

12

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: 80400751.6

51 Int. Cl.³: **B 22 D 41/08**
B 22 D 39/00

22 Date de dépôt: 28.05.80

30 Priorité: 31.05.79 FR 7914011

43 Date de publication de la demande:
07.01.81 Bulletin 81/1

84 Etats Contractants Désignés:
BE DE GB IT LU NL SE

71 Demandeur: **ANVAR Agence Nationale de Valorisation de la Recherche**
13, rue Madeleine Michelis
F-92522 Neuilly-sur-Seine(FR)

72 Inventeur: **Garnier, Jacques**
154, Avenue Victor Hugo
F-38170 Seyssinet Pariset(FR)

72 Inventeur: **Garnier, Marcel**
76, Avenue Rhin et Danube
F-38100 Grenoble(FR)

72 Inventeur: **Moreau, René**
"Le Cèdre" Faubourg Sermorens
F-38500 Grenoble(FR)

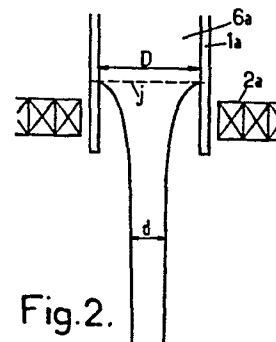
74 Mandataire: **Lecca, Jean et al,**
CABINET PLASSERAUD 84, rue d'Amsterdam
F-75009 Paris(FR)

54 Procédé et dispositif pour réaliser le confinement des métaux liquides par mise en oeuvre d'un champ électromagnétique.

57 Le dispositif met en oeuvre un champ électromagnétique produit par une bobine qui entoure le jet de métal liquide à confiner.

Le dispositif comporte une bobine 2a qui entoure le jet 6a et des moyens pour faire parcourir la bobine par un courant alternatif dont la fréquence est inférieure à l'inverse du produit de la perméabilité magnétique du métal liquide par la conductivité électrique de ce métal et par le carré du rayon du jet de ce métal après confinement, en unités cohérentes.

Application notamment à la coulée de l'acier, de l'aluminium et du cuivre liquide ou de leurs alliages.



Procédé et dispositif pour réaliser le
confinement des métaux liquides par mise
en oeuvre d'un champ électromagnétique.

On a décrit dans la demande de brevet n° 2.316.026,
déposée le 4 Juillet 1975 par la déposante et l'INSTITUT
DE MECANIQUE de Grenoble, un dispositif pour confiner un
jet de métal liquide, caractérisé par le fait qu'il com-
prend, en combinaison, au niveau de l'orifice de sortie
dudit jet formant busette, d'une part, des moyens pour
créer une surpression dans le jet constitués par une
bobine entourant la busette et disposée à la sortie de
celle-ci; en combinaison avec des moyens pour faire par-
courir la bobine par un courant alternatif de fréquence
élevée et, d'autre part, des moyens pour supprimer cette
surpression.

Le dispositif selon cette demande de brevet mettait
donc en oeuvre, pour réaliser le confinement d'un jet de
métal liquide, la combinaison de deux moyens, savoir :

- d'une part, une bobine qui entoure la busette par
où sort le jet et qui est parcourue par un courant alter-
natif de fréquence élevée, cette bobine créant une sur-
pression dans le jet à la sortie de la busette,
- d'autre part, des moyens pour supprimer cette
surpression.

On précisait dans ladite demande que :

- la fréquence f du courant alternatif qui par-
court la bobine devait être suffisamment élevée pour que
la profondeur de pénétration δ de l'induction ou champ
magnétique dans le jet réponde aux deux conditions sui-
vantes :

$$\delta < R \quad \text{et}$$

$$\delta < e,$$

- R étant le rayon du jet de métal avant contraction et
 e l'épaisseur de l'écran métallique ; on devait donc
avoir :

$$f > \frac{1}{\pi \mu \sigma_m a^2} \quad (1) \quad \text{et} \quad f > \frac{1}{\pi \mu \sigma_c e^2}$$

avec σ_m et σ_c représentant la conductivité électrique respectivement du métal qui constituait le jet (par exemple l'acier ou l'aluminium) et du métal qui constituait l'écran (par exemple le cuivre) et μ désignant la perméabilité magnétique du métal liquide ;

- les moyens pour supprimer la surpression dans le jet étaient avantageusement constitués par un écran en une matière conductrice de l'électricité, concentrique à la bobine et pénétrant à l'intérieur de celle-ci par le bas (lorsqu'on considère le sens d'écoulement du jet de métal liquide), des moyens étant prévus pour refroidir tant la bobine que l'écran en éliminant la chaleur qui y est produite lorsque la bobine est parcourue par ledit courant alternatif.

