



⑪ Numéro de publication : **0 461 006 A1**

⑫ **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑳ Numéro de dépôt : **91401393.3**

⑤① Int. Cl.⁵ : **B21D 7/02, B21D 7/14**

㉔ Date de dépôt : **30.05.91**

③① Priorité : **08.06.90 FR 9006559**

④③ Date de publication de la demande :
11.12.91 Bulletin 91/50

⑧④ Etats contractants désignés :
DE IT

⑦① Demandeur : **ETAT-FRANCAIS représenté par
le DELEGUE GENERAL POUR L'ARMEMENT
Bureau des Brevets et Inventions de la
Délégation Générale pour l'Armement 14, rue
Saint-Dominique
F-75997 Paris Armées (FR)**

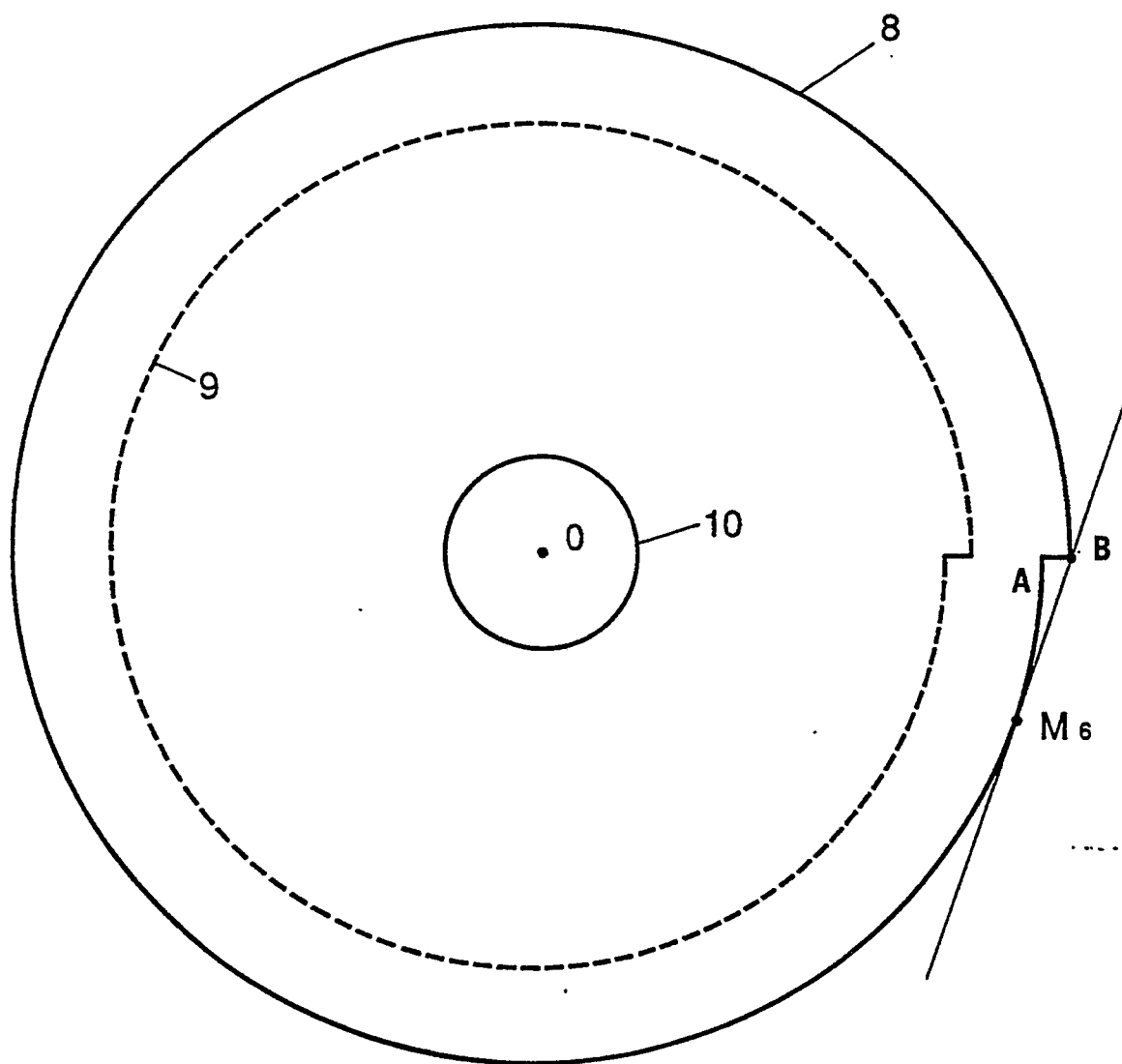
⑦② Inventeur : **Sanseau, Paul
Cercle Naval, Place Napoléon
F-50100 Cherbourg (FR)
Inventeur : Vidal, Pierre
Tour Duquesne, Résidence Chantereyne
F-50100 Cherbourg (FR)**

⑤④ **Procédé et dispositif de cintrage de tuyauterie.**

⑤⑦ Le secteur technique de la présente invention est celui des dispositifs destinés au cintrage de tuyaux.
L'invention est relative à un sabot de cintrage de tuyaux, en forme de cylindre à partir de la surface latérale duquel est creusée une gorge dont la section droite est un demi-cercle de diamètre égal au diamètre du tuyau à cintrer, caractérisé en ce que la base du cylindre est délimitée, d'une part par une portion de spirale logarithmique définie en coordonnées polaires par l'équation de formule (1) $P = P_0 e^{-k\theta}$, portion délimitée par les points $\theta = 0$ et $\theta = 2\pi$, et dans laquelle P_0 et k sont des constantes positives et, d'autre part, par un segment de droite joignant les points de la spirale pour lesquels $\theta = 0$ et $\theta = 2\pi$.

Application au cintrage précis de tuyauteries.

EP 0 461 006 A1



La présente invention concerne un dispositif destiné au cintrage des tuyaux. Plus précisément l'invention est relative aux sabots de cintrage de tuyauteries et au procédé d'utilisation du sabot selon l'invention.

Pour cintrer un tuyau d'un angle de cintrage β , on utilise un sabot de cintrage monté sur une cintreuse. De tels sabots ont la forme de cylindres dont la surface de base est un cercle et dont la surface latérale comporte une gorge dont la section droite est un demi-cercle de diamètre égal au diamètre extérieur du tuyau à cintrer. On applique le tuyau contre le sabot au niveau de la gorge de la surface latérale et l'on tourne le tuyau d'un angle, supérieur à β , égal à $(\beta + \alpha)$ car on sait qu'après relaxation il va subir une déformation élastique tendant à diminuer le cintrage. Dans la suite du texte le cintrage permanent que l'on souhaite obtenir sera dénoté β et le surcintrage, c'est-à-dire l'angle supplémentaire dont il faut tourner le tuyau autour du sabot pour obtenir le cintrage permanent β sera dénoté α . A toutes fins utiles il est rappelé que le cintrage d'un tuyau est l'angle formé par les fibres neutres de deux parties droites consécutives d'un tuyau, la fibre neutre étant elle-même le lieu géométrique des centres des sections droites du tuyau. Le rayon de cintrage est le rayon de l'arc de circonférence de la fibre neutre comprise entre deux parties droites consécutives. La courbe décrite par la fibre neutre entre deux parties droites peut ne pas être une circonférence, dans ce cas le rayon moyen R de cintrage sera défini par le rapport S/β dans lequel S est la longueur de la courbe comprise entre deux parties droites, et β le cintrage. Lorsque l'on cintré un tuyau sur un sabot circulaire de rayon R , on l'enroule comme expliqué plus haut d'un angle supérieur à l'angle β , l'angle d'enroulement étant alors $\beta + \alpha$. De la sorte le rayon de courbure après la déformation élastique est plus grand il devient :

$$R + \Delta R = \frac{\beta + \alpha}{\beta} \cdot R = R \left(1 + \frac{\alpha}{\beta} \right)$$

Il en résulte que si l'on veut cintrer une tuyauterie avec précision d'un angle β , le rayon de courbure étant R , il faut utiliser un sabot de cintrage plus petit que R . Il se trouve que le surcintrage β est lui-même une fonction croissante de l'angle β de telle sorte que plus on veut cintrer d'un angle important, plus, pour conserver le même rayon de courbure, le rayon du sabot à utiliser doit être petit. Ce phénomène étant connu on utilise jusqu'à présent pour chaque rayon de cintrage des jeux de sabots et par exemple on peut, pour obtenir un rayon R donné pour des cintrages compris entre 0 et 30°, utiliser un sabot circulaire de rayon R_1 tel que $R_1 < R$, puis pour cintrer entre 30° et 60° un sabot de rayon R_2 , $R_2 < R_1$ et ainsi de suite jusqu'à obtenir la gamme complète des cintrages que l'on souhaite réaliser. Les rayons R_1 , R_2 des sabots que l'on utilise pour les différentes sous-gammes sont déterminés par expérimentation sur des échantillons représentatifs des tuyaux que l'on veut cintrer.

L'état de la technique tel qu'il vient d'être décrit est illustré par les figures 1 et 2.

Sur la figure 1 on voit un sabot circulaire 1 sur lequel au moyen d'un mors 2 on applique le tuyau 3. Ce dernier est enroulé au moyen du mors 2 d'un angle $(\beta + \alpha)$ 4 égal à l'angle 5 que font entre eux les segments de fibres neutres 6 situés de part et d'autre du cintre.

La figure 1 illustre la première phase d'un formage de tuyauterie, la seconde phase va consister à avancer le tuyau d'une longueur ΔL , éventuellement à le tourner sur lui-même, pour réaliser un trévirage puis à réaliser le cintrage suivant avec changement éventuel du sabot si l'angle de cintrage souhaité pour le cintre suivant nécessite un sabot de rayon différent.

La figure 2 illustre la nouvelle position du tuyau en fin de phase 2 on y voit essentiellement le tuyau 3 et sa fibre neutre 6 comportant deux segments de part et d'autre du cintre, du fait de la déformation élastique ces deux segments font entre eux un angle 7 en principe égal à β si le surcintrage α a été bien choisi.

Cet état de la technique présente deux inconvénients : d'une part, il impose de changer le sabot chaque fois que l'on passe d'une gamme de cintrage à une autre, d'autre part il laisse subsister une erreur sur le rayon de courbure et/ou sur le cintrage du fait que les changements de rayon de sabot (R_1 , R_2 ...) sont discontinus. Cette erreur peut être importante et inacceptable dans le cas de tuyauteries destinées à être logées en grand nombre dans des emplacements exigus comme des coques de sous-marins. Une part de l'erreur provient de l'outil de cintrage, le sabot circulaire, dont le rayon ne varie que par sauts, une autre part provient de la méconnaissance que l'on a, des surcintrages α à appliquer.

L'invention a pour but de remédier aux inconvénients précités d'une part par un sabot de cintrage dont le rayon moyen de cintrage est variable en continu et, d'autre part, par un procédé d'utilisation du dit sabot permettant de réaliser des cintrages pour lesquels les surcintrages nécessaires sont mieux appréciés.

A cette fin l'invention a pour objet un sabot de cintrage de tuyaux, en forme de cylindre à partir de la surface latérale duquel est creusée une gorge dont la section droite est un demi-cercle de diamètre égal au diamètre du tuyau à cintrer, caractérisé en ce que la base du cylindre est délimitée, d'une part, par une portion de spirale logarithmique définie en coordonnées polaires par l'équation $P = P_0 e^{-k\theta}$ (1), portion délimitée par les points $\theta = 0$ et $\theta = 2\pi$, et dans laquelle P_0 et k sont des constantes positives et, d'autre part, par un segment de droite joignant les points de la spirale pour lesquels $\theta = 0$ et $\theta = 2\pi$.

La courbe d'équation (1) est une spirale logarithmique. Cette courbe a pour propriété que le rayon de cour-

bure va en diminuant régulièrement de façon continue de la valeur $R_1 = P_0 \sqrt{1 + k^2}$ lorsque $\theta = 0$ à la valeur $R_2 = P_0 \sqrt{1 + k^2} e^{-k2\pi}$ lorsque $\theta = 2\pi$. Un sabot ayant ce pourtour offre donc la possibilité d'obtenir des rayons de courbure moyens pour le cintrage des tuyaux, variables de façon continue entre deux limites comprises dans l'intervalle entre R_1 et R_2 .

- 5 Si les limites R_1 et R_2 sont bien choisies il sera toujours possible de trouver sur la spirale une portion comprise entre deux rayons vecteurs formant entre eux l'angle $\beta + \alpha$ et telle que le rayon de courbure moyen de cette portion soit égale à

$$R - \Delta R = \frac{\beta}{\beta + \alpha} R$$

- 10 de telle sorte qu'après relaxation d'un angle α le rayon de courbure soit justement égal à R .

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description suivante faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 3 représente une spirale logarithmique et est destinée à illustrer le principe, les avantages de l'invention et le mode de détermination des dimensions du sabot en fonction des caractéristiques des tuyaux à cintrer,
- la figure 4 est une vue de dessus d'un exemple particulier de sabot réalisé selon l'invention,
- la figure 5 est une vue latérale du même exemple particulier.

La figure 3 représente une portion de spirale logarithmique (8) selon l'équation :

$$P = P_0 e^{-k\theta} \quad (1)$$

- 20 Elle va du point B au point A lorsque l'angle θ varie de 0 à 2π .

Le centre des coordonnées polaires est figuré par le point O.

P_0 est égal à OB

P_1 est égal à OA

P_0 étant fixé P_1 est fonction du coefficient k .

- 25 Le pourtour du sabot sera entièrement déterminé lorsque P_0 et k auront été fixés. Il va être examiné ci-après la façon de procéder :

– tout d'abord on détermine sur une gamme d'échantillons représentative des tuyaux de diamètre D à cintrer sur le sabot, les surcintrages α correspondant aux cintrages β souhaités. Pour des rayons de courbure compris entre $2,5D$ et $3D$ (cas le plus courant). On peut retenir que le surcintrage peut être déterminé par l'équation linéaire :

$$\beta = a + b\alpha$$

- où a et b sont des constantes. Par exemple pour un tuyau de diamètre 30 mm, " a " peut être compris entre 1 et 6° et " b " peut varier entre 0,02 et 0,05. Il est utile de noter pour la suite de l'exposé que a et b sont des valeurs moyennes pour une même catégorie de tuyaux réalisés dans la même matière. Ces valeurs sont comprises entre deux valeurs butées a_1, a_2 et b_1, b_2 . Ces valeurs butées peuvent être assez éloignées l'une de l'autre et l'on ne connaît pas a priori la valeur à retenir pour effectuer un cintrage particulier. Ces valeurs sont différentes le long d'un même tuyau ceci en raison du manque d'homogénéité de la matière et surtout en raison de l'ovalisation variable du tuyau. Le fait que le sabot permet une variation en continu du rayon de courbure et donc une meilleure précision au niveau du rayon de courbure rend possible et avantageux un procédé de cintrage qui sera décrit plus loin où l'on tient compte des résultats obtenus sur les cintrages précédents pour effectuer le cintrage suivant.

Les plages $a_1, a_2 - b_1, b_2$ et les valeurs moyennes a et b étant connues P_0 et k sont déterminés par le calcul de la façon suivante :

– soit R le rayon de courbure que l'on souhaite obtenir. On sait que :

$$45 \quad R = S/\beta \quad (2)$$

Dans cette équation S est la longueur de l'arc de spirale MoM1 (fig. 3) compris entre les rayons vecteurs déterminés par les angles θ_0 et $(\theta_0 + \beta + \alpha)$.

- La longueur de MoM1 est pour un angle β donné une fonction de P_0, k , et également de θ_0 qui détermine le point de la spirale à partir duquel on commence à cintrer. Lorsque P_0 et k sont fixés, c'est-à-dire lorsqu'on utilise un sabot déterminé la longueur de MoM1 n'est plus qu'une fonction de θ_0 . Il convient donc de s'assurer lors de la fixation de P_0 et k que l'équation (2) aura toujours une solution en θ_0 telle que le point Mo correspondant soit bien sur un point de la courbe 8 c'est-à-dire qu'il faut une solution $0 < \theta_0 < 2\pi$.

- 55 Cette simple condition ne suffit pas il faut encore qu'à partir du point Mo défini par l'angle θ_0 , il soit possible de cintrer d'un angle $(\beta + \alpha)$ tout en restant le long de la courbe (8). Cette condition sera toujours réalisée pour les grands angles de cintrage pour lesquels on a toujours intérêt à choisir des angles de début de cintrage faible, c'est-à-dire voisin de $\theta = 0$.

Par contre, pour les angles de cintrage faible il faudra que θ_0 réponde à la condition : $\theta_0 < 2\pi - (\beta_m + \alpha_m + \gamma)$ dans laquelle γ est défini par le fait que l'angle $2\pi - \gamma$ correspond au point M6 de la courbe 8, point pour

lequel la tangente à la courbe 8 passe par le point B. (Pour les commodités du dessin ce point a été représenté sur la figure 4). L'introduction de l'angle γ est nécessaire pour ne pas être gêné par le décrochement de la courbe 8 au voisinage de $\theta = 0$.

On procède donc de la façon suivante : on connaît le cintrage minimum β_m que l'on veut réaliser, à ce cintrage correspond un surcintrage α_m et un angle de début de cintrage θ_m . Les points de la spirale 8 correspondant à θ_m et $(\theta_m + \beta_m + \alpha_m)$ sont représentés par M2 et M3. On connaît également le cintrage maximum que l'on veut réaliser soit β_M auquel correspond un surcintrage α_M et un angle de début de cintrage θ_M . Les points de la spirale 8 correspondant aux angles θ_M et $(\theta_M + \alpha_M + \beta_M)$ sont représentés par M4 et M5. Pour les deux valeurs de β , l'équation (2) ci-dessus devient en calculant M2M3 et M4M5 selon des méthodes classiques,

$$R = \frac{1}{\beta_m} \frac{\sqrt{1+k^2}}{k} P_0 e^{-k\theta_m} (e^{-k(\beta_m + \alpha_m)} - 1)$$

$$R = \frac{1}{\beta_M} \frac{\sqrt{1+k^2}}{k} P_0 e^{-k\theta_M} (e^{-k(\beta_M + \alpha_M)} - 1)$$

La division de ces 2 équations membre à membre conduit à une équation (6) où ne figure plus que k soit :

$$(6) \quad 1 = \frac{\beta_m}{\beta_M} e^{-k(\theta_M - \theta_m)} \frac{e^{-k(\beta_M + \alpha_M)} - 1}{e^{-k(\beta_m + \alpha_m)} - 1}$$

Le coefficient k est petit car la spirale nécessaire compte tenu des valeurs usuelles du surcintrage est proche d'un cercle. Dans ces conditions on peut utiliser le premier degré du développement limité de l'expression e^x soit $e^x \approx 1 + x$.

Avec cette approximation on obtient :

$$(7) \quad k = \frac{1}{\theta_M - \theta_m} \left(1 - \frac{\beta_m + \alpha_m}{\beta_M + \alpha_M} \cdot \frac{\beta_M}{\beta_m} \right)$$

θ_M est l'angle de début de cintrage pour le cintrage maximum β_M . Pour les grands angles ΔR est petit, on est donc proche des grands rayons vecteurs de la spirale, donc proche des angles voisins de 0, θ_M devra être petit, le seul critère à prendre en compte est de ne pas être gêné par le décrochement de la courbe 8 pour $\theta = 0$.

θ_m est l'angle de début de cintrage pour le cintrage minimum, donc correspondant à des rayons de courbure du sabot petit. θ_m devra donc être le plus grand possible mais néanmoins inférieur à $(2\pi - (\beta_m + \alpha_m + \gamma))$ de telle sorte qu'il soit encore possible de cintrer de l'angle $(\beta_m + \alpha_m)$ sans être gêné par le décrochement de la courbe 8 au voisinage de $\theta = 0$.

En prenant par exemple

$$\begin{aligned} \theta_M &= 0,1 \text{ radians} & \beta_M &= \pi \text{ radians} & \gamma &= 0,1 \text{ radians} \\ \beta_m &= \pi/8 \text{ radians} & \theta_m &= 2\pi - (0,1 + \pi/8 + \alpha_m) \end{aligned}$$

On obtient les valeurs de k suivantes en fonction de a et b

a \ b	6°	5°	4°	3°	2°	1°
0,02	0,037	0,030	0,023	0,018	0,011	0,007
0,03	0,037	0,030	0,022	0,019	0,011	0,006
0,04	0,037	0,030	0,022	0,019	0,011	0,006

La valeur de P_0 s'obtient par report de la valeur de k dans l'une des équations (4) ou (5)

$$\begin{aligned} \text{Pour } \theta_m &= 0,1 \text{ radians} \\ \beta_M &= \pi \text{ radians} \quad \text{et } k = 0,03 \end{aligned}$$

on trouve

$$P_0 = 0,97 R \text{ et}$$

$$P_1 = 0,82 P_0$$

On voit que P_0 est peu différent de R , on peut donc aussi se fixer $P_0 = R$ et déterminer k en se fixant la valeur minimum de l'angle de cintrage que l'on réalisera sur le sabot en remplaçant P_0 par R dans l'équation (4) ci-dessus.

5 La réalisation particulière représentée en vue de dessus figure 4 et en vue latérale figure 5 a été effectuée selon ce dernier mode.

Il s'agit d'un sabot destiné à cintrer des tuyaux de diamètre $D = 30$ mm avec un rayon de cintrage $R = 2,9$ D soit 87 mm. C'est donc la valeur choisie pour P_0 de la spirale 8. Ce sabot permet de cintrer des tuyaux pour lesquels a est compris entre 1° et 2° , b étant variable de 0,01 à 0,05. Le coefficient k étant dans ce cas égal à 0,008. La gorge 9 creusée à partir de la surface latérale a également une forme de spirale.

10 L'alésage 10 est destiné de façon classique à l'adaptation sur une cintrreuse. Les faces opposées 11 et 12 comportent des graduations angulaires non représentées.

Les valeurs en cm du rayon vecteur de la spirale 8 sont indiquées ci-après pour des valeurs de θ de 0 à 350° par pas de 10° . Les valeurs du rayon vecteur correspondant au fond de gorge se déduisent des premières par soustraction de 1,5 cm.

20

25

30

35

40

45

50

55

Angle θ en degrés	Rayon vecteur de la spirale P en cm
0	8,70
10	8,68
20	8,67
30	8,66
40	8,64
50	8,63
60	8,62
70	8,61
80	8,59
90	8,58
100	8,57
110	8,55
120	8,54
130	8,53
140	8,52
150	8,50
160	8,49
170	8,48
180	8,47
190	8,45
200	8,44
210	8,43
220	8,42
230	8,40
240	8,39
250	8,38
260	8,37
270	8,36
280	8,34
290	8,33
300	8,32
310	8,31
320	8,29
330	8,28
340	8,27
350	8,26

Le procédé d'emploi de ce sabot est le suivant:

Ayant déterminé par échantillonnage les coefficients a et b relatifs aux tuyaux à cintrer ainsi que leurs plages de variation a_1 a_2 , b_1 b_2 on réalise un tableau donnant pour chaque valeur de B

- l'angle $\alpha_1 + \beta_1$
- 5 – l'angle de début de cintrage θ_1
- l'angle de fin de cintrage $\theta_1 + \alpha_1 + \beta_1$
- les plages de variation de chacun de ces trois angles.

Le sabot étant gradué dans la même unité que le tableau, on enroule le tuyau sur le sabot à partir de l'angle θ_1 , jusqu'à l'angle $\theta_1 + \beta_1 + \alpha_1$. De la sorte la fibre neutre du tuyau a bien tourné de l'angle $\beta_1 + \alpha_1$, puisque la spirale a pour propriété que la tangente en un point de la spirale fait avec le rayon vecteur correspondant un angle constant.

Après relaxation on mesure l'erreur $\Delta\beta_1$, cette erreur est utilisée lorsqu'elle est négative pour corriger par addition de $\Delta\beta_1$, le cintrage qui vient d'être réalisé et dans tous les cas pour affiner la valeur du surcintrage suivant β_2 en prenant

$$\Delta\beta_2 = \Delta\beta_1 \frac{\beta_2}{\beta_1}$$

Pour le cintrage suivant, la correction apportée sur β_3 se déduira par extrapolation linéaire des erreurs notées lors des deux cintrages précédents.

Revendications

1 - Sabot de cintrage de tuyaux, en forme de cylindre à partir de la surface latérale duquel est creusée une gorge dont la section droite est un demi-cercle de diamètre égal au diamètre du tuyau à cintrer, caractérisé en ce que la base du cylindre est délimitée, d'une part par une portion de spirale logarithmique définie en coordonnées polaires par l'équation de formule (1) $P = P_0 e^{-k\theta}$, portion délimitée par les points $\theta = 0$ et $\theta = 2\pi$, et dans laquelle P_0 et k sont des constantes positives et, d'autre part, par un segment de droite joignant les points de la spirale pour lesquels $\theta = 0$ et $\theta = 2\pi$.

2 - Sabot selon la revendication 1 caractérisé en ce que la valeur du coefficient k est déterminée en fonction des angles minimum β_m et maximum β_M que l'on souhaite obtenir, des angles correspondants de surcintrage α_m et α_M et de début de cintrage θ_m et θ_M par la formule :

$$k = \frac{1}{\theta_M - \theta_m} \left(1 - \frac{\beta_m + \alpha_m}{\beta_M + \alpha_M} \cdot \frac{\beta_M}{\beta_m} \right)$$

3 - Sabot selon la revendication 2 caractérisé en ce que la valeur de P_0 est déterminée par l'équation 4

$$R = \left| \frac{1}{\beta_m} \frac{\sqrt{1 + k^2}}{k} P_0 e^{-k\theta_m} (e^{-k(\theta_M + \alpha_M)} - 1) \right|$$

dans laquelle R représente le rayon de courbure souhaité.

4 - Sabot selon la revendication 1 caractérisé en ce que le module P_0 est égal au rayon de courbure R que l'on souhaite obtenir.

5 - Sabot selon la revendication 4 caractérisé en ce que le coefficient k est déterminé par la formule

$$1 = \frac{1}{\beta_m} \frac{\sqrt{1 + k^2}}{k} e^{-k\theta_m} (e^{-k(\beta_m + \alpha_m)} - 1)$$

6 - Procédé de cintrage utilisant le dispositif selon la revendication 1 caractérisé en ce que on utilise les erreurs constatées sur les cintrages précédents pour corriger le cintrage suivant par extrapolation linéaire de ces erreurs.

FIG 1

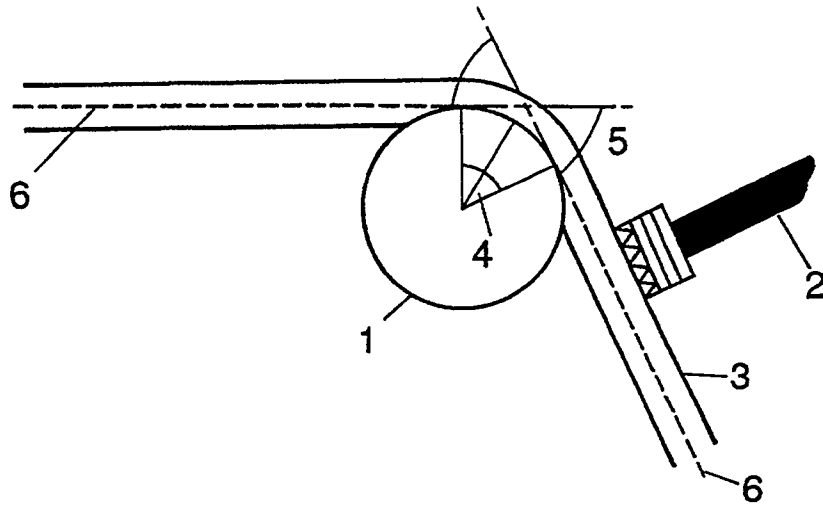


FIG 2

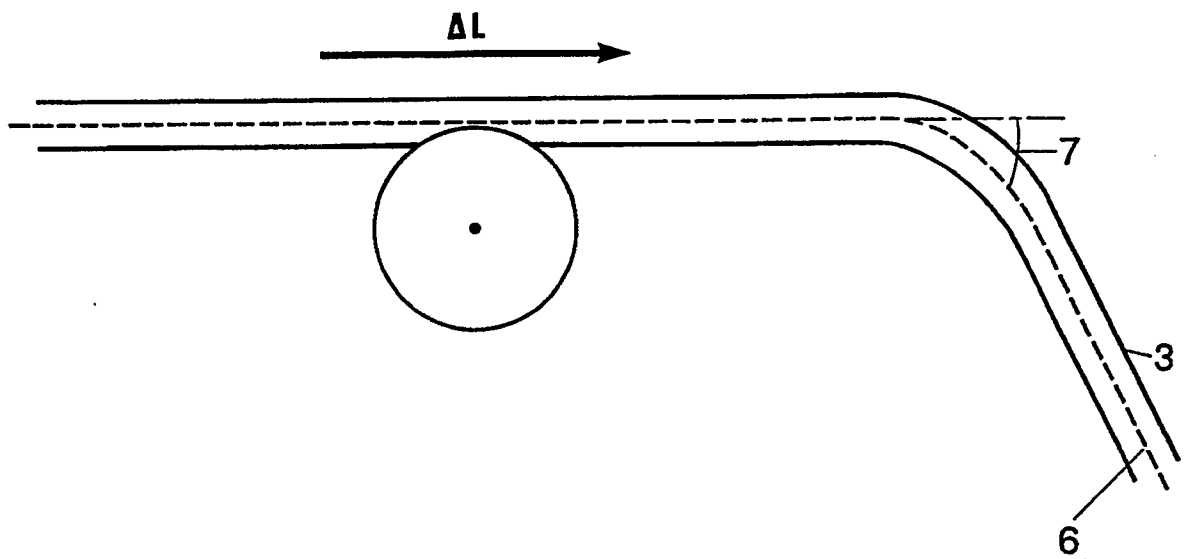


FIG 3

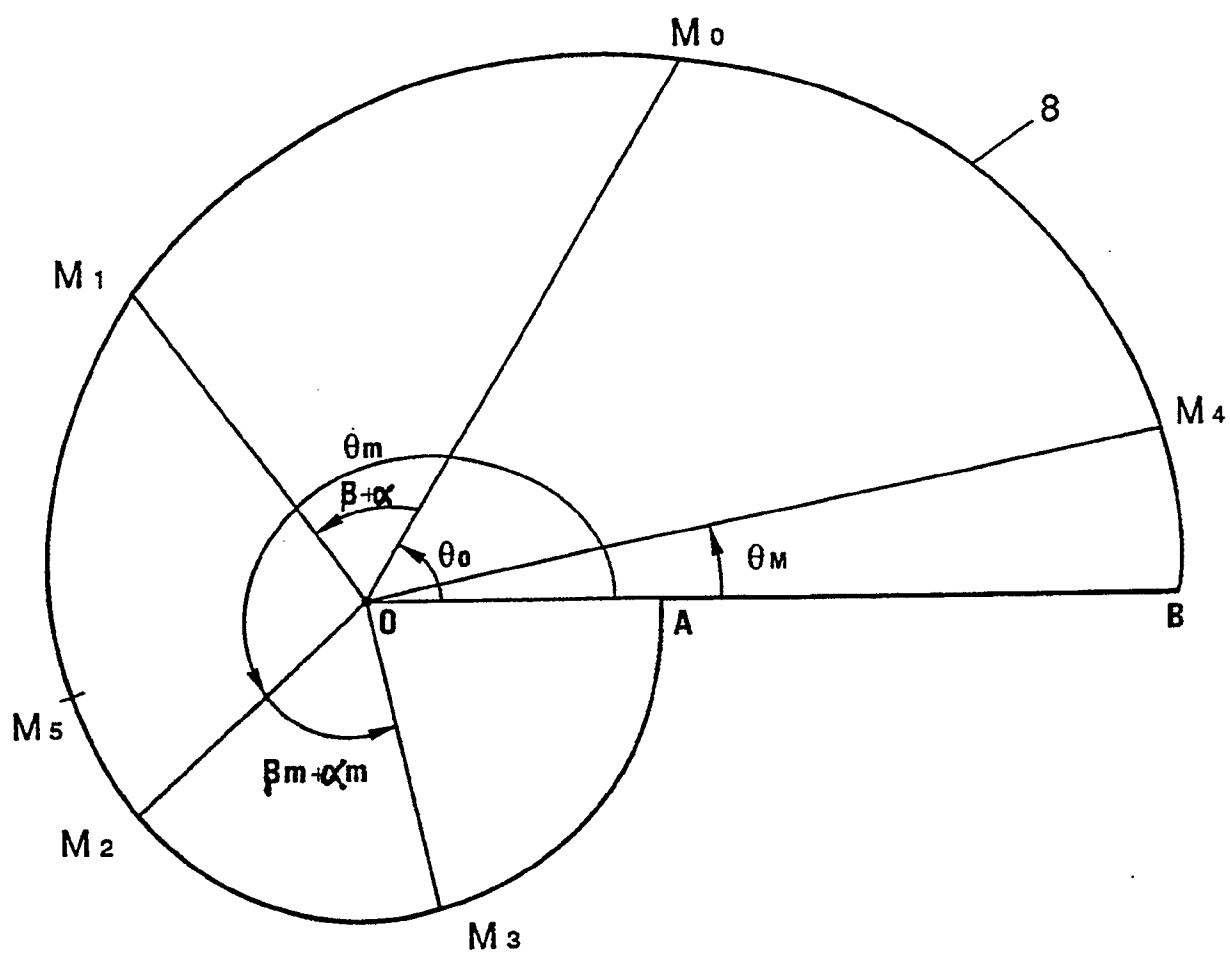


FIG 4

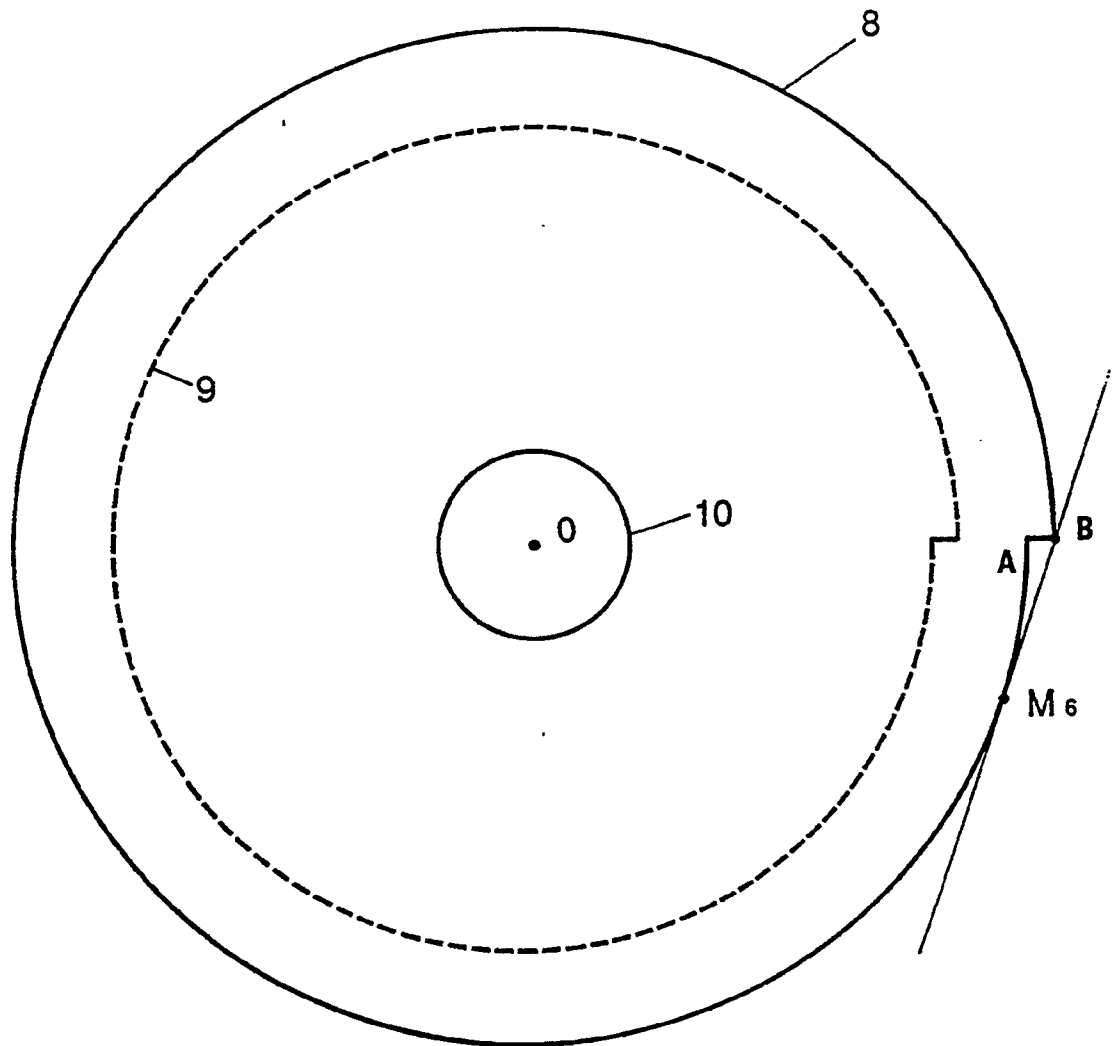
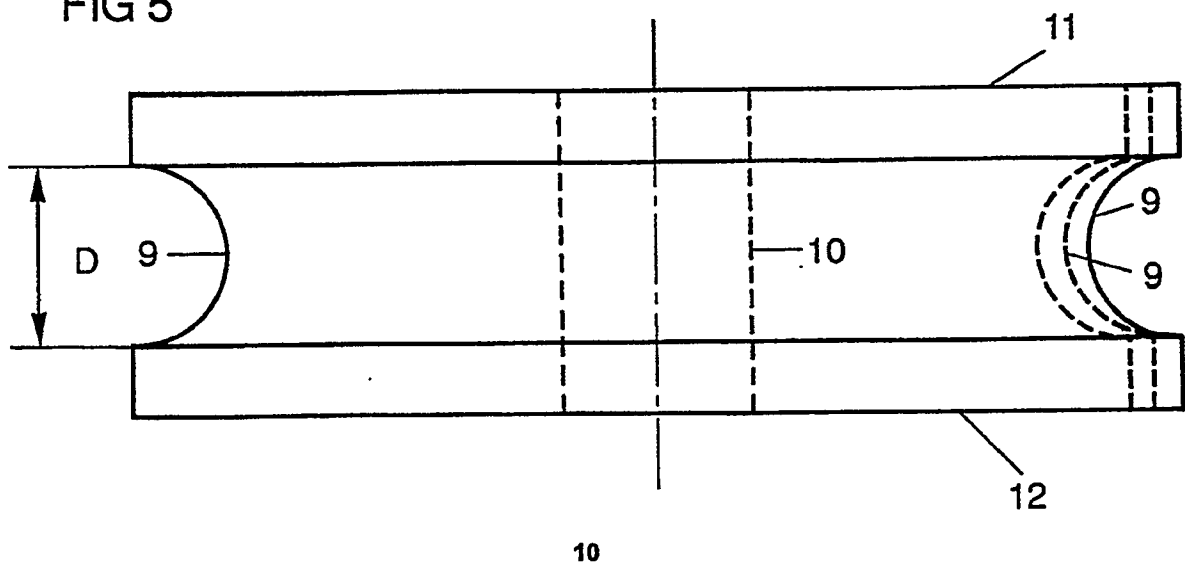


FIG 5





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 91 40 1393

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
A	EP-A-0 338 944 (PICOT) * Colonnes 7,8; fig. * ---	1,6	B 21 D 7/02 B 21 D 7/14
A	WO-A-8 701 625 (GARDNER) * Pages 11,12; fig. * ---	1,6	
A	DE-A-1 950 127 (PEDDINGHAUS) ---		
A	FR-A-2 085 483 (VALLOUREC) -----		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
			B 21 D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lien de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 29-08-1991	Examinateur PEETERS L.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03.92 (P0402)