung 106; 206 (Fig.3; 8) erweitert zu einem exzentrischen Hohlraum, Auswuchtraum 103; 203 (Fig.3; 8) genannt. In der Zentralbohrung 106; 206 des Schraubenkörpers 104; 204 ist die Rotorachse 105; 205 (Fig.3; 8) durch Preßsitze fixiert und verschließt solchermaßen den Auswuchtraum 103; 203 nach außen. Ein formschlüssiger Bereich sichert jeweils die Drehmomentübertragung zwischen Rotorachse 105; 205 und Schraubenkörper 104; 204. Aus Fertigungs- und Festigkeitsgründen sind Schraubenkörper 104; 204 und Rotorachse 105; 205 aus unterschiedlichen metallischen Werkstoffen gefertigt.

[0016] Ein in der Rotorachse 105; 205 vorgesehener Kanal 107; 207 (Fig.3; 8) dient der Belüftung oder Kühlung des Auswuchtraumes 103; 203 von einer gegen das Pumpmedium abgedichteten Stelle aus; vorliegende Ausführung zeigt eine saugseitig herausgeführte Zentralbohrung mit Querbohrung im Bereich des Auswuchtraumes zur Belüftung.

Rechnerische Behandlung :

[0017] In einem rechtwinkligen Koordinatensystem u, v, w gelten allgemein für einen beliebig geformten Körper homogener Dichte bei Rotation um die w-Achse und einer Ausdehnung $p \leq w \leq q$ folgende Beziehungen

$$P_u = \omega^2 \cdot \tau \cdot \int_p^q (g \langle w \rangle) \cdot \cos(\phi \langle w \rangle)\, dw \qquad (1)$$

$$P_v = \omega^2 \cdot \tau \cdot \int_p^q (g\langle w\rangle) \cdot \sin(\phi\langle w\rangle)\, dw \qquad (2)$$

$$M_{v,w} = \omega^2 \cdot \tau \cdot \int_p^q (g\langle w\rangle) \cdot w \cdot \sin(\phi\langle w\rangle)\, dw \qquad (3)$$

$$M_{u,w} = \omega^2 \cdot \tau \cdot \int_p^q (g\langle w\rangle) \cdot w \cdot \cos(\phi\langle w\rangle)\, dw \qquad (4)$$

[0018] Es bedeuten:

p, q = Integrationsgrenzen [cm]
P_u, P_v = Kraftkomponenten [g]
$M_{u,w}$, $M_{v,w}$ = Momentkomponenten [gcm]

ω = $2\pi/T$ = Drehzahl [Rad/sec]
π = Kreiszahl = 3,1415....
T = Umlaufzeit [sec]
τ = γ/b [g sec^2 / cm^4]
γ = Spez. Gewicht [g/cm^3]
b = Erdbeschleunigung = 981 [cm/sec^2]
g <w> = f <w>. r<w> [cm^3]
f <w> = Stirnschnittfläche als Funktion von w [cm^2]
r <w> = Schwerpunktmittenabstand als Funktion von w [cm]
ϕ <w> = Schwerpunktpositionswinkel als Funktion von w [Rad]

[0019] Für einen Schraubenkörper im u, v, w-System (Fig.2) mit mittlerem Stirnschnitt in der u-v-Ebene und Schwerpunkt So des mittleren Stirnschnitts auf der u-Achse sowie mit konstanter Steigung 1, konstanter Stirnfläche fo und konstantem Schwerpunktmittenabstand r_0 folgt insbesondere

$$g\langle w\rangle = g_0 = f_0 \cdot r_0 = \text{konst.} \qquad (5)$$

$$f\langle w\rangle = \alpha = (2\pi/l) \cdot W \qquad (6)$$

[0020] Wegen der symmetrischen Ausdehnung von - W_2 ... + W_2 entsprechend Positionswinkeln von -α_2 ....+α_2 folgt ferner :

$$p = -W_2 \qquad (7)$$

$$q = +W_2 \tag{8}$$

$$W_2 = \alpha_2 \cdot (l/2\pi) \tag{6a}$$

[0021] Aus der Symmetrie folgt für die ungewuchtete Schraube (=Vollschraube) unmittelbar:

$$P_V = \emptyset \tag{2a}$$

$$M_{u,w} = \emptyset \tag{4a}$$

[0022] Die verbleibenden Komponenten werden wie folgt ermittelt:
[0023] Aus (1), (5), (6), (6a), (7), (8) =>

$$P_u = \omega^2 \cdot \tau_0 \cdot g_0 \cdot \int_{-W2}^{+W2} \cos(2\pi\, w/l)\, dw = \omega^2 \cdot \tau_0 \cdot (g_0 \cdot (l/\pi) \cdot \sin\alpha_2) \tag{1a}$$

[0024] Aus (3), (5), (6), (6a), (7), (8) =>

$$M_{v,w} = \omega^2 \cdot \tau_0 \cdot g_0 \cdot \int_{-W2}^{+W2} w \cdot \sin(2\pi\, w/l)\, dw$$
$$= \omega^2 \cdot \tau_0 \cdot (g_0 \cdot (l/\pi)^2 \cdot (\sin\alpha_2 - \alpha_2 \cos\alpha_2)/2) \tag{3a}$$

[0025] Es bedeuten :

τ_0 = γ_0/b [g sec^2/cm^4]
γ_0 = Spez. Gewicht des Schraubenkörpers [g/cm^3]
l = Steigung [cm]
r_0 = Schwerpunktmittenabstand der Vollschraubenstirnfläche [cm]
f_0 = Stirnfläche der Vollschraube [cm^2]
α_2 = 1/2 Schraubenumschlingungswinkel [Rad]

l und g_0 sind durch die Schraubengeometrie fixiert; ω ist eine rein betriebsabhängige Größe mit $\omega > \emptyset$; τ_0 ist werkstoffabhängig und somit bedingt variabel mit $\tau_0 > \emptyset$; Hauptvariable ist der Umschlingungswinkel = 2 α_2.
[0026] Durch Variation von α_2 allein gelingt es indes nicht, $P_u = \emptyset$ und $M_{v,w} = \emptyset$ gleichzeitig zu realisieren (statische und dynamische Auswuchtung). In der vorliegenden Patentanmeldung wird ohne äußere Zusatzmassen und ohne stirnseitige Auswuchtkavernen im Inneren der Schraube exzentrische Massenkonzentration gebildet.
[0027] Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel hat die Rotorachse keinen Einfluß auf die Unwucht; der Auswuchtraum wird im Inneren der Vollschraube gebildet und er allein liefert hier die Kompensation zu statischer und dynamischer Unwucht; somit reduziert sich hier das Problem auf reine Formgestaltung ohne Einfluß der Werkstoffdaten d.h. die statischen und dynamischen Werte von Vollschraube und Auswuchtraum müssen in Übereinstimmung gebracht werden, derart, daß folgende 4 Gleichungen erfüllt sind:

$$P_v / \omega^2 \tau_0 = \emptyset = \int_{p3}^{q3} (g_3 <w>) \cdot \sin(\phi_3 <w>)\, dw \qquad (2b)$$

$$M_{u,w} / \omega^2 \tau_0 = \emptyset = \int_{p3}^{q3} (g_3 <w>) \cdot w \cdot \cos(\phi_3 <w>)\, dw \qquad (4b)$$

$$P_u / \omega^2 \tau_0 = g_0 \cdot (l/\pi) \cdot \sin \alpha_2 = \int_{p3}^{q3} (g_3 <w>) \cdot \cos(\phi_3 <w>)\, dw \qquad (1b)$$

$$M_{v,w} / \omega^2 \tau_0 = \underbrace{g_0 \cdot (l/\pi)^2 \cdot (\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cos \alpha_2)/2}_{\text{Vollschraube}} = \underbrace{\int_{p3}^{q3} (g_3 <w>) \cdot w \cdot \sin(\phi_3 <w>)\, dw}_{\text{Auswuchtraum}} \qquad (3b)$$

[0028] Hierbei zeigt der Index "$_3$" jeweils die Zugehörigkeit zum Auswuchtraum an.

[0029] In einer ersten Variante (Fig.3, 4) des Ausführungsbeispiels ist die geforderte Gangtiefe t (Fig.3) relativ groß, entsprechend einem relativ kleinen Kerndurchmesser c (Fig.3). Der wirksame Auswuchtraum 103 besteht hier aus drei axial fluchtend äquidistant angeordneten, kongruenten, gewundenen Flügeln 108 (Fig.4), die dem Verlauf des Schraubenganges abstandsparallel folgen. Fig.5 zeigt strichpunktiert 5 potentielle Flügelpositionen I-V; in der hier ausgeführen Variante wurden nur die mittleren Positionen II, III, IV, bestückt (Grobabstimmung).

[0030] Bei einem solchermaßen gebildeten Auswuchtraum 103 wird durch Variation der Flügelgröße und - form der statische Wert stark, der dynamische Wert wenig verändert. Bei der ungewuchteten Schraube erreicht man durch Veränderung der Schraubenlänge (= 2 W_2) in der Nähe ungeradzahlig Vielfacher der halben Steigung dagegen starke dynamische und schwache statische Veränderungen.

[0031] Aus vorgegebener Schraubenstirnschnittkontur (Fig.6) lassen sich zunächst nach einschlägig bekannten Methoden die Fläche f_0 und die Schwerpunktposition r_0, φ_s bestimmen. Man erhält

$$f_0 = 91{,}189\ [\ cm^2\ ];\ r_0 = 2{,}869\ [\ cm\ ];\ \varphi_2 = 84{,}178\ [\ 3°\ ].$$

[0032] Hieraus => $g_0 = f_0 \cdot r_0 = 261{,}636\ [\ cm^3\ ]$.

[0033] Mit (ebenfalls vorgegebener) Steigung l = 6,936 [cm] erhält man für die Vollschraube bei Variation von α_2 aus (1b) und (3b) direkt Zahlenwerte, die in Tabelle 1 gezeigt werden.

[0034] Die Form des Auswuchtraumes kann aus den Bedingungen (2b), (4b), (1b), (3b) nicht zwangsläufig hergeleitet werden; es ist vielmehr notwendig, eine Geometrie zunächst festzulegen, hierfür die 4 Eckdaten zu bestimmen, danach die Geometrie zu korrigieren, die 4 Eckdaten neu bestimmen usw., solange bis (2b), (4b), (1b), (3b) mit genügender

Genauigkeit erfüllt sind.

[0035] Grenze für die Ausdehnung des Auswuchtraums ist durch eine stabilitätsbedingte Mindestwandstärke gegeben. Wegen der variierenden räumlichen Krümmung der Schraubenoberfläche ist eine Ermittlung der Grenzlinie im Stirnschnitt nur rechnerisch möglich : Stirnschnittkontur und Steigung I liefern für jeden Punkt der Schraubenoberfläche einen Normalenvektor, dessen Betrag der Mindestwandstärke gleichgesetzt wird. Der Endpunkt des Vektors wird dann in eine fixe Ebene (w = konstant) verschraubt und liefert einen Punkt der Grenzlinie. Mit einem speziell hierfür entwikkelten EDV-Programm, dessen Unterprogramme die profilspezifischen Formeln enthalten, wurden die Kurvendaten der in Fig.6 strichpunktiert dargestellten Grenzlinie für eine Wandstärke von 0,7 [cm] berechnet.

[0036] Wegen der komplexen gewundenen Form lassen sich realisierbare Funktionen g_3 <w> und ϕ_3 <w> nur äußerst aufwendig mathematisch darstellen mit Zusatzproblemen in der nachfolgenden Integration ((1b)...(4b)); eine Näherungsmethode mit Aufsummation endlich vieler kleiner Teilbeträge per EDV-Programm führt hier schneller zum Ziel:

[0037] Hierzu wird der Auswuchtraum in N axial hintereinander, versetzt angeordnete Scheiben der gleichen Dicke ΔW aufgeteilt. Die Stimkontur jeder Scheibe ist separat durch viele Einzelpunkte definiert und wird solchermaßen abgespeichert.

[0038] Ein EDV-Teilprogramm berechnet hieraus zunächst für jede Scheibe die Werte g_n und ϕ_{ri} und speichert diese in Felddatenspeichern ab.

[0039] Ein weiteres EDV-Programm ruft diese Werte wieder ab und bildet die Integralwerte durch Aufsummierungen:

$$P_v / \omega^2 \tau_0 = \Delta W \cdot \sum_{n=1}^{N} g_n \cdot \sin\phi_n \quad [\,cm^4\,] \qquad (2c)$$

$$M_{u,w} / \omega^2 \tau_0 = \Delta W \cdot \sum_{n=1}^{N} g_n \cdot W_n \cdot \cos\phi_n \quad [\,cm^5\,] \qquad (4c)$$

$$P_u / \omega^2 \tau_0 = \Delta W \cdot \sum_{n=1}^{N} g_n \cdot \cos\phi_n \quad [\,cm^4\,] \qquad (1c)$$

$$M_{v,w} / \omega^2 \tau_0 = \Delta W \cdot \sum_{n=1}^{N} g_n \cdot W_n \cdot \sin\phi_n \quad [\,cm^5\,] \qquad (3c)$$

[0040] Konstruktiv wird nun im Mittelbereich des Flügels die Scheiben-Stimschnittkontur optimal bis zur Grenzlinie (strichpunktiert in Fig.6) ausgedehnt sowie die Schwerpunktwinkelpositionen von Vollschraube und Auswuchtraum zur Deckung gebracht 108 (Fig.4),

[0041] Der Mittelbereich erstreckt sich über eine (zunächst) variable Anzahl von m gleichen Scheiben, die Endbereiche weisen jeweils 5 Scheiben abnehmender Konturen auf (Fig.7). Bei ΔW = 0,108 [cm] und Variation von m erhält man für den 3-flügeligen Auswuchtraum die in Tabelle 2 gezeigten Werte.

[0042] Eine gute Annäherung bieten Werte α_2 = 806,8...806,9 [<°] und m = 10. Ein anschließender Feinabgleich erfolgt durch Korrekturen an den Scheibengeometrieen. Der rechnerisch ermittelte Wert der Relation Schraubenlänge/ Steigung beträgt hier 2 W_2/I = a = 4,4825 < 9/2.

[0043] In einer zweiten Variante (Fig.8, 9) des Ausführungsbeispiels ist die geforderte Gangteife t (Fig.8) relativ klein,

entsprechend einem relativ großen Kemdurchmesser c (Fig.8). Der wirksame Auswuchtraum 203 (Fig.8) verläuft geradlinig, achsparallel mit konstantem Querschnitt (Fig.9) exzentrisch innerhalb des Schraubenkembereichs, axial vermittelt (Fig.10).

[0044] Ein solchermaßen ausgebildeter Auswuchtraum 203 hat keinen Einfluß auf die dynamische Unwucht. Bei der rechnerischen Behandlung wird also zunächst mit Hilfe von (3a) der genaue Wert a_o = Schraubenlänge/Steigung in der Nähe von 9/2 Umschlingungen ermittelt, für den die dynamische Unwucht der Schraube ebenfalls gleich "Null" ist. Dieser Wert a_o ist profilunabhängig.Einige Werte für unterschiedliche Umschlingungen sind in Tab. 3 gezeigt. Hieraus folgt mit (1a) direkt der (profilabhängige) Wert der statischen Unwucht der Schraube :

$P_u/\omega^2\tau_0 = g_0 \cdot (l/\pi) \cdot \sin\alpha_2$

$\alpha_2 = 14{,}0662$ [Rad]

$l = 5{,}390$ [cm]

$g_0 = 150{,}374$ [cm^3]

$P_u/\omega^2\tau_0 = 257{,}347$ [cm^4]

[0045] Diesem Wert wird der Wert des Auswuchtraumes 203 durch Querschnitt - und Längenanpassung gleichgesetzt:

e=2,85 [cm] d = 1,6 [cm] => j=20,3 [cm]

[0046] Bei einer Untervariante (Fig. 11) der zweiten Variante wird der Schraubenrotor 302 auf der einseitig am Schraubenkörper koaxial befestigten Rotorachse fliegend gelagert. Der exzentrische Auswuchtraum 303 ist von der achsenlosen Stirnseite des Schraubenrotors über eine grosse koaxiale Bohrung zugänglich und kann somit auf mehrere Arten gefertigt werden. Schraubenkörper und Rotorachse bilden vorzugsweise eine einstückige Einheit, die koaxiale Bohrung and der Rotorstimseite wird wahlweise durch einen Stopfen 309 verschlossen. Besondere Proportionen des Schraubenkörpers, u.a. bedingt durch die einseitige Lagerung, führen bei gleichem Rechengang zu abweichenden Proportionen e, d, j des Auswuchtraumes 303.

[0047] Schraubenrotoren mit Profilgeometrien beider Varianten des beschriebenen Ausführungsbeispiels gemäß den in Fig.3, 4, 6, 7; 8, 9 widergegeben Proportionen wurden theoretisch fundiert und EDV-gestützt berechnet und für 1 Längeneinheit (L.E) = 1cm realisiert und erfolgreich erprobt.

Tabelle 1 :

α_2 [<°]	$P_u/\omega^2\,\tau_0$ [cm^4]	$M_{v,w}/\omega^2\tau_0$ [cm^5]
807,4	577,045	229,381
807,3	576,998	213,715
807,2	576,950	198,053
807,1	576,900	182,394
807,0	576,848	166,739
806,9	576,794	151,087
806,8	576,739	135,438
806,7	576,682	119,793
806,6	576,623	104,151

Tabelle 2:

m	$P_u/\omega^2\tau_0$ [cm^4]	$M_{v,w}/\omega^2\tau_0$ [cm^5]	$P_v/\omega^2\tau_0$ [cm^4]	$M_{u,w}/\omega^2\tau_0$ [cm^5]
13	641,926	231,623	-3,902	3,970
12	619,980	199,530	-4,081	3,574
11	596,549	170,234	-4,251	3,192
10	571,692	143,681	-4,410	2,824
9	545,467	119,803	-4,559	2,473
8	517,937	98,519	-4,697	2,140
7	489,169	79,735	- 4,824	1,827

Tabelle 3 :

Relationen Schraubenlänge/Steigung = $a_o = 2W_2/I$ bei geradem Auswuchtraum mit konstantem Querschnitt.						
$a_o = 2W_2/I = 2\ \alpha_2 / 2\pi$	2,459	3,471	4,477	5,481	6,484	7,486
ungeradzahlig Vielfache von ½	5/2	7/2	9/2	11/2	13/2	15/2

etc ...

Patentansprüche

1. Schraubenrotorsatz für Schraubenpumpen in achsparalleler Anordnung mit gegenläufigem außenachsigem Eingriff sowie mit Umschlingungswinkeln von mindestens 720° in eingängiger Ausführung und mit glatten, planparallelen Rotor-Stirnflächen, **dadurch gekennzeichnet, daß** jeder Schraubenrotor (1, 2; 101, 102; 201, 202; 301, 302) aus mehreren starr miteinander verbundenen Einzelteilen mit gemeinsamer Drehachse, wahlweise exzentrischen Schwerpunktlagen und wahlweise unterschiedlichen Werkstoffdichten gebildet ist;
daß die Einzelteile im Rotorinneren einen exzentrischen, zum Pumpenraum hin abtrennbaren Hohlraum, den Auswuchtraum (3; 103; 203; 303) bilden;
daß die Abstimmung der Werkstoffdichten und der Geometrien der Einzelteile im Rotorinneren die statische Auswuchtung bewirkt und die dynamische Unwucht beeinflußt und daß die dynamische Auswuchtung bei geringer Rückwirkung auf die statische Unwucht erreicht wird durch rechnerische Bestimmung des Verhältnisses Schraubenlänge/Steigung = a auf Werte, die jeweils etwas kleiner als ungeradzahlig Vielfache von 1/2 sind.

2. Schraubenrotorsatz nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** jeder Schraubenrotor (1, 2; 101, 102; 201, 202) aus einem zylindrischen Schraubenkörper (104; 204) und einer koaxialen Rotorachse (105; 205) gebildet ist, welche im Innenbereich des Schraubenkörpers einen exzentrischen Hohlraum, den Auswuchtraum (103; 203) bilden.

3. Schraubenrotorsatz nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** jeder Schraubenrotor (1, 2) aus einem zylindrischen Schraubenkörper und einer koaxialen Rotorachse mit im Innenbereich des Schraubenkörpers exzentrisch verlagertem Querschnitt gebildet ist und daß Schraubenkörper und Rotorachse aus Werkstoffen unterschiedlicher Dichte gefertigt sind.

4. Schraubenrotorsatz nach Anspruch 2 und 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** jeder Schraubenrotor (1, 2) aus einem zylindrischen Schraubenkörper und einer koaxialen Rotorachse mit im Innenbereich des Schraubenkörpers exzentrisch verlagertem Querschnitt gebildet ist und daß Schraubenkörper und Rotorachse aus Werkstoffen unterschiedlicher Dichte gefertigt sind und im Innenbereich des Schraubenkörpers einen exzentrischen Hohlraum, den Auswuchtraum (3) bilden.

5. Schraubenrotorsatz nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Schraubenrotor (1, 2; 301, 302) aus einem zylindrischen Schraubenkörper (304) mit einer einseitig koaxial angebrachten Rotorachse gebildet ist und dass der Schraubenkörper im Innenbereich einen exzentrischen Hohlraum, den Auswuchtraum (303) aufweist, dessen Zugang von der achsenlosen Stirnseite des Rotors wahlweise durch einen Stopfen (309) verschlossen ist.

6. Schraubenrotorsatz nach Anspruch 2 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Auswuchtraum (103) mehrere seitliche flügelartige Erweiterungen (108) aufweist, die dem Verlauf des Schraubenganges abstandsparallel folgen.

7. Schraubenrotorsatz nach Anspruch 2 oder 4 oder 5, alternativ zu Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Auswuchtraum (203) axial geradlinig mit konstantem Querschnitt verläuft, sodaß der Einfluß auf die dynamische Unwucht gleich "Null" ist.

8. Schraubenrotorsatz nach Anspruch 2 oder 4 oder 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Auswuchtraum (103; 203) über einen in der Rotorachse vorgesehenen Kanal (107; 207) belüftet oder gekühlt ist.

9. Schraubenpumpe mit einem Schraubenrotorsatz gemäss einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 8.

Claims

1. Screw rotor set for screw pumps in an axially parallel arrangement engaging in opposite directions in the external axes and with wrap angles of at least 720° in a single-thread construction, and with smooth plane-parallel rotor end faces, **characterized in that** each screw rotor (1, 2; 101, 102; 201, 202; 301, 302) consists of several individual parts fixed rigidly together with a common axis of rotation, optionally eccentric centre of gravity positions and optionally different material densities; the individual parts inside the rotor form an eccentric cavity separable from the pump chamber, the balancing cavity (3; 103; 203; 303); adjustment of the material densities and the geometry of the individual parts inside the rotor cause static balancing and affect dynamic unbalance, and dynamic balancing is achieved with little effect on static unbalance by calculated determination of the screw length/pitch ratio = a at values which are somewhat smaller than uneven multiples of ½.

2. Screw rotor set as per claim 1, **characterized in that** each screw rotor (1, 2; 101, 102; 201, 202) consists of a cylindrical screw body (104; 204) and a coaxial rotor shaft (105; 205), which form an eccentric cavity, the balancing cavity (103; 203) inside the screw body.

3. Screw rotor set as per claim 1, **characterized in that** each screw rotor (1, 2) consists of a cylindrical screw body and a coaxial rotor shaft with a cross-section bearing-mounted eccentrically inside the screw body and that the screw body and rotor shaft are made of materials of different densities.

4. Screw rotor set as per claims 2 and 3, **characterized in that** each screw rotor (1, 2) consists of a cylindrical screw body and a coaxial rotor shaft with a cross-section mounted eccentrically inside the screw body and that the screw body and rotor shaft are made of materials of different densities and form an eccentric hollow cavity, the balancing cavity (3) inside the screw body.

5. Screw rotor set as per claim 1, **characterized in that** each screw rotor (1, 2; 301, 302) consists of a cylindrical screw body (304) with a rotor shaft applied coaxially on one side and that the screw body has an eccentric hollow cavity, the balancing cavity (303) on the inside, whose access on the shaft-free end face of the rotor can be sealed optionally with a plug (309).

6. Screw rotor set as per claim 2 or 4, **characterized in that** the balancing cavity (103) has several wing-type extensions on the side (108), which follow the screw thread with parallel centreline.

7. Screw rotor set as per claim 2 or 4 or 5, as an alternative to claim 6, **characterized in that** the balancing cavity (203) runs axially in a straight line with constant cross-section, so that the effect on the dynamic unbalance is equal to «zero».

8. Screw rotor set as per claim 2 or 4 or 6 or 7, **characterized in that** the balancing cavity (103; 203) is ventilated or cooled by means of a channel (107; 207) arranged in the rotor shaft.

9. Screw pump with a screw rotor set as per one or more of claims 1 to 8.

Revendications

1. Jeu de rotors à vis pour pompes à vis, à axes parallèles, avec engrènement extérieur en sens inverses, avec des angles d'enveloppement d'au moins 720°, à filet unique, avec des faces frontales de rotor planes et parallèles, **caractérisé en ce que** chaque rotor à vis (1, 2; 101, 102; 201, 202; 301, 302) est constitué de plusieurs pièces assemblées de manière rigide entre elles, avec un axe de rotation commun, optionnellement des centres de gravité excentrés et optionnellement des densités de matériaux différentes; **en ce que** lesdites pièces forment à l'intérieur des rotors une cavité excentrée, la cavité d'équilibrage (3; 103; 203; 303), qui peut être isolée de la chambre de pompe; **en ce que** l'ajustement des densités des matériaux et des géométries desdites pièces à l'intérieur des rotors assure l'équilibrage statique et influe sur le balourd dynamique et **en ce que** l'équilibrage dynamique est obtenu avec un faible effet sur le balourd statique en déterminant par calcul le rapport longueur de vis/pas de vis = a, avec des valeurs qui sont toujours un peu plus petites que des multiples impairs de 1/2.

2. Jeu de rotors à vis selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** chaque rotor à vis (1, 2; 101, 102; 201, 202) est formé d'un corps de vis cylindrique (104; 204) et d'un axe de rotor (105; 205) coaxial, qui forment à l'intérieur

du corps de vis une cavité excentrée, la cavité d'équilibrage (103; 203).

3. Jeu de rotors à vis selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** chaque rotor à vis (1, 2) est constitué d'un corps de vis cylindrique et d'un axe de rotor coaxial, avec une section transversale excentrée à l'intérieur du corps de vis, et **en ce que** le corps de vis et l'axe de rotor sont fabriqués avec des matériaux de densités différentes.

4. Jeu de rotors à vis selon les revendications 2 et 3, **caractérisé en ce que** chaque rotor à vis (1, 2) est constitué d'un corps de vis cylindrique et d'un axe de rotor coaxial, avec une section transversale excentrée à l'intérieur du corps de vis, et **en ce que** le corps de vis et l'axe de rotor sont fabriqués au moyen de matériaux de densités différentes et constituent à l'intérieur du corps de vis une cavité excentrée, la cavité d'équilibrage (3).

5. Jeu de rotors à vis selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** chaque rotor à vis (1, 2; 301, 302) est constitué d'un corps de vis cylindrique (304) avec un axe de rotor coaxial agencé d'un côté et **en ce que** le corps de vis possède dans son intérieur une cavité excentrée, la cavité d'équilibrage (303), dont l'accès peut être fermé par un bouchon (309) du côté de la face frontale du rotor sans axe.

6. Jeu de rotors à vis selon la revendication 2 ou 4, **caractérisé en ce que** la cavité d'équilibrage (103) présente plusieurs extensions (108) latérales en forme d'ailes, qui suivent le tracé du pas de vis parallèlement et à distance.

7. Jeu de rotors à vis selon l'une des revendications 2, 4 ou 5, en tant qu'alternative à la revendication 6, **caractérisé en que** la cavité d'équilibrage (203) présente une section transversale constante selon une droite parallèle à l'axe, de sorte que l'influence sur le balourd dynamique est nulle.

8. Jeu de rotors à vis selon l'une des revendications 2, 4, 6 ou 7, **caractérisé en ce que** la cavité d'équilibrage (103; 203) est aérée ou refroidie au moyen d'un canal (107; 207), prévu dans l'axe du rotor.

9. Pompe à vis avec un jeu de rotors à vis selon l'une ou plusieurs des revendications 1 à 8.

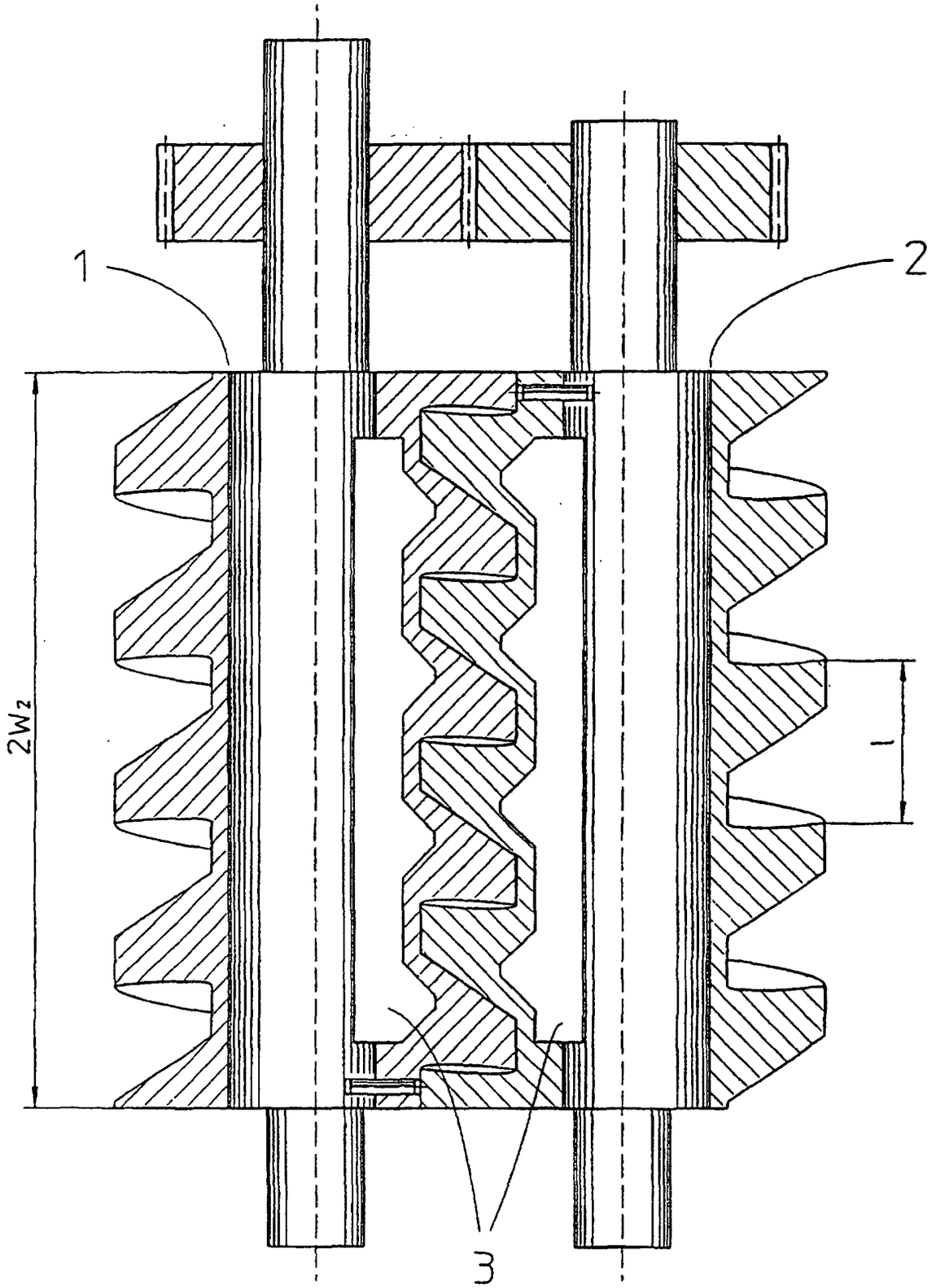


Fig.1

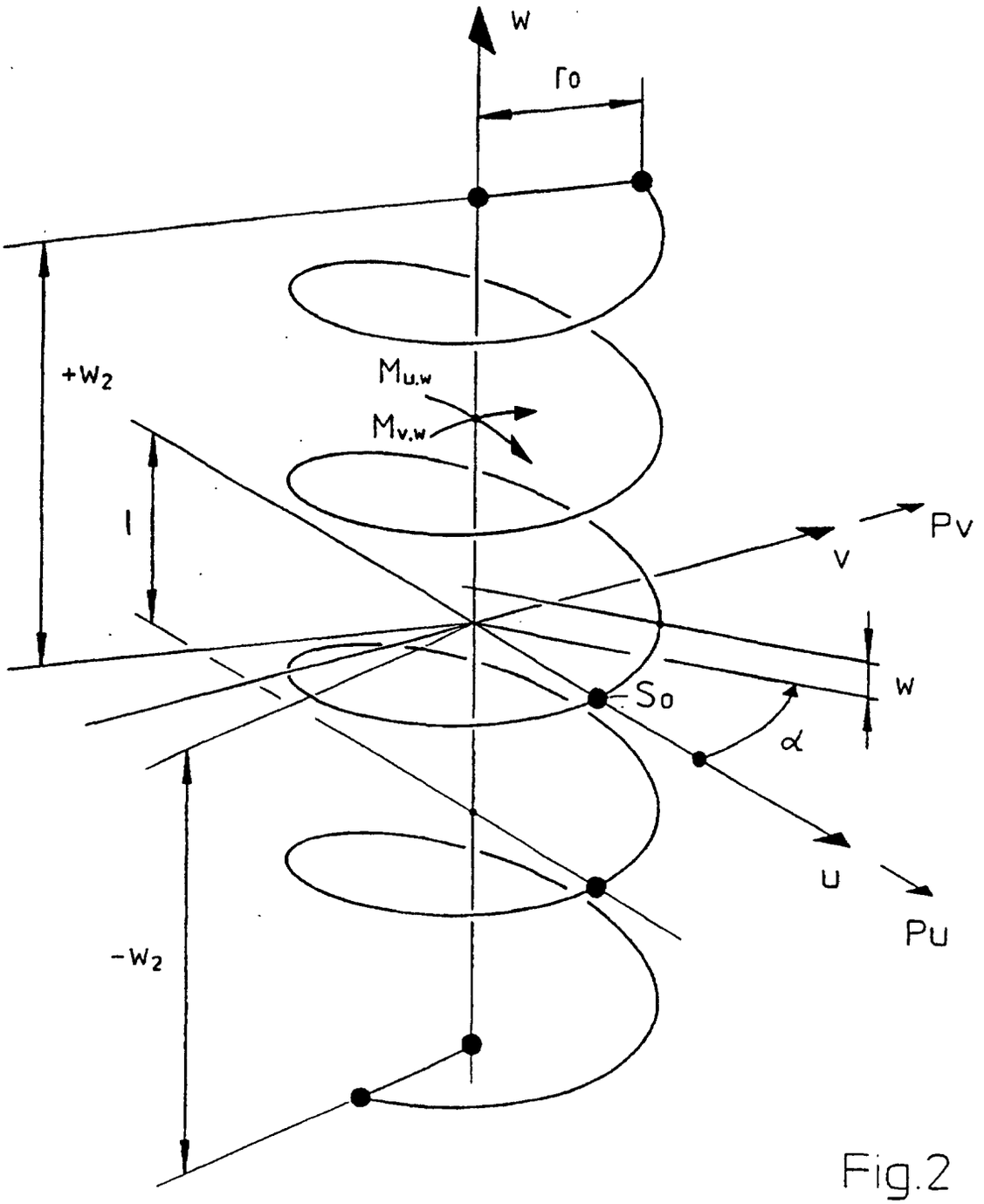


Fig.2

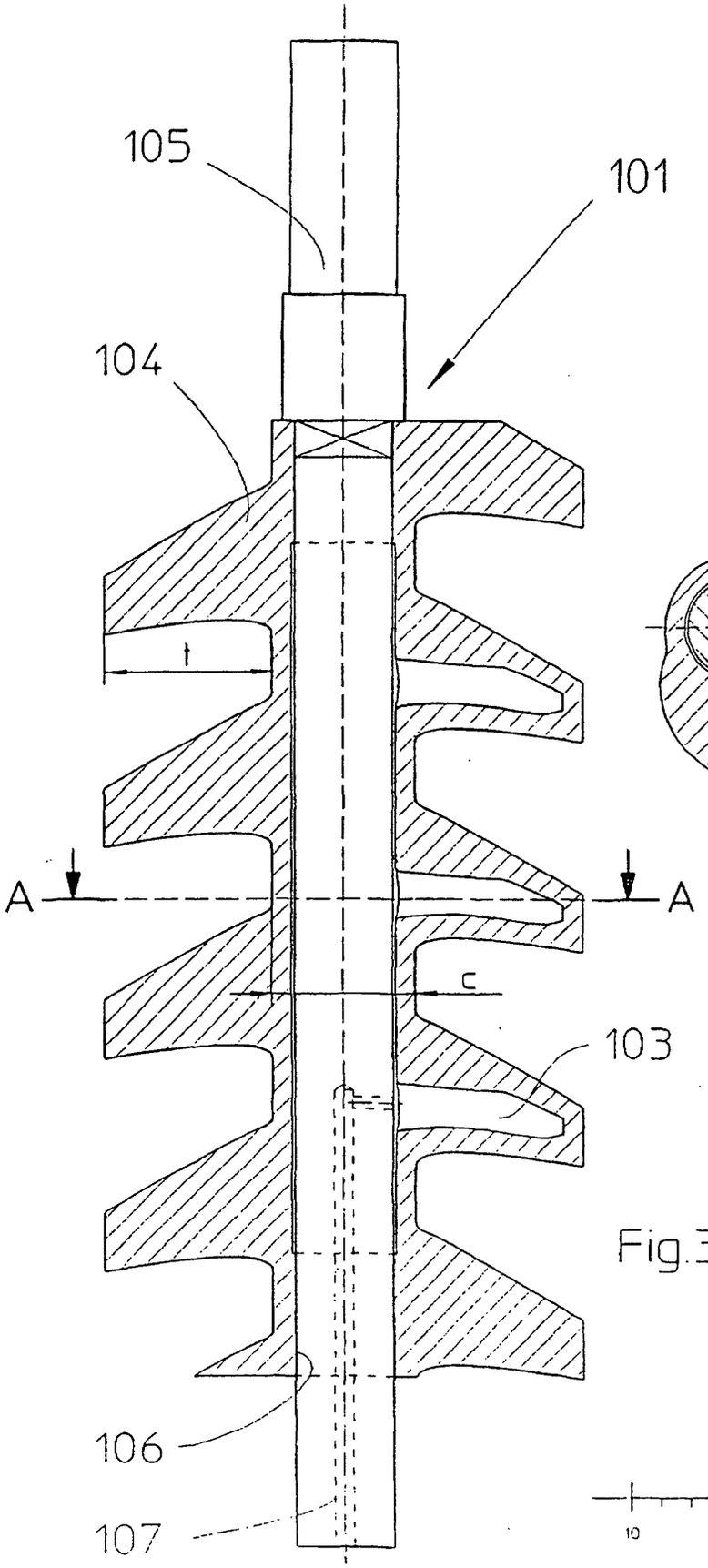


Fig.3

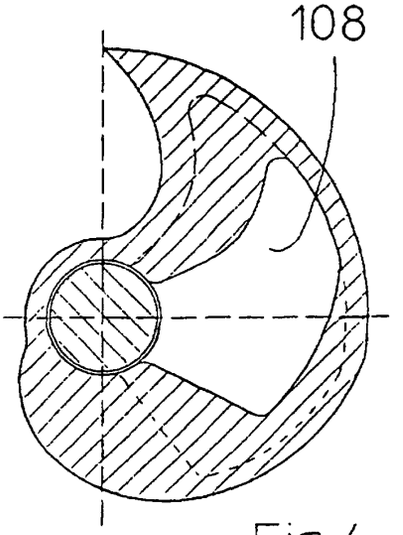
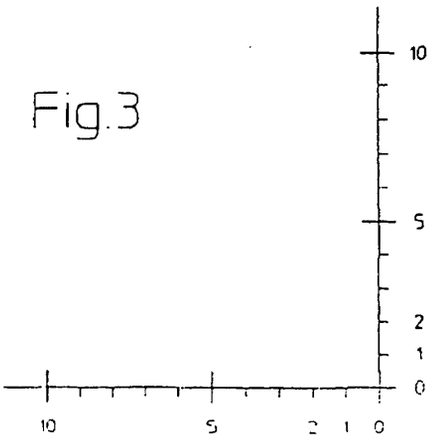


Fig.4



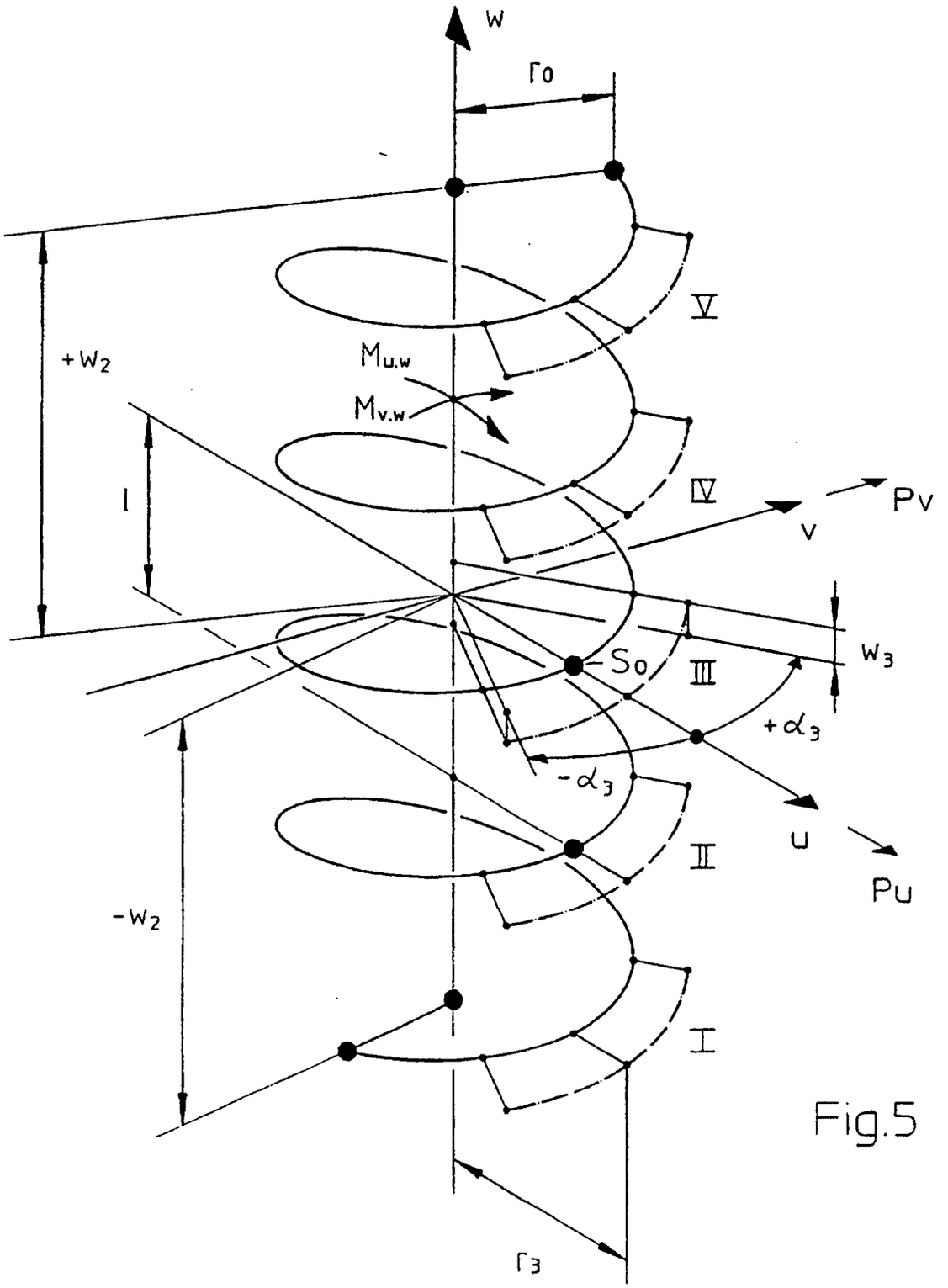
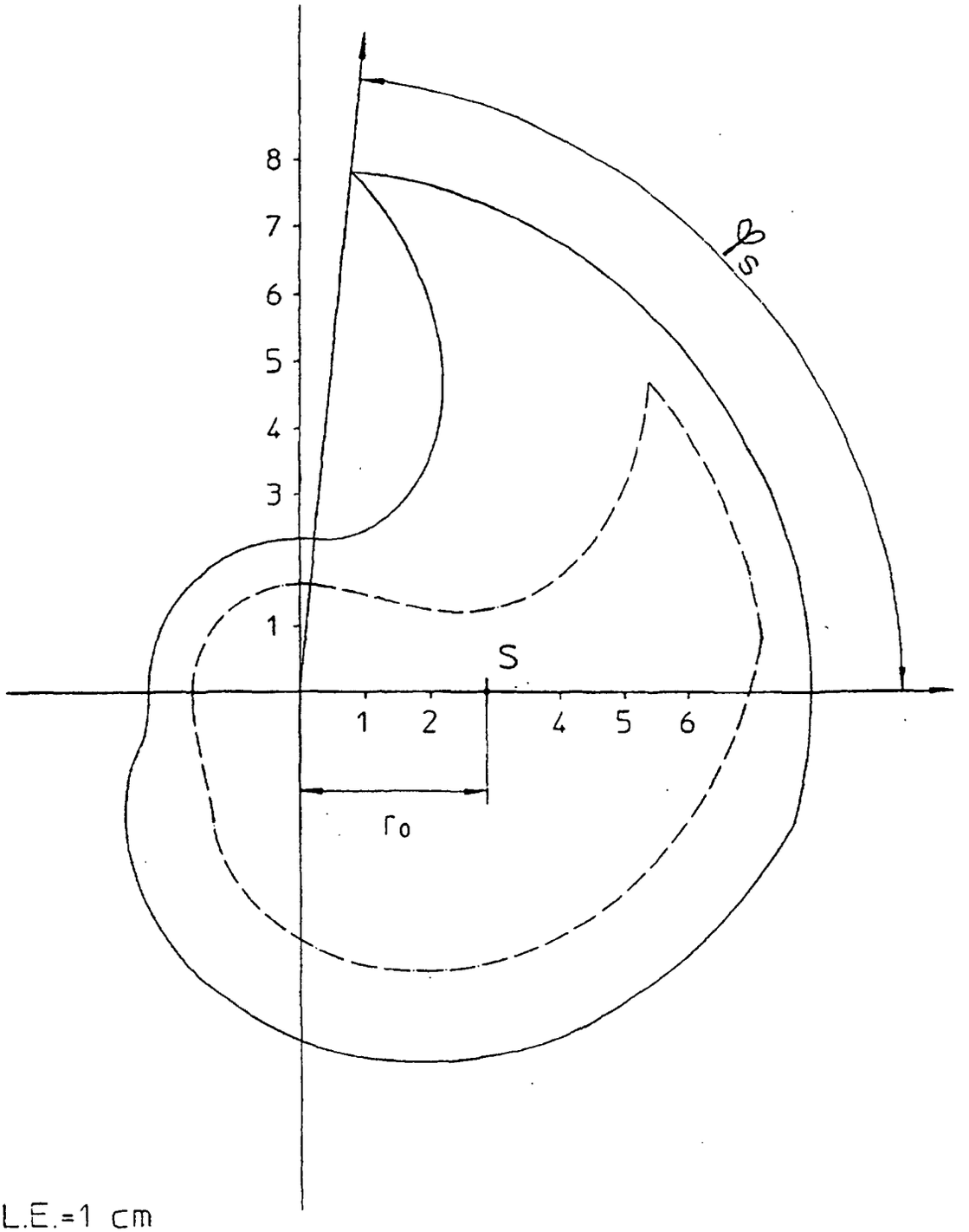


Fig.5



1 L.E.=1 cm

Fig.6

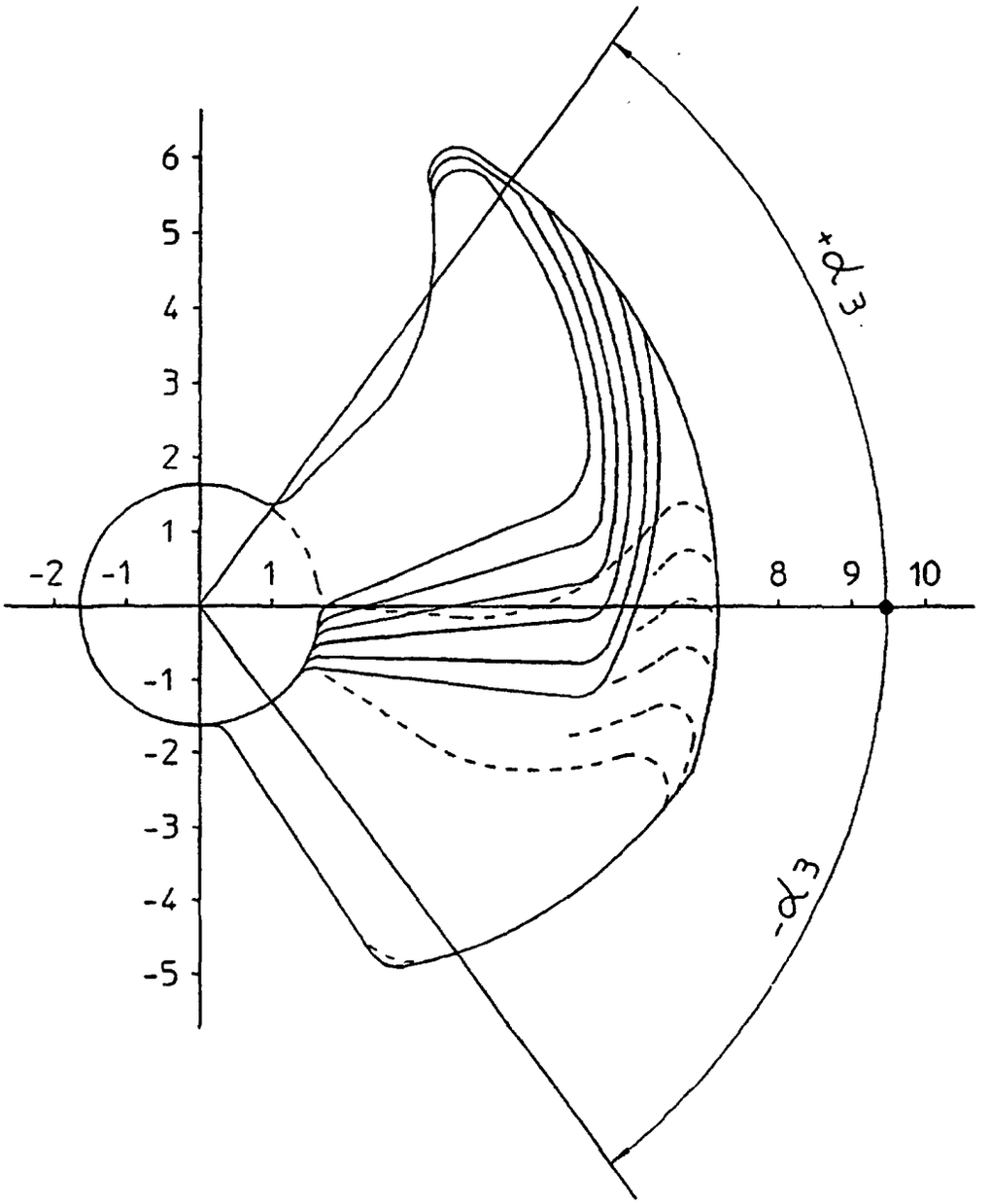


Fig.7

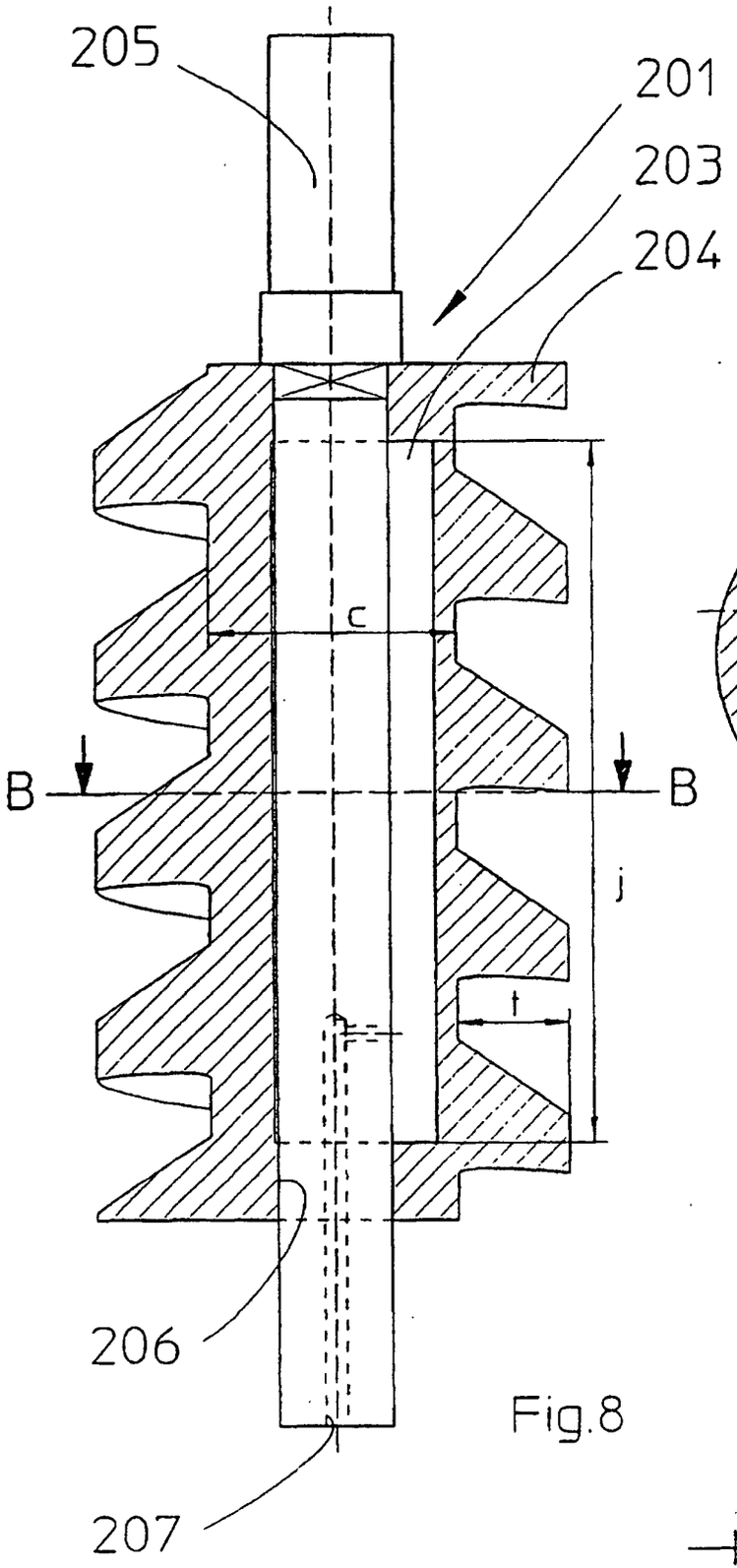


Fig.8

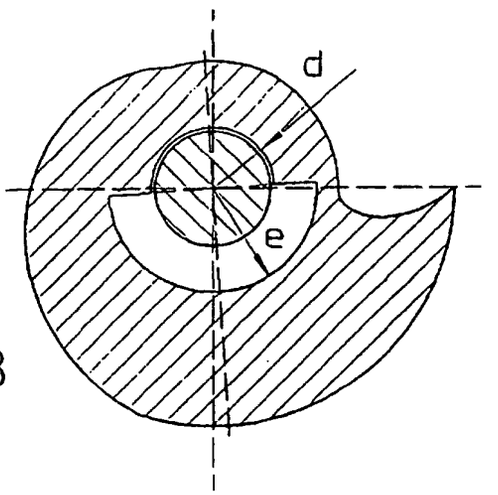
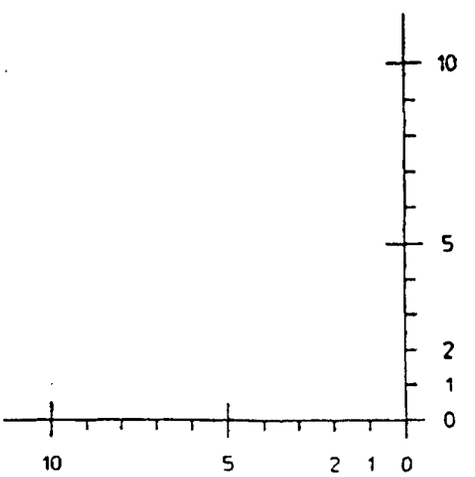


Fig.9



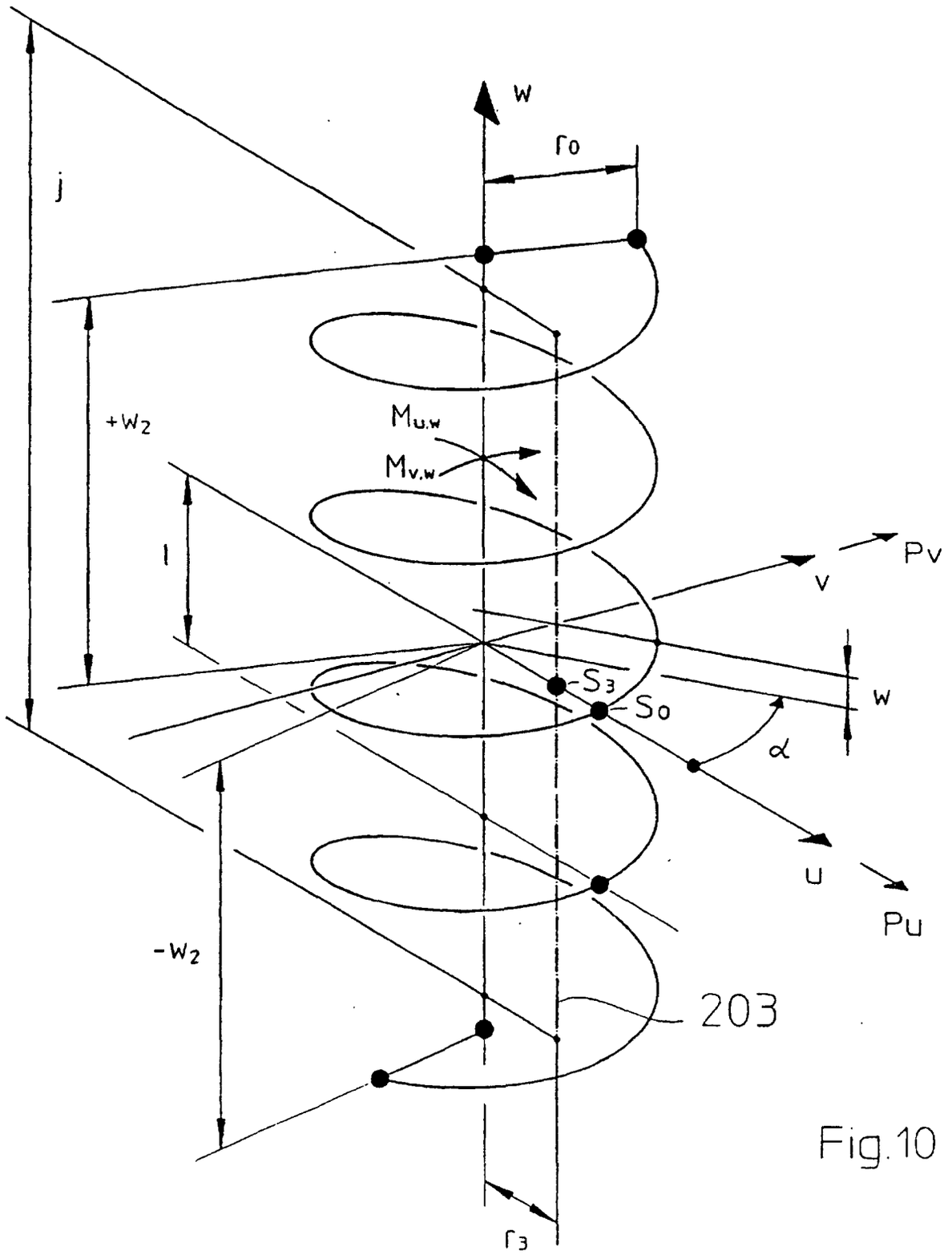


Fig.10

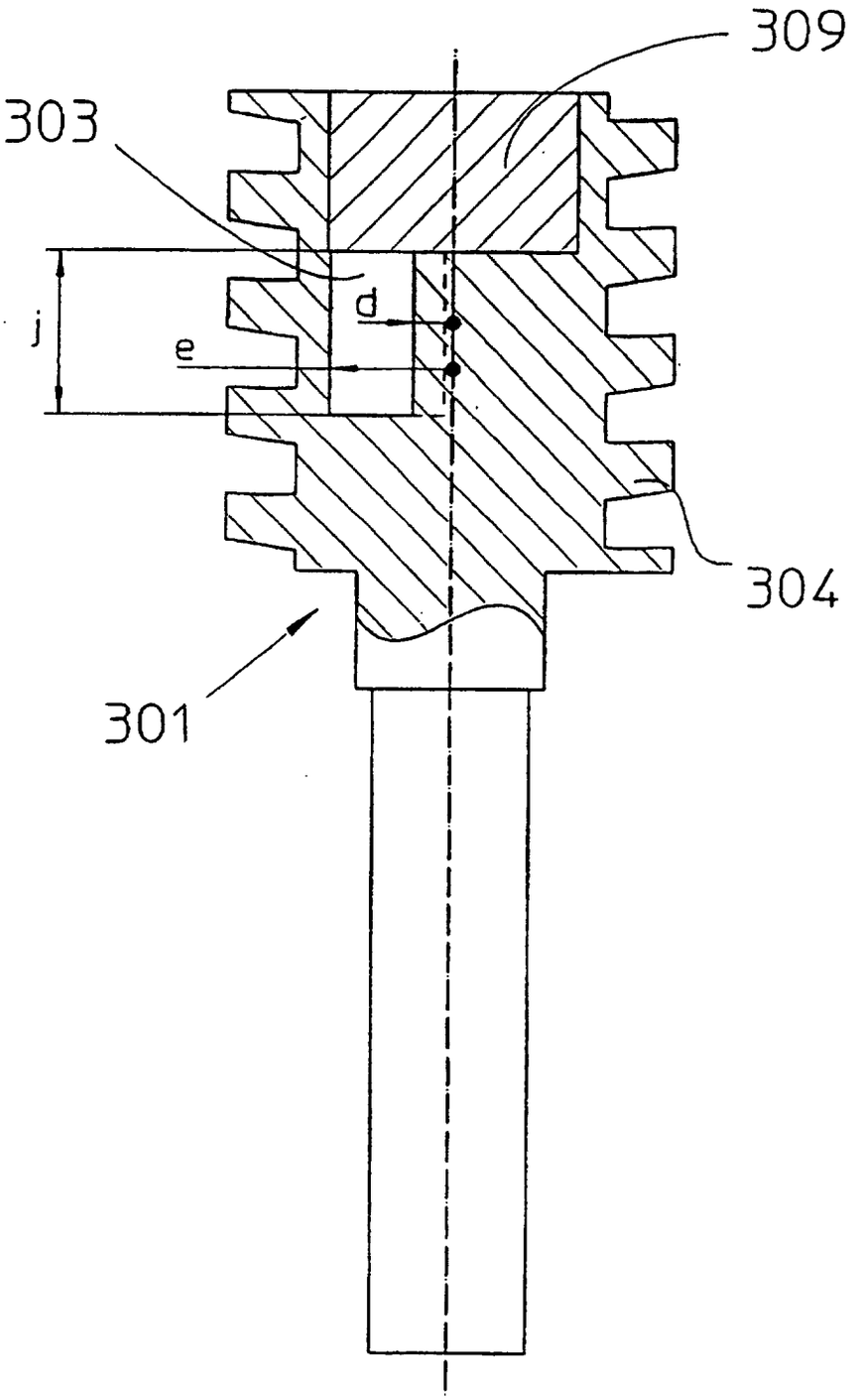


Fig.11