La première addition à la demande de brevet précitée, savoir l'addition n° 2.396.612, déposée le 8 Juillet 1977 également par l'AGENCE NATIONALE DE VALORISATION DE LA RECHERCHE et l'INSTITUT DE MECANIQUE de Grenoble, avait pour objet de réaliser une régulation du débit d'un jet de métal liquide par mise en oeuvre du dispositif selon la demande n° 2.316.026, en prévoyant en outre des moyens pour réduire à la valeur désirée la section dudit jet au niveau de l'orifice de sortie afin de réaliser le débit désiré ; de préférence, ces moyens étaient constitués par des moyens pour faire varier l'intensité dudit courant alternatif de fréquence élevée.

Dans tous les cas (demande de brevet principal et demande de brevet d'addition), on prévoyait des moyens pour supprimer la surpression dans le jet de métal liquide, ces moyens étant avantageusement constitués par un écran en une matière conductrice de l'électricité, ledit écran, de forme cylindrique, étant concentrique à la bobine et pénétrant à l'intérieur de celle-ci à partir du bas (en considérant le sens d'écoulement du jet de métal liquide).

On expliquait, dans la demande de brevet n° 2.316.026, que l'écran avait pour effet de supprimer brutalement l'induction magnétique et donc de supprimer la surpression

dans le jet, ce qui entraînait une réduction de section du jet du fait de l'invariance du débit $Q_2 = SV$, d'une part, et de la charge (hydrostatique) $H = \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g}$, d'autre part, en appelant S la section, V la vitesse, P la
 5 pression et ρ la masse volumique du métal liquide, et g l'accélération de la pesanteur. En effet, en diminuant la pression au sein du jet de métal liquide, on augmente la vitesse V d'écoulement du métal liquide (à cause de l'invariance de la charge H) et on diminue donc la section
 10 (qui est inversement proportionnelle à la vitesse V du fait de l'invariance du débit Q).

La réduction de section du jet et donc le décollement avaient lieu au niveau du bord supérieur de l'écran dans le cadre de l'invention selon la demande n°2.316.026
 15 et sa première addition.

Or, la demanderesse vient de constater avec surprise que l'on pouvait également réaliser un confinement d'un jet de métal liquide en mettant en oeuvre une bobine parcourue par un courant alternatif, non pas à fréquence élevée (plus précisément à une fréquence répondant à l'inégalité (1) susindiquée), mais à une basse fréquence, en fait à une fréquence inférieure à la valeur de la fréquence pour laquelle la profondeur de pénétration δ du champ magnétique dans le jet du métal liquide est égale au rayon
 20 du jet du métal liquide une fois confiné par le champ magnétique ; on doit donc avoir $\delta > r$, c'est-à-dire :

$$f < \frac{1}{\pi \mu \sigma_m r^2}$$

μ et σ_m ayant les significations indiquées ci-dessus et
 30 r désignant le rayon du jet de métal liquide après contraction.

La demanderesse a constaté que la fréquence optimale f_0 est celle pour laquelle la profondeur de pénétration δ du champ électromagnétique est égale au rayon R
 35 du jet métallique liquide non confiné, soit :

$$f_0 = \frac{1}{\pi \mu \sigma_m R^2}$$

La demanderesse a en outre constaté que pour les basses fréquences ci-dessus précisées et notamment au voisinage de la fréquence optimale f_0 , la présence de l'écran n'était plus indispensable, le confinement étant produit
 5 uniquement par la bobine parcourue par un courant alternatif à une telle basse fréquence. Toutefois, en l'absence d'écran, le décollement ne se produit pas à un niveau stable bien déterminé. Pour stabiliser à un niveau précis le décollement du jet de métal liquide, on peut prévoir un
 10 écran concentrique à la bobine, cet écran pénétrant dans la bobine, non pas à partir du bas (en considérant l'écoulement du jet) comme dans la demande de brevet n°2.316.026, mais à partir du haut ; le décollement se produit alors au niveau du bord inférieur de l'écran.

15 En résumé, dans le cadre de l'enseignement de la demande n°2.316.026, on mettait en oeuvre une bobine parcourue par un courant de fréquence $f > \frac{1}{\pi \mu \sigma_m R^2}$ en combi-

naison avec un écran pénétrant à l'intérieur de la bobine
 20 depuis le bas, le décollement ayant lieu au niveau du bord supérieur de l'écran, alors que selon la présente invention, on met en oeuvre une bobine parcourue par un courant de fréquence $f < \frac{1}{\pi \mu \sigma_m r^2}$ (r , rayon du jet après confine-
 25 ment, étant inférieur à R , rayon du jet après confinement) sans écran ou avec un écran pénétrant dans la bobine à partir du haut ; en l'absence d'écran, le décollement a lieu à un niveau mal déterminable, tandis qu'en présence d'écran ce décollement a lieu au niveau du bord inférieur
 30 de l'écran.

On connaît par ailleurs (brevet France n° 1.188.576 déposé le 12 Novembre 1957 par la société W.C. HERAEUS et brevet Luxembourg n° 66.760 déposé le 28 Décembre 1972 par le CENTRE DE RECHERCHES METALLURGIQUES) des procédés et
 35 dispositifs de coulée d'un métal liquide mettant en oeuvre un resserrement du jet de coulée au moyen d'une bobine sans mise en oeuvre d'un écran. Aucune précision n'est donnée (dans ces deux brevets) au sujet de la fréquence

du courant qui parcourt la bobine. L'homme de l'art ne peut donc savoir comment il faut travailler pour réaliser un confinement du jet de métal liquide.

La demanderesse a découvert, d'une part, que si
5 l'on voulait se passer d'écran, il fallait mettre en oeuvre un courant alternatif dont la fréquence est inférieure à une certaine valeur, et de préférence voisine d'une fréquence optimale f_0 déterminée, et, d'autre part, qu'à ces basses fréquences, la présence d'un écran pénétrant par
10 le haut dans la bobine permettait de fixer le niveau du décollement au bord supérieur de l'écran. Aucun de ces enseignements permettant de réaliser un confinement correct et à coup sûr d'un jet de métal liquide n'est donné ni dans le brevet France n° 1.188.576, ni dans le brevet
15 Luxembourg n° 66.760.

La notion de fréquence optimale qui est capitale n'apparaît pas dans les brevets 1.188.576 et 66.760 précités.

D'une part, parce que, pour toute fréquence plus
20 élevée, le confinement est difficile, voire impossible à obtenir, sauf dans des conditions peu réalistes où le jet métallique est soumis à des instabilités de grande amplitude ; d'autre part, parce que, pour toute fréquence inférieure, le confinement est possible (ce qui explique
25 pourquoi il est facile de choisir avec le maximum de chances de succès une fréquence conduisant à un confinement), mais entraîne une consommation de puissance très importante. La courbe de la figure 5 donnant C_f , coefficient représentatif de l'efficacité du champ magnétique,
30 en fonction de la fréquence le montre ; en effet, plus la fréquence diminue en deçà de la fréquence optimale, plus l'efficacité du champ magnétique décroît. Ainsi, pour une puissance donnée, fournie à la bobine, le confinement sera réalisé mais avec un coefficient de contraction d'autant
35 plus réduit que la fréquence sera plus faible. Autrement dit, pour obtenir une contraction donnée, il faudra fournir d'autant plus de puissance à la bobine que la fréquence sera plus éloignée inférieurement de la fréquence opti-

male. La forte croissance de la courbe C_f pour des fréquences basses (inférieures à 5 kHz dans le cas particulier représenté) montre clairement, sans qu'il soit besoin de faire le moindre calcul, que toute diminution même
5 très faible de fréquence conduit à une forte diminution de l'efficacité du champ magnétique qui doit être compensée par une augmentation importante de la puissance à fournir à la bobine. Par conséquent, si l'on ne s'intéresse pas seulement au phénomène de confinement en lui-même, mais aux applications du procédé et du dispositif
10 industriels, et donc obligatoirement à l'aspect économique, l'apport de l'invention, vis-à-vis de ces deux brevets antérieurs, est primordial du fait des précisions qu'elle apporte en ce qui concerne la fréquence optimale.

15 L'invention a donc d'abord pour objet un procédé pour confiner un jet de métal liquide en créant sensiblement au niveau où l'on veut réaliser le confinement une surpression dans le jet au moyen d'une bobine entourant le jet à ce niveau et parcourue par un courant alternatif,
20 caractérisé par le fait que ledit courant alternatif a une fréquence inférieure à l'inverse du produit de la perméabilité magnétique du métal liquide par la conductivité électrique de ce métal et par le carré du rayon du jet de ce métal après confinement, en unités cohérentes.

25 De préférence, cette fréquence est sensiblement égale à l'inverse du produit de ladite perméabilité, par ladite conductivité et par le carré du rayon du jet métallique avant confinement, en unités cohérentes.

L'invention a aussi pour objet un dispositif pour
30 réaliser le confinement d'un jet de métal liquide, par la mise en oeuvre du procédé susvisé, comportant une bobine qui entoure le jet et des moyens pour faire parcourir la bobine par un courant alternatif, caractérisé par le fait que lesdits moyens font parcourir cette bobine par un
35 courant alternatif dont la fréquence est inférieure à l'inverse du produit de la perméabilité magnétique du métal liquide par la conductivité électrique de ce métal et par le carré du rayon du jet de ce métal après confine-

ment, en unités cohérentes.

De préférence, lesdits moyens sont tels qu'ils font parcourir la bobine par un courant alternatif dont la fréquence est sensiblement égale à l'inverse du produit de ladite perméabilité, par ladite conductivité et
5 par le carré du rayon du jet métallique avant confinement, en unités cohérentes.

Avantageusement, le dispositif comporte en outre un écran en une matière conductrice de l'électricité disposé concentriquement à la bobine et pénétrant à l'intérieur de celle-ci à partir du haut si on considère le
10 sens de déplacement du jet.

L'invention pourra, de toute façon, être bien comprise à l'aide du complément de description qui suit, ainsi que des dessins ci-annexés, lesquels complément et des-
15 sins sont, bien entendu, donnés surtout à titre d'indication.

La figure 1 représente, en coupe, un dispositif selon la demande de brevet France n° 2.316.026.

20 Les figures 2, 3 et 4 représentent, également en coupe, trois modes de réalisation d'un dispositif selon la présente demande, savoir respectivement un dispositif de confinement d'un jet à la sortie d'une busette et ne comportant pas d'écran, un dispositif de confinement d'un
25 jet à la sortie d'une busette et comportant un écran et un dispositif pour assurer le passage d'un joint et ne comportant pas d'écran.

La figure 5 illustre la variation, en fonction de la fréquence en kHz, d'un coefficient C_f représentatif de
30 l'efficacité du champ magnétique (pour une veine d'acier liquide ayant 40 mm de diamètre).

Les figures 6 et 7, enfin, servent à expliquer comment le phénomène de contraction a lieu, même en l'absence d'écran, lorsqu'on met en oeuvre, dans le procédé
35 selon l'invention, un champ magnétique de fréquence suffisamment faible.

Selon l'invention, et plus spécialement selon celui de ses modes d'application, ainsi que selon ceux des

modes de réalisation de ses diverses parties, auxquels il semble qu'il y ait lieu d'accorder la préférence, se proposant, par exemple, de réaliser un procédé et un dispositif pour assurer le confinement des métaux liquides par
5 mise en oeuvre d'un champ électromagnétique, on s'y prend comme suit ou d'une manière analogue.

On se réfère tout d'abord à la figure 1 qui montre l'état de la technique tel que décrit dans la demande de brevet antérieure n° 2.316.026, notamment la figure 1 de
10 cette demande de brevet, de manière à mieux faire comprendre les différences entre la présente invention et ladite demande.

Sur la figure 1 annexée, on a utilisé les mêmes nombres et lettres de référence que sur la figure 1 de
15 la demande de brevet précitée.

Le dispositif de la demande antérieure comprend, autour d'une busette 1 avantageusement de révolution et dