

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 808 412 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

04.11.1998 Bulletin 1998/45

(21) Numéro de dépôt: **96903072.5**

(22) Date de dépôt: **08.02.1996**

(51) Int Cl.⁶: **F01C 1/344**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR96/00210

(87) Numéro de publication internationale:
WO 96/24754 (15.08.1996 Gazette 1996/37)

(54) **MACHINE VOLUMETRIQUE A PALETTES**

FIÜGELZELLENMASCHINE

POSITIVE-DISPLACEMENT MACHINE HAVING VANES

(84) Etats contractants désignés:
DE FR

(30) Priorité: **10.02.1995 FR 9501557**

(43) Date de publication de la demande:
26.11.1997 Bulletin 1997/48

(73) Titulaires:

- **Leroy, André**
7030 Mons (BE)
- **FLAMME, Jean-Marie**
F-75011 Paris (FR)

(72) Inventeurs:

- **Leroy, André**
7030 Mons (BE)
- **FLAMME, Jean-Marie**
F-75011 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Peuscet, Jacques et al**
SCP Cabinet Peuscet et Autres,
78, avenue Raymond Poincaré
75116 Paris (FR)

(56) Documents cités:

DE-A- 3 231 588 **DE-A- 3 800 324**
US-A- 4 480 973 **US-A- 4 501 537**

EP 0 808 412 B1

Il est appelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

L'objet de l'invention est une machine volumétrique à éléments mobiles d'étanchéité comprenant au moins un capsulisme comportant essentiellement une capsule constituée d'une partie tubulaire cylindrique à directrice non-circulaire et de deux flasques d'extrémité, un piston cylindrique dont la directrice est un cercle de centre O et de rayon R_p , muni de rainures guidant les éléments d'étanchéité dans le piston, ce piston étant en liaison rotoïde avec la capsule autour de son axe, ainsi qu'un système de distribution du fluide permettant son admission et son échappement. Dans cette machine, les éléments mobiles d'étanchéité sont le plus souvent des palettes mais peuvent être des rouleaux. La directrice de la partie tubulaire de la capsule, appelée profil de capsule, est constituée, successivement et alternativement, de n arcs de cercle appelés arcs de conformité, d'ouverture angulaire éventuellement nulle, de centre O et de rayon $R_p + J$, J désignant le jeu radial entre ces arcs et la directrice du piston, ainsi que de n arcs géométriques appelés arceaux, limitant dans la direction centrifuge le mouvement des éléments d'étanchéité dans les rainures. Chaque arceau a, avec les arcs de conformité adjacents, deux points de raccordement M_i et M_f en lesquels les rayons de courbure sont respectivement égaux à R_{ci} et à R_{cf} et en lesquels les angles des tangentes, τ_i et τ_f respectivement, diffèrent de $\pi/2$ des angles polaires correspondants θ_i et θ_f ; chaque arceau contient également un point M_e en lequel le rayon polaire est maximal, égal à $R_p + J + H$, en lequel l'angle de la tangente τ_e diffère de $\pi/2$ de l'angle polaire θ_e correspondant et en lequel le rayon de courbure R_{ce} est inférieur à R_p .

On connaît de nombreuses machines volumétriques répondant à cette définition et notamment les machines décrites successivement dans les brevets et demandes de brevets suivants : US 2 791 185, JP 58-174102 et FR 2 547 622.

Dans chacun de ces brevets, un profil de capsule original est revendiqué, dans le brevet US 2 791 185 pour répondre à une organisation particulière de la machine, dans le brevet JP 58-174102 pour accélérer la sortie des palettes et ralentir leur rentrée, dans le brevet FR 2 547 622 pour fournir un meilleur compromis entre les différentes sujétions qu'impose la conception de machines à hautes performances.

On peut constater au travers de ces trois brevets une tendance à l'amélioration progressive de l'élément géométrique de la machine le plus critique pour les performances, et une tendance pratiquement inévitable à une augmentation sensible du nombre de paramètres nécessaires pour préciser un profil de capsule, ce qui entraîne une difficulté pour exprimer à travers ces paramètres les contraintes d'optimisation, et surtout, pour hiérarchiser celles-ci.

Dans les machines conformes à l'invention, on s'écarte de cette tendance en proposant une nouvelle géométrie du profil de capsule qui répond directement aux deux exigences majeures auxquelles sont soumises actuellement les machines à hautes performances, à savoir la compacité et la tranquillité de marche, tout en n'ayant recours qu'à un nombre minimal de paramètres pour préciser cette géométrie.

L'invention suppose imposées a priori les données géométriques suivantes : R_p , n, H/R_p , J, θ_i , θ_e , θ_f , auxquelles on peut au plus ajouter les rayons de courbure R_{ci} , R_{ce} et R_{cf} .

- R_p est l'échelle de la machine et est imposé en relation avec la valeur souhaitée de la cylindrée pour une largeur unitaire du capsulisme ;
- n est généralement égal à 1, 2 ou 3 ;
- le rapport H/R_p est imposé aussi grand que possible pour réduire l'encombrement de la machine ; ce rapport est toutefois limité par la possibilité de matérialiser les rainures dans le piston, ce qui est d'autant plus difficile que la valeur de n est faible, et par la nécessité d'obtenir un profil qui ait en chacun de ses points un rayon de courbure suffisant, notamment pour assurer un contact entre l'élément d'étanchéité et la capsule avec une pression de Hertz aussi faible que possible, et qui ait une courbure suffisante pour éviter la rentrée des éléments d'étanchéité dans le piston sous l'action conjuguée de la pression du fluide et des réactions d'inertie ;
- le jeu J est imposé par des considérations technologiques et économiques ;
- θ_i et $(2\pi/n - \theta_f)$ sont imposés pour assurer une bonne étanchéité entre le piston et la capsule, compte tenu notamment, du niveau de la différence de pressions entre l'admission et l'échappement, du rapport H/R_p souhaité, du jeu J imposé et de la largeur des palettes ou du diamètre des rouleaux selon le cas ;
- θ_e peut être égal à $(\theta_i + \theta_f)/2$ ou s'écarter de cette valeur, notamment pour rendre dissymétriques les réactions d'inertie sur l'arc M_iM_e et sur l'arc M_eM_f , permettant ainsi, dans une certaine mesure, la régularisation du couple moteur ; dans cette perspective, on rapprochera le plus souvent le point M_e du point M_i ($2\theta_e \leq \theta_i + \theta_f$) lorsque le fluide est en moyenne à plus basse pression sur l'arc M_iM_e que sur l'arc M_eM_f et on rapprochera le plus souvent le point M_e du point M_f ($2\theta_e \geq \theta_i + \theta_f$) dans le cas inverse ; on peut observer que la dissymétrie des arcs M_iM_e et M_eM_f doit être d'autant plus faible que les valeurs de n et de H/R_p sont élevées ;
- lorsque les rayons de courbure R_{ci} , R_{ce} et R_{cf} sont imposés a priori, leurs valeurs doivent être aussi grandes que possible pour minimiser, à H/R_p fixé, l'encombrement de la machine, la valeur de R_{ce} étant toutefois limitée à une valeur inférieure à R_p , celles de R_{ci} et de R_{cf} étant limitées par le risque de rentrée des éléments d'étanchéité dans le piston, dans les conditions où les pressions d'admission et d'échappement sont identiques ou voisines.

Les machines conformes à l'invention ont un profil de capsule dont un arceau a pour équation intrinsèque, c'est-à-dire exprimée indépendamment de tout repère :

$$\frac{ds}{d\tau} = R_{ce} + \sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_a} \delta \cdot A_{\alpha} \cdot (\tau_e - \tau)^{\alpha} + \sum_{\beta=\beta_1}^{\beta_b} (1 - \delta) \cdot B_{\beta} \cdot (\tau - \tau_e)^{\beta} \quad (I)$$

équation (I) dans laquelle :

- $\delta = 1$ lorsque $\tau \leq \tau_e$ et $\delta = 0$ lorsque $\tau > \tau_e$,
- $2 \leq a \leq 4$, $2 \leq b \leq 4$, $-1 \leq a - b \leq 1$, $a + b \geq 5$,
- ds représente l'accroissement infiniment petit de l'abscisse curviligne s en un point courant M de l'arceau, calculée à partir d'une origine quelconque,
- τ désigne l'angle de la tangente à l'arceau en M ,
- $d\tau$ représente l'accroissement infiniment petit de l'angle τ en M ,
- $\alpha_1, \dots, \alpha_a$ désignent un ensemble de a paramètres de forme de l'arceau, $\beta_1, \dots, \beta_b$ un ensemble de b paramètres de forme de l'arceau, ces paramètres de forme étant suffisamment grands pour que la développée de l'arceau au voisinage du point M_e présente, à la précision ε près inférieure ou égale à $1 \mu m$, un point anguleux D_e , ce qui se traduit par les deux conditions suivantes :

$$\sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_a} A_{\alpha} \cdot (\tau_e - \tau_m)^{\alpha} = \varepsilon$$

$$\sum_{\beta=\beta_1}^{\beta_b} B_{\beta} \cdot (\tau_d - \tau_e)^{\beta} = \varepsilon$$

dans lesquelles $(\tau_e - \tau_m)$ représente l'angle que fait l'une des tangentes à la développée de l'arceau au point anguleux D_e , avec la direction radiale précisée par θ_e , et $(\tau_d - \tau_e)$ représente l'angle de l'autre tangente au point anguleux D_e , avec cette même direction radiale, - les A_{α} désignent un ensemble de a paramètres géométriques, les B_{β} un ensemble de b paramètres géométriques, les $a + b$ paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ et éventuellement le rayon de courbure R_{ce} étant solutions du système constitué des six équations (II) à (VII) ci-après, complété éventuellement par l'équation (VIII) si le rayon de courbure R_{ci} est imposé et par l'équation (IX) si le rayon de courbure R_{cf} est imposé :

$$\sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_a} \alpha \cdot A_{\alpha} \cdot (\tau_e - \tau_i)^{\alpha-1} = 0 \quad (II)$$

$$\sum_{\beta=\beta_1}^{\beta_b} \beta \cdot B_{\beta} \cdot (\tau_f - \tau_e)^{\beta-1} = 0 \quad (III)$$

$$\int_{\tau_i}^{\tau_e} \cos \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J + H) \cdot \sin \tau_e - (R_p + J) \cdot \sin \tau_i \quad (IV)$$

$$\int_{\tau_i}^{\tau_e} \sin \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J) \cdot \cos \tau_i - (R_p + J + H) \cdot \cos \tau_e \quad (V)$$

$$\int_{\tau_e}^{\tau_f} \cos \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J) \cdot \sin \tau_f - (R_p + J + H) \cdot \sin \tau_e \quad (VI)$$

$$\int_{\tau_e}^{\tau_f} \sin \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J + H) \cdot \cos \tau_e - (R_p + J) \cdot \cos \tau_f \quad (VII)$$

$$\sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_a} A_{\alpha} \cdot (\tau_e - \tau_i)^{\alpha} + (R_{ce} - R_{ci}) = 0 \quad (VIII)$$

$$\sum_{\beta=\beta_1}^{\beta_b} B_{\beta} \cdot (\tau_f - \tau_e)^{\beta} + (R_{ce} - R_{cf}) = 0 \quad (IX)$$

Lorsque toutes les données géométriques (R_p , n , H/R_p , J , θ_i , θ_e , θ_f , R_{ci} , R_{ce} et R_{cf}) sont imposées a priori, ce qui suppose qu'elles l'ont été raisonnablement, c'est-à-dire en respectant les considérations qui ont été précisées plus haut, a doit être égal à quatre, b doit également être égal à quatre et le concepteur doit choisir dans l'équation (I) les huit paramètres de forme $\alpha_1, \dots, \alpha_4, \beta_1, \dots, \beta_4$. En opérant ce choix, le concepteur se situe dans le cadre d'un compromis entre la nécessité d'avoir une variation aussi régulière que possible de la courbure sur les arcs $M_i M_e$ et $M_e M_f$ respectivement et la recherche d'un rayon de courbure aussi grand que possible, à variation aussi faible que possible, au voisinage du point M_e , sur l'ouverture angulaire la plus grande possible.

Si l'un ou plusieurs des rayons de courbure R_{ci} , R_{ce} ou R_{cf} ne doivent pas être imposés a priori, on peut appliquer l'invention selon l'une des sept variantes suivantes qui présentent toutes l'intérêt d'une réduction du nombre de paramètres à choisir. Il est remarquable de constater que dans ces variantes, la valeur calculée de tout rayon de courbure non imposé en l'un des points M_i , M_e ou M_f est automatiquement celle qui donne la courbure moyenne la plus faible possible sur les arcs $M_i M_e$ ou $M_e M_f$ selon le cas, compte tenu des autres contraintes imposées a priori.

- Selon une première variante, R_{ce} et R_{ci} sont imposés a priori, $a = 4$, $b = 3$, les sept paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_4, B\beta_1, \dots, B\beta_3$ sont solutions du système constitué des sept équations (II) à (VIII); R_{cf} est calculé ensuite à partir de l'équation (I) où l'on a remplacé τ par τ_f .
- Selon une seconde variante, R_{ce} et R_{cf} sont imposés a priori, $a = 3$, $b = 4$: les sept paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_3, B\beta_1, \dots, B\beta_4$ sont solutions du système constitué des sept équations (II) à (VII) et (IX); R_{ci} est calculé ensuite à partir de l'équation (I) où l'on a remplacé τ par τ_i .
- Selon une troisième variante, seul R_{ce} est imposé a priori, $a = 3$, $b = 3$; les six paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_3, B\beta_1, \dots, B\beta_3$ sont solutions du système constitué des six équations (II) à (VII); R_{ci} et R_{cf} sont calculés ensuite à partir de l'équation (I) où l'on a remplacé τ par τ_i et par τ_f respectivement.
- Selon une quatrième variante, R_{ci} et R_{cf} sont imposés a priori, $a \geq 3$, $b \geq 3$, $a + b = 7$; le rayon de courbure R_{ce} et les sept paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ sont solutions du système constitué des huit équations (II) à (IX).

Selon cette variante de l'invention, on dégage deux cas particuliers correspondant respectivement à $a = 3$ et $b = 4$ d'une part ou à $a = 4$ et $b = 3$ d'autre part. On exploite de préférence la première possibilité lorsque $2\tau_e \leq \tau_i + \tau_f$ et la seconde quand $2\tau_e \geq \tau_i + \tau_f$. On peut observer que lorsque $2\tau_e = \tau_i + \tau_f$ et lorsque $\alpha_1 = \beta_1$, $\alpha_2 = \beta_2$, $\alpha_3 = \beta_3$, le paramètre géométrique $B\beta_4$ ou $A\alpha_4$ selon le cas devient identiquement nul, quelle que soit la valeur choisie pour le paramètre de forme β_4 ou α_4 .

- Selon une cinquième variante, seul R_{ci} est imposé a priori, $a \geq 3$, $b \geq 2$, $a + b = 6$; le rayon de courbure R_{ce} et les six paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ sont solutions du système constitué des sept équations (II) à (VIII); R_{cf} est calculé ensuite à partir de l'équation (I) où l'on a remplacé τ par τ_f . Selon cette variante de l'invention, on dégage deux cas particuliers correspondant respectivement à $a = 3$ et $b = 3$ d'une part ou à $a = 4$ et $b = 2$ d'autre part. On exploite de préférence la première possibilité lorsque $2\tau_e \leq \tau_i + \tau_f$ et la seconde quand $2\tau_e \geq \tau_i + \tau_f$.
- Selon une sixième variante, seul R_{cf} est imposé a priori, $a \geq 2$, $b \geq 3$, $a + b = 6$; le rayon de courbure R_{ce} et les six paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ sont solutions du système constitué des sept équations (II) à (VII) et (IX); R_{ci} est calculé ensuite à partir de l'équation (I) où l'on a remplacé τ par τ_i . Selon cette variante de l'invention, on dégage deux cas particuliers correspondant respectivement à $a = 2$ et $b = 4$ d'une part ou à $a = 3$ et $b = 3$ d'autre part. On exploite de préférence la première possibilité lorsque $2\tau_e \leq \tau_i + \tau_f$ et la seconde quand $2\tau_e \geq \tau_i + \tau_f$.
- Selon une septième variante, $a \geq 2$, $b \geq 2$, $a + b = 5$; le rayon de courbure R_{ce} et les cinq paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ sont solutions du système constitué des six équations (II) à (VII); R_{ci} et R_{cf} sont calculés ensuite à partir de l'équation (I) où l'on a remplacé τ par τ_i et par τ_f respectivement.

Selon cette variante de l'invention, on dégage deux cas particuliers correspondant respectivement à $a = 2$ et $b = 3$ d'une part ou à $a = 3$ et $b = 2$ d'autre part. On exploite de préférence la première possibilité lorsque $2\tau_e \leq \tau_i + \tau_f$ et la seconde quand $2\tau_e \geq \tau_i + \tau_f$. On peut observer que lorsque $2\tau_e = \tau_i + \tau_f$ et lorsque $\alpha_1 = \beta_1$, $\alpha_2 = \beta_2$, le paramètre

géométrique $B\beta_3$ ou $A\alpha_3$ selon le cas devient identiquement nul, quelle que soit la valeur choisie pour le paramètre de forme β_3 ou α_3 .

Le tableau ci-après précise, pour les différentes combinaisons possibles des valeurs des paramètres a et b, si les rayons de courbure R_{ci} , R_{ce} et R_{cf} doivent être imposés a priori. s'ils sont calculés à partir de l'équation (I) ou s'ils sont solutions, avec les paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$, du système d'équations (II) à (VII) éventuellement complété par les équations (VIII) et (IX). La dernière colonne de ce tableau indique les numéros des équations de ce système.

a	b	R_{ci}	R_{ce}	R_{cf}	n° des équations
4	4	choisi	choisi	choisi	(II) à (IX)
4	3	choisi	choisi	calculé	(II) à (VIII)
3	4	calculé	choisi	choisi	(II) à (VII), (IX)
3	3	calculé	choisi	calculé	(II) à (VII)
4	3	choisi	solution	choisi	(II) à (IX)
3	4	choisi	solution	choisi	(II) à (IX)
3	3	choisi	solution	calculé	(II) à (VIII)
4	2	choisi	solution	calculé	(II) à (VIII)
3	3	calculé	solution	choisi	(II) à (VII), (IX)
2	4	calculé	solution	choisi	(II) à (VII), (IX)
3	2	calculé	solution	calculé	(II) à (VII)
2	3	calculé	solution	calculé	(II) à (VII)

Les avantages des machines volumétriques conformes à l'invention et tout particulièrement de celles où le nombre de paramètres de forme est limité à cinq sont les suivants :

- pour H et θ_e choisis raisonnablement, une variation de courbure le long de chaque arceau plus réduite que dans toute solution connue, ce qui entraîne une régularisation des effets d'inertie sur les éléments mobiles d'étanchéité et ainsi une réduction substantielle de leur plus grande valeur,
- un accès possible à des valeurs du rapport H/R_p jusqu'à présent inaccessibles, ce qui confère aux machines à palettes conformes à l'invention une compacité supérieure à celle des machines connues,
- en conséquence des deux avantages précédents, un accès à des machines à palettes embarquées dont les performances dépassent celles des machines connues.

En particulier, pour les machines à palettes caractérisées par une valeur de n égale à 2, qui correspondent aux cas pratiques les plus intéressants, et pour une définition du profil de capsule qui exploite cinq paramètres de forme, le plus grand rapport H/R_p pratiquement envisageable : $(H/R_p)_{\text{limite}}$, peut être évalué comme suit en fonction de l'angle $\Delta\theta$ défini comme la plus grande des deux ouvertures angulaires $(\theta_e - \theta_i)$ et $(\theta_f - \theta_e)$:

$$(H/R_p)_{\text{limite}} \cong 0,16 \cdot (\Delta\theta)^2$$

La figure 1 illustre à titre d'exemple un compresseur volumétrique à palettes conforme à l'invention.

Les figures 2, 3 et 4 représentent complètement ou partiellement le tracé du profil de capsule correspondant au compresseur illustré à la figure 1.

La figure 1 montre une section droite dans le compresseur retenu à titre d'exemple. On distingue sur cette figure la partie tubulaire (1) de la capsule fixe, le piston (2), la directrice circulaire (20) de sa surface extérieure et les cinq rainures telles que (3) guidant chacune une palette telle que (4), le point de percée O de l'axe commun à la capsule, au piston et à leur liaison rotoïde. les deux lumières d'admission telles que (5), les deux lumières d'échappement telles que (6) et leurs clapets tels que (7). La partie tubulaire de la capsule (1) est limitée intérieurement par une surface cylindrique dont la directrice non-circulaire (10) est le profil de capsule. Le sens de rotation du piston autour de son axe est indiqué par la flèche.

On reconnaît sur la figure 2 le profil de capsule (10) constitué de $n = 2$ arceaux identiques et de $n = 2$ arcs de conformité, appartenant au même cercle de centre O et de rayon $(R_p + J)$, ainsi que la directrice circulaire (20) de la surface extérieure du piston dont le centre est aussi le point O et dont le rayon est égal à R_p .

Un premier arceau du profil de capsule est limité par les points M_i et M_f ; le rayon polaire croît de manière monotone sur cet arceau depuis le point M_i jusqu'au point M_e et décroît de manière monotone depuis le point M_e jusqu'au point

M_f . La distance entre le point O et le point M_e est égale à $(R_p + J + H)$. Par rapport à l'axe OX, les points M_i , M_e et M_f sont repérés sur l'arceau par les angles respectifs θ_i , θ_e et θ_f . On distingue également sur cette figure les trois angles τ_i , τ_e et τ_f des tangentes à l'arceau aux points respectifs M_i , M_e et M_f , repérés par rapport à la direction de l'axe OX.

Un premier arc de conformité a pour origine le point M_f et pour extrémité le point M'_i .

Le second arceau s'étend du point M'_i au point M'_f et contient le point M'_e symétrique du point M_e par rapport au point O.

Le deuxième arc de conformité a pour origine le point M'_f et pour extrémité le point M_i .

Le profil de capsule est à définir pour les données géométriques suivantes :

$$R_p + J = 30 \text{ mm}$$

$$H = 9,25 \text{ mm}$$

$$\theta_i = 4^\circ$$

$$\theta_e = 85^\circ$$

$$\theta_f = 176^\circ$$

Ce profil doit par conséquent être défini par cinq paramètres de forme et, puisque $2\theta_e \leq \theta_i + \theta_f$, on impose que a soit égal à 2 et que b soit égal à 3. On a choisi après expérimentation numérique les valeurs suivantes des paramètres de forme :

$$\alpha_1 = 10 \quad \alpha_2 = 15$$

$$\beta_1 = 10 \quad \beta_2 = 15 \quad \beta_3 = 6$$

La résolution du système des six équations (II) à (VII) donne les résultats suivants :

$$R_{ce} = 25,989594 \text{ mm}$$

$$A_1 = 6,007911 \text{ mm} \quad A_2 = -0,709261 \text{ mm}$$

$$B_1 = -2,882993 \text{ mm} \quad B_2 = 0,113064 \text{ mm} \quad B_3 = 12,397607 \text{ mm}$$

On en déduit à un degré près :

$$\tau_e - \tau_m = 24^\circ \quad \text{et} \quad \tau_d - \tau_e = 12^\circ$$

Le rayon de courbure R_{ci} au point M_i est égal à 89.847 mm. Le rayon de courbure R_{cf} au point M_f est égal à 47,234 mm.

Entre les angles polaires égaux à 47° et 118° , le rayon de courbure est compris entre 30 mm et 25,990 mm.

Sur la figure 3 sont représentés un arceau, les deux arcs de conformité du profil de capsule montré à la figure 2 et la développée de cet arceau sur laquelle on distingue le point anguleux D_e ainsi que les points D_i et D_f , centres de courbure respectifs de l'arceau aux points M_e , M_i et M_f .

La figure 4 représente à échelle agrandie une partie de la développée montrée à la figure 3 ainsi que ses deux tangentes au point anguleux D_e qui déterminent un angle de 36° , égal à l'angle $\tau_d - \tau_m$.

En ce qui concerne les efforts d'inertie au centre de gravité d'une palette du compresseur représenté à la figure 1, le rapport de ces efforts à ceux que la palette subirait si le profil de capsule était en chacun de ses points remplacé par le cercle de même rayon polaire, est égal à 1,18.

Enfin la cylindrée du compresseur dont une section droite est représentée à la figure 1, calculée à partir de la chambre de volume maximal accessible, pour des palettes d'épaisseur égale à 4 mm et une largeur de capsule de 54 mm, est de 172 cm³.

Revendications

- Machine volumétrique à éléments mobiles d'étanchéité (4) comprenant au moins un capsulisme comportant essentiellement une capsule constituée d'une partie tubulaire cylindrique (1) à directrice non-circulaire (10) et de deux flasques d'extrémité, un piston cylindrique (2) dont la directrice (20) est un cercle de centre O et de rayon R_p , muni de rainures (3) guidant les éléments d'étanchéité (4) dans le piston (2), ce piston étant en liaison rotoïde avec la capsule autour de son axe (0), ainsi qu'un système de distribution du fluide permettant son admission et son échappement, la directrice de la partie tubulaire de la capsule (10) appelée profil de capsule étant constituée, successivement et alternativement, de n arcs de cercle appelés arcs de conformité, d'ouverture angulaire éventuellement nulle, de centre O et de rayon $R_p + J$, J désignant le jeu radial entre ces arcs et la directrice du piston, ainsi que de n arcs géométriques appelés arceaux, limitant, dans la direction centrifuge, le mouvement des éléments d'étanchéité dans les rainures, chaque arceau ayant, avec les arcs de conformité adjacents, deux points de raccordement M_i et M_f en lesquels les rayons de courbure sont respectivement égaux à R_{ci} et à R_{cf} , en lesquels

les angles des tangentes, τ_i et τ_f respectivement, diffèrent de $\pi/2$ des angles polaires correspondants θ_i et θ_f , chaque arceau contenant également un point M_e en lequel le rayon polaire est maximal, égal à $R_p + J + H$, en lequel l'angle de la tangente τ_e diffère de $\pi/2$ de l'angle polaire θ_e correspondant et en lequel le rayon de courbure R_{ce} est inférieur à R_p , CARACTÉRISÉE EN CE QUE un arceau a pour équation intrinsèque :

$$\frac{ds}{d\tau} = R_{ce} + \sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_a} \delta \cdot A_{\alpha} \cdot (\tau_e - \tau)^{\alpha} + \sum_{\beta=\beta_1}^{\beta_b} (1 - \delta) \cdot B_{\beta} \cdot (\tau - \tau_e)^{\beta} \quad (I)$$

équation (I) dans laquelle :

- $\delta = 1$ lorsque $\tau \leq \tau_e$ et $\delta = 0$ lorsque $\tau > \tau_e$,
- $2 \leq a \leq 4$, $2 \leq b \leq 4$, $-1 \leq a - b \leq 1$, $a + b \geq 5$,
- ds représente l'accroissement infiniment petit de l'abscisse curviligne s en un point courant M de l'arceau, calculée à partir d'une origine quelconque,
- τ désigne l'angle de la tangente à l'arceau en M ,
- $d\tau$ représente l'accroissement infiniment petit de l'angle τ en M ,
- $\alpha_1, \dots, \alpha_a$ désignent un ensemble de a paramètres de forme de l'arceau, $\beta_1, \dots, \beta_b$ un ensemble de b paramètres de forme de l'arceau, ces paramètres de forme étant suffisamment grands pour que la développée de l'arceau au voisinage du point M_e présente, à la précision près inférieure ou égale à $1 \mu m$, un point anguleux D_e ,
- les A_{α} désignent un ensemble de a paramètres géométriques, les B_{β} un ensemble de b paramètres géométriques, les $a + b$ paramètres géométriques $A_{\alpha_1}, \dots, A_{\alpha_a}, B_{\beta_1}, \dots, B_{\beta_b}$ et éventuellement le rayon de courbure R_{ce} étant solutions du système constitué des six équations (II) à (VII) ci-après, complété éventuellement par l'équation (VIII) si le rayon de courbure R_{ci} est imposé et par l'équation (IX) si le rayon de courbure R_{cf} est imposé :

$$\sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_a} \alpha \cdot A_{\alpha} \cdot (\tau_e - \tau_i)^{\alpha-1} = 0 \quad (II)$$

$$\sum_{\beta=\beta_1}^{\beta_b} \beta \cdot B_{\beta} \cdot (\tau_f - \tau_e)^{\beta-1} = 0 \quad (III)$$

$$\int_{\tau_i}^{\tau_e} \cos \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J + H) \cdot \sin \tau_e - (R_p + J) \cdot \sin \tau_i \quad (IV)$$

5

$$\int_{\tau_i}^{\tau_e} \sin \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J) \cdot \cos \tau_i - (R_p + J + H) \cdot \cos \tau_e \quad (V)$$

10

15

$$\int_{\tau_e}^{\tau_f} \cos \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J) \cdot \sin \tau_f - (R_p + J + H) \cdot \sin \tau_e \quad (VI)$$

20

25

$$\int_{\tau_e}^{\tau_f} \sin \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J + H) \cdot \cos \tau_e - (R_p + J) \cdot \cos \tau_f \quad (VII)$$

30

35

$$\sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_a} A_{\alpha} \cdot (\tau_e - \tau_i)^{\alpha} + (R_{ce} - R_{ci}) = 0 \quad (VIII)$$

40

$$\sum_{\beta=\beta_1}^{\beta_b} B_{\beta} \cdot (\tau_f - \tau_e)^{\beta} + (R_{ce} - R_{cf}) = 0 \quad (IX)$$

45

50

55

2. Machine selon la revendication CARACTÉRISÉE EN CE QUE les rayons de courbure R_{ce} , R_{ci} et R_{cf} sont imposés a priori, $a = 4$, $b = 4$, les huit paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_4, B\beta_1, \dots, B\beta_4$ sont solutions du système constitué des huit équations (II) à (IX).
3. Machine selon la revendication CARACTÉRISÉE EN CE QUE les rayons de courbure R_{ce} et R_{ci} sont imposés a priori, $a = 4$, $b = 3$, les sept paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_4, B\beta_1, \dots, B\beta_3$ sont solutions du système constitué des sept équations (II) à (VIII).
4. Machine selon la revendication CARACTÉRISÉE EN CE QUE les rayons de courbure R_{ce} et R_{cf} sont imposés a priori, $a = 3$, $b = 4$, les sept paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_3, B\beta_1, \dots, B\beta_4$ sont solutions du système constitué des sept équations (II) à (VII) et (IX).
5. Machine selon la revendication 1, CARACTÉRISÉE EN CE QUE le rayon de courbure R_{ce} est imposé a priori, a

= 3, b = 3, les six paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ sont solutions du système constitué des six équations (II) à (VII).

6. Machine selon la revendication 1, CARACTÉRISÉE EN CE QUE les rayons de courbure R_{ci} et R_{cf} sont imposés a priori, $a \geq 3$, $b \geq 3$, $a + b = 7$, le rayon de courbure R_{ce} et les sept paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ sont solutions du système constitué des huit équations (II) à (IX).

7. Machine selon la revendication 1, CARACTÉRISÉE EN CE QUE le rayon de courbure R_{ci} est imposé a priori, $a \geq 3$, $b \geq 2$, $a + b = 6$, le rayon de courbure R_{ce} et les six paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ sont solutions du système constitué des sept équations (II) à (VIII).

8. Machine selon la revendication 1, CARACTÉRISÉE EN CE QUE le rayon de courbure R_{cf} est imposé a priori, $a \geq 2$, $b \geq 3$, $a + b = 6$, le rayon de courbure R_{ce} et les six paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ sont solutions du système constitué des sept équations (II) à (VII) et (IX).

9. Machine selon la revendication 1, CARACTÉRISÉE EN CE QUE $a \geq 2$, $b \geq 2$, $a + b = 5$, le rayon de courbure R_{ce} et les cinq paramètres géométriques $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ sont solutions du système constitué des six équations (II) à (VII).

10. Machine à palettes selon la revendication 9 pour laquelle $n = 2$, CARACTÉRISÉE EN CE QUE le rapport H/R_p est voisin du rapport limite $(H/R_p)_{\text{limite}}$ précisé par l'expression :

$$(H/R_p)_{\text{limite}} \cong 0,16 \cdot (\Delta\theta)^2$$

dans laquelle $\Delta\theta$ représente la plus grande des deux ouvertures angulaires $(\theta_e - \theta_i)$ et $(\theta_f - \theta_e)$.

Patentansprüche

1. Verdrängungsmaschine mit beweglichen Dichtungselementen (4), mit wenigstens einer Verkapselung, die im wesentlichen eine Kapsel aufweist, die aus einem röhrenförmigen, zylindrischen Teil (1) mit nichtkreisförmiger Leitkurve (10) und zwei Endflanschen besteht, einem zylindrischen Kolben (2), dessen Leitkurve (20) ein Kreis mit Zentrum O und Radius R_p ist, welcher mit Einschnitten (3) versehen ist, welche die Dichtungselemente (4) in dem Kolben (2) führen, wobei der Kolben um seine Achse (0) mit der Kapsel in Drehverbindung steht, und mit einem Verteilungssystem für Fluid, das dessen Zu- und Abfuhr ermöglicht, wobei die als Kapselprofil bezeichnete Leitkurve (10) des röhrenförmigen Teils der Kapsel aufeinanderfolgend oder abwechselnd aus n als Anpassungsbögen bezeichneten Kreisbögen von gegebenenfalls verschwindendem Öffnungswinkel mit Zentrum O und Radius $R_p + J$, wobei J das radiale Spiel zwischen diesen Bögen und der Leitkurve des Kolbens bezeichnet, sowie aus n als Freibögen bezeichneten geometrischen Bögen besteht, die in zentrifugaler Richtung die Bewegung der Dichtungselemente in den Einschnitten begrenzen, wobei jeder Freibogen mit den angrenzenden Anpassungsbögen zwei Verbindungspunkte M_i und M_f aufweist, bei denen die jeweiligen Krümmungsradien R_{ci} und R_{cf} entsprechen, bei denen die Winkel der Tangenten τ_i bzw. τ_f um $\pi/2$ von den entsprechenden Polarwinkeln θ_i und θ_f abweichen, wobei jeder Freibogen außerdem einen Punkt M_e enthält, bei dem der Polarradius maximal ist und $R_p + J + H$ entspricht, bei dem der Tangentenwinkel τ_e um $\pi/2$ von dem entsprechenden Polarwinkel θ_e abweicht und bei dem der Krümmungsradius R_{ce} kleiner als R_p ist, dadurch gekennzeichnet, daß die intrinsische Gleichung eines Freibogens gegeben ist durch:

$$\frac{ds}{d\tau} = R_{ce} + \sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_a} \delta \cdot A_{\alpha} \cdot (\tau_e - \tau)^{\alpha} + \sum_{\beta=\beta_1}^{\beta_b} (1 - \delta) \cdot B_{\beta} \cdot (\tau - \tau_e)^{\beta} \quad (I)$$

wobei in Gleichung (I) :

- $\delta = 1$, wenn $\tau \leq \tau_e$ und $\delta = 0$, wenn $\tau > \tau_e$,

- $2 \leq a \leq 4$, $2 \leq b \leq 4$, $-1 \leq a - b \leq 1$, $a + b \geq 5$,
- ds ein von einem beliebigen Ursprung aus berechnetes, infinitesimal kleines Inkrement der krummlinigen Abszisse s in einem laufenden Punkt M des Freibogens bezeichnet,
- τ den Winkel der Tangente an dem Freibogen in M bezeichnet,
- $d\tau$ ein infinitesimal kleines Inkrement des Winkels τ in M bezeichnet,
- $\alpha_1, \dots, \alpha_a$ eine Gruppe von a Formparametern des Freibogens, $\beta_1, \dots, \beta_b$ eine Gruppe von b Formparametern des Freibogens bezeichnen, wobei die Formparameter so groß sind, daß die Evolute des Freibogens in der Nähe des Punktes M_e mit einer Genauigkeit von mindestens $1 \mu m$ einen Knickpunkt D_e aufweist,
- die A_α eine Gruppe von a geometrischen Parametern und die B_β eine Gruppe von b geometrischen Parametern bezeichnen, wobei die $a + b$ geometrischen Parameter $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ und ggf. der Krümmungsradius R_{ce} Lösungen des aus den folgenden sechs Gleichungen (II) bis (VII) bestehenden Gleichungssystems sind, ggf. vervollständigt durch Gleichung (VIII), wenn der Krümmungsradius R_{ci} vorgegeben ist und durch Gleichung (IX), wenn der Krümmungsradius R_{cf} vorgegeben ist:

$$\sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_a} \alpha \cdot A_\alpha \cdot (\tau_e - \tau_i)^{\alpha-1} = 0 \quad (II)$$

$$\sum_{\beta=\beta_1}^{\beta_b} \beta \cdot B_\beta \cdot (\tau_f - \tau_e)^{\beta-1} = 0 \quad (III)$$

$$\int_{\tau_i}^{\tau_e} \cos \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J + H) \cdot \sin \tau_e - (R_p + J) \cdot \sin \tau_i \quad (IV)$$

$$\int_{\tau_i}^{\tau_e} \sin \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J) \cdot \cos \tau_i - (R_p + J + H) \cdot \cos \tau_e \quad (V)$$

$$\int_{\tau_e}^{\tau_f} \cos \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J) \cdot \sin \tau_f - (R_p + J + H) \cdot \sin \tau_e \quad (VI)$$

$$\int_{\tau_e}^{\tau_f} \sin \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J + H) \cdot \cos \tau_e - (R_p + J) \cdot \cos \tau_f \quad (\text{VII})$$

$$\sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_2} A_{\alpha} \cdot (\tau_e - \tau_i)^{\alpha} + (R_{ce} - R_{ci}) = 0 \quad (\text{VIII})$$

$$\sum_{\beta=\beta_1}^{\beta_b} B_{\beta} \cdot (\tau_f - \tau_e)^{\beta} + (R_{ce} - R_{cf}) = 0 \quad (\text{IX})$$

2. Maschine gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Krümmungsradien R_{ce} , R_{ci} und R_{cf} vorgegeben sind, $a = 4$, $b = 4$ und die acht geometrischen Parameter $A\alpha_1 \dots, A\alpha_4$, $B\beta_1 \dots, B\beta_4$ Lösungen des aus den acht Gleichungen (II) bis (IX) bestehenden Systems sind.
3. Maschine gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Krümmungsradien R_{ce} und R_{ci} vorgegeben sind, $a = 4$, $b = 3$ und die sieben geometrischen Parameter $A\alpha_1 \dots, A\alpha_4$, $B\beta_1 \dots, B\beta_3$ Lösungen des aus den sieben Gleichungen (II) bis (VIII) bestehenden Systems sind.
4. Maschine gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Krümmungsradien R_{ce} und R_{cf} vorgegeben sind, $a = 3$, $b = 4$ und die sieben geometrischen Parameter $A\alpha_1, \dots, A\alpha_3$, $B\beta_1, \dots, B\beta_4$ Lösungen des aus den sieben Gleichungen (II) bis (VII) und (IX) bestehenden Systems sind.
5. Maschine gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Krümmungsradius R_{ce} vorgegeben ist, $a = 3$, $b = 3$ und die sechs geometrischen Parameter $A\alpha_1, \dots, A\alpha_4$, $B\beta_1, \dots, B\beta_3$ Lösungen des aus den sechs Gleichungen (II) bis (VII) bestehenden Systems sind.
6. Maschine gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Krümmungsradien R_{ci} und R_{cf} vorgegeben sind, $a \geq 3$, $b \geq 3$, $a + b = 7$ und der Krümmungsradius R_{ce} und die sieben geometrischen Parameter $A\alpha_1, \dots, A\alpha_4$, $B\beta_1, \dots, B\beta_3$ Lösungen des aus den acht Gleichungen (II) bis (IX) bestehenden Systems sind.
7. Maschine gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Krümmungsradius R_{ci} vorgegeben ist, $a \geq 3$, $b \geq 2$, $a + b = 6$ und der Krümmungsradius R_{ce} und die sechs geometrischen Parameter $A\alpha_1, \dots, A\alpha_4$, $B\beta_1, \dots, B\beta_3$ Lösungen des aus den sieben Gleichungen (II) bis (VIII) bestehenden Systems sind.
8. Maschine gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Krümmungsradius R_{cf} vorgegeben ist, $a \geq 2$, $b \geq 3$, $a + b = 6$ und der Krümmungsradius R_{ce} und die sechs geometrischen Parameter $A\alpha_1, \dots, A\alpha_4$, $B\beta_1, \dots, B\beta_3$ Lösungen des aus den sieben Gleichungen (II) bis (VII) und (IX) bestehenden Systems sind.
9. Maschine gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß $a \geq 2$, $b \geq 2$, $a + b = 5$ und der Krümmungsradius R_{ce} und die fünf geometrischen Parameter $A\alpha_1, \dots, A\alpha_4$, $B\beta_1, \dots, B\beta_3$ Lösungen des aus den sechs Gleichungen (II) bis (VII) bestehenden Systems sind.
10. Flügelmaschine gemäß Anspruch 9, bei der $n = 2$ ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis H/R_p in der

Nähe des durch die Gleichung

$$(H/R_p)_{\text{Grenz}} \cong 0,16 \cdot (\Delta\theta)^2,$$

bestimmten Grenzverhältnisses $(H/R_p)_{\text{Grenz}}$ liegt, wobei $\Delta\theta$ den größeren der beiden Öffnungswinkel $(\theta_e - \theta_i)$ und $(\theta_f - \theta_e)$ bezeichnet.

Claims

1. Displacement machine with moving sealing elements (4), comprising at least one encapsulation essentially including a capsule consisting of a cylindrical tubular part (1) with non-circular directrix (10) and two end flanges, a cylindrical piston (2) whose directrix (20) is a circle of centre O and of radius R_p , provided with grooves (3) which guide the sealing elements (4) in the piston (2), this piston being in rotary connection with the capsule about its axis (0), as well as a system for distributing the fluid, allowing its inlet and its outlet, the directrix of the tubular part of the capsule (10), called the capsule profile, being constituted successively and alternately by n circle arcs called conformity arcs, with optionally zero angular aperture, of centre O and of radius $R_p + J$, J denoting the radial play between these arcs and the directrix of the piston, as well as n geometrical arcs, called arches, which limit the movement of the sealing elements in the grooves in the centrifugal direction, each arch having, with the adjacent conformity arcs, two connection points M_i and M_f at which the radii of curvature are respectively equal to R_{ci} and to R_{cf} , at which the angles τ_i and τ_f , respectively, of the tangents differ by $\pi/2$ from the corresponding polar angles θ_i and θ_f , each arch also containing a point M_e at which the polar radius is a maximum, equal to $R_p + J + H$, at which the angle τ_e of the tangent differs by $\pi/2$ from the corresponding polar angle θ_e and at which the radius of curvature R_{ce} is less than R_p , characterized in that an arch has as intrinsic equation:

$$\frac{ds}{d\tau} = R_{ce} + \sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_a} \delta \cdot A_{\alpha} \cdot (\tau_e - \tau)^{\alpha} + \sum_{\beta=\beta_1}^{\beta_b} (1 - \delta) \cdot B_{\beta} \cdot (\tau - \tau_e)^{\beta} \quad (I)$$

equation (I) in which:

- $\delta = 1$ when $\tau \leq \tau_e$ and $\delta = 0$ when $\tau > \tau_e$,
- $2 \leq a \leq 4$, $2 \leq b \leq 4$, $-1 \leq a - b \leq 1$, $a + b \geq 5$,
- ds represents the infinitely small increase in the curvilinear abscissa s at a running point M on the arch, calculated from an arbitrary origin,
- τ denotes the angle of the tangent to the arch at M,
- d τ represents the infinitely small increase in the angle τ at M,
- $\alpha_1, \dots, \alpha_a$ denote a set of a shape parameters of the arch, $\beta_1, \dots, \beta_b$ denote a set of b shape parameters of the arch, these shape parameters being sufficiently large for the evolute of the arch in the vicinity of the point M_e to have, to within a precision of less than or equal to $1 \mu\text{m}$, an angular point D_e ,
- the A_{α} denote a set of a geometrical parameters, the B_{β} denote a set of b geometrical parameters, the a + b geometrical parameters $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ and, optionally, the radius of curvature R_{ce} being solutions of the system consisting of the following six equations (II) to (VII), optionally supplemented by the equation (VIII) if the radius of curvature R_{ci} is set and by equation (IX) if the radius of curvature R_{cf} is set:

$$\sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_a} \alpha \cdot A_{\alpha} \cdot (\tau_e - \tau_i)^{\alpha-1} = 0 \quad (II)$$

$$\sum_{\beta=\beta_1}^{\beta_b} \beta \cdot B_{\beta} \cdot (\tau_f - \tau_e)^{\beta-1} = 0 \quad (\text{III})$$

$$\int_{\tau_i}^{\tau_e} \cos \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J + H) \cdot \sin \tau_e - (R_p + J) \cdot \sin \tau_i \quad (\text{IV})$$

$$\int_{\tau_i}^{\tau_e} \sin \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J) \cdot \cos \tau_i - (R_p + J + H) \cdot \cos \tau_e \quad (\text{V})$$

$$\int_{\tau_e}^{\tau_f} \cos \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J) \cdot \sin \tau_f - (R_p + J + H) \cdot \sin \tau_e \quad (\text{VI})$$

$$\int_{\tau_e}^{\tau_f} \sin \tau \cdot \frac{ds}{d\tau} \cdot d\tau = (R_p + J + H) \cdot \cos \tau_e - (R_p + J) \cdot \cos \tau_f \quad (\text{VII})$$

$$\sum_{\alpha=\alpha_1}^{\alpha_a} A_{\alpha} \cdot (\tau_e - \tau_i)^{\alpha} + (R_{ce} - R_{ci}) = 0 \quad (\text{VIII})$$

$$\sum_{\beta=\beta_1}^{\beta_b} B_{\beta} \cdot (\tau_f - \tau_e)^{\beta} + (R_{ce} - R_{cf}) = 0 \quad (IX)$$

2. Machine according to Claim 1, characterized in that the radii of curvature R_{ce} , R_{ci} and R_{cf} are a priori set, $a = 4$, $b = 4$, the eight geometrical parameters $A\alpha_1, \dots, A\alpha_4, B\beta_1, \dots, B\beta_4$ are solutions of the system consisting of the eight equations (II) to (IX).
3. Machine according to Claim 1, characterized in that the radii of curvature R_{ce} and R_{ci} are a priori set, $a = 4$, $b = 3$, the seven geometrical parameters $A\alpha_1, \dots, A\alpha_4, B\beta_1, \dots, B\beta_3$ are solutions of the system consisting of the seven equations (II) to (VIII).
4. Machine according to Claim 1, characterized in that the radii of curvature R_{ce} and R_{cf} are a priori set, $a = 3$, $b = 4$, the seven geometrical parameters $A\alpha_1, \dots, A\alpha_3, B\beta_1, \dots, B\beta_4$ are solutions of the system consisting of the seven equations (II) to (VII) and (IX).
5. Machine according to Claim 1, characterized in that the radius of curvature R_{ce} is a priori set, $a = 3$, $b = 3$, the six geometrical parameters $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ are solutions of the system consisting of the six equations (II) to (VII).
6. Machine according to Claim 1, characterized in that the radii of curvature R_{ci} to R_{cf} are a priori set, $a \geq 3$, $b \geq 3$, $a + b = 7$, the radius of curvature R_{ce} and the seven geometrical parameters $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ are solutions of the system consisting of the eight equations (II) to (IX).
7. Machine according to Claim 1, characterized in that the radius of curvature R_{ci} is a priori set, $a \geq 3$, $b \geq 2$, $a + b = 6$, the radius of curvature R_{ce} and the six geometrical parameters $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ are solutions of the system consisting of the seven equations (II) to (VIII).
8. Machine according to Claim 1, characterized in that the radius of curvature R_{cf} is a priori set, $a \geq 2$, $b \geq 3$, $a + b = 6$, the radius of curvature R_{ce} and the six geometrical parameters $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ are solutions of the system consisting of the seven equations (II) to (VII) and (IX).
9. Machine according to Claim 1, characterized in that $a \geq 2$, $b \geq 2$, $a + b = 5$, the radius of curvature R_{ce} and the five geometrical parameters $A\alpha_1, \dots, A\alpha_a, B\beta_1, \dots, B\beta_b$ are solutions of the system consisting of the six equations (II) to (VII).
10. Machine with vanes according to Claim 9, for which $n = 2$, characterized in that the ratio H/R_p is close to the limit ratio $(H/R_p)_{\text{limit}}$ specified by the expression:

$$(H/R_p)_{\text{limit}} \cong 0.16 \cdot (\Delta\theta)^2$$

in which $\Delta\theta$ represents the greater of the two angular apertures $(\theta_e - \theta_i)$ and $(\theta_f - \theta_e)$.

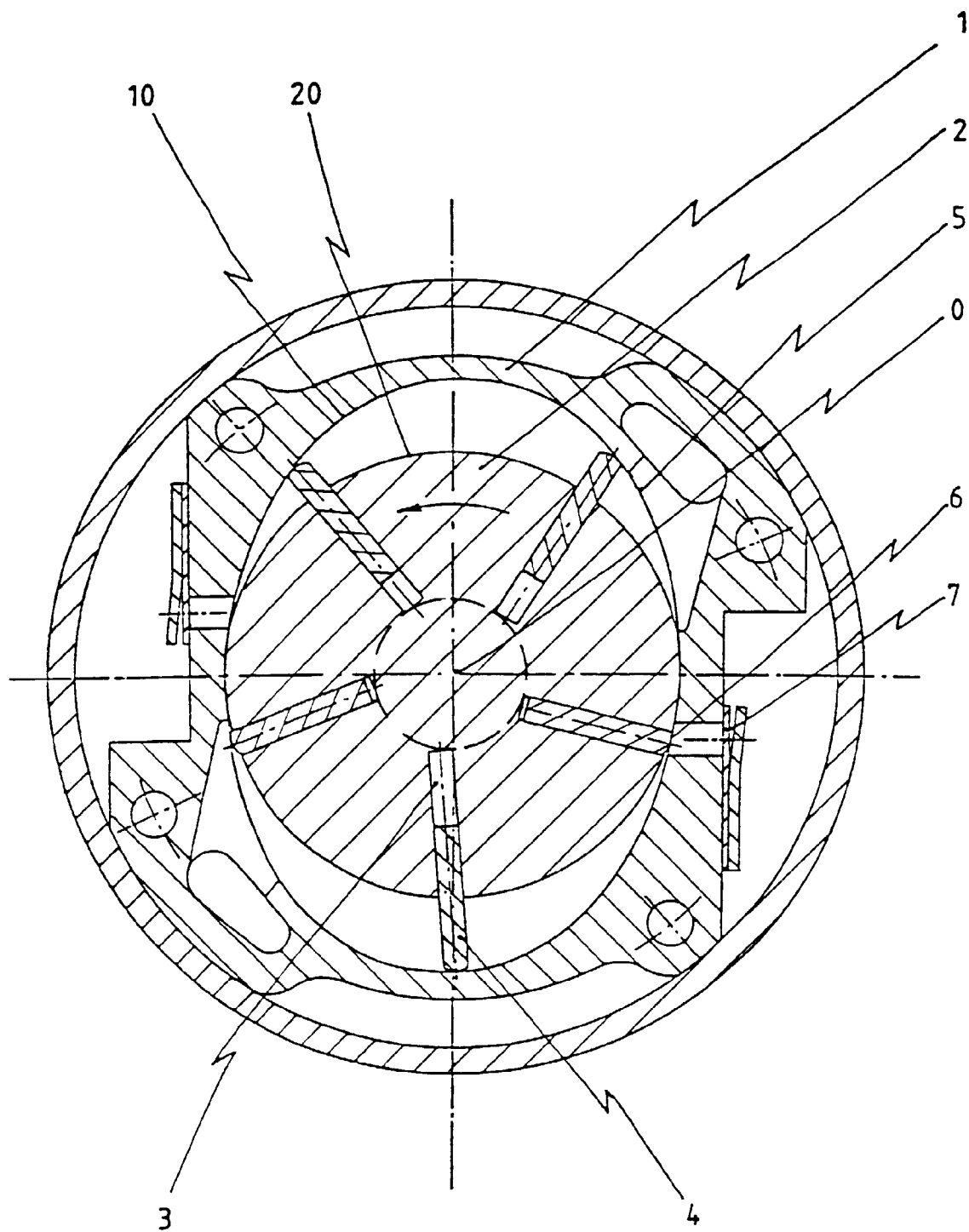


Fig.1

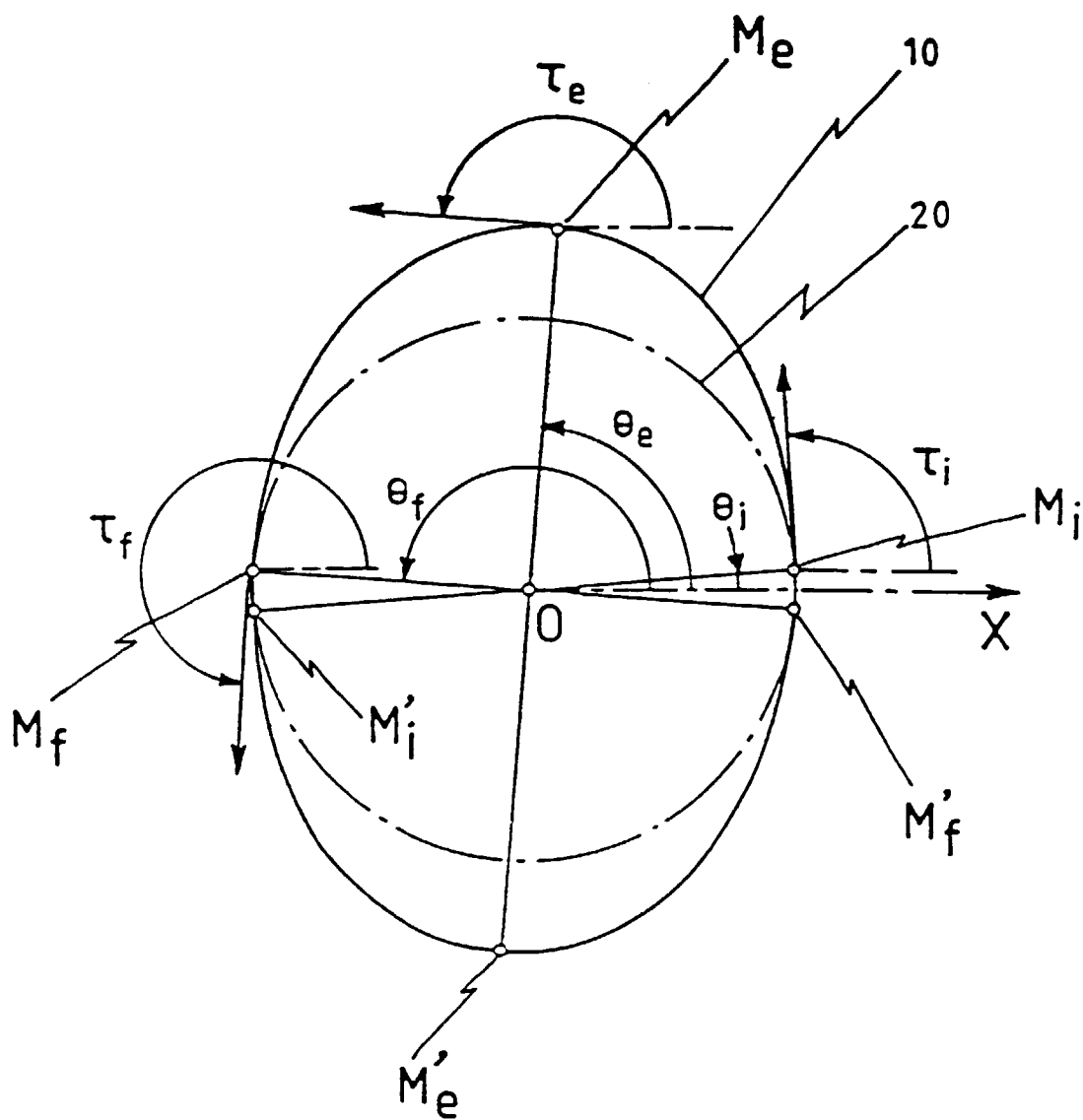


Fig. 2

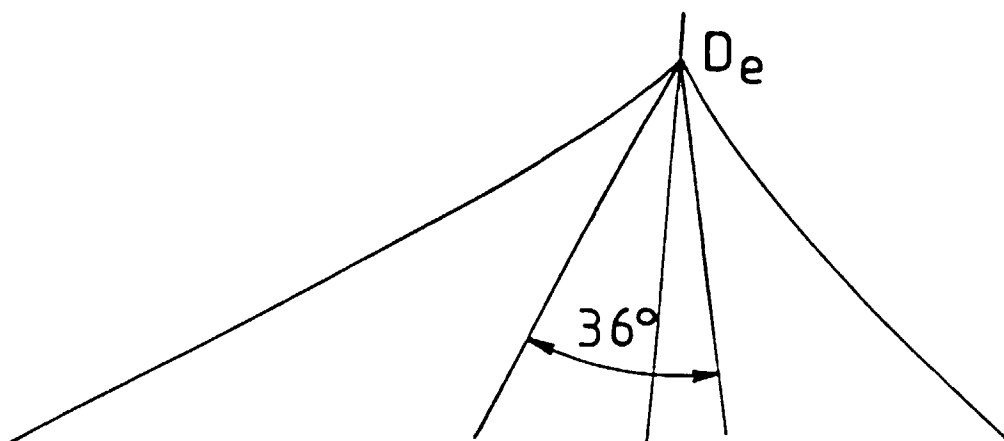


Fig. 4

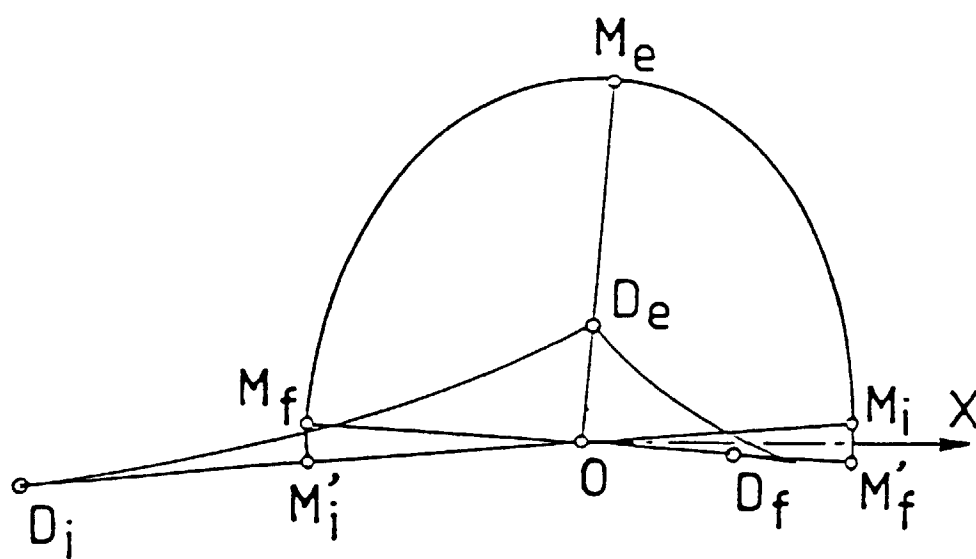


Fig. 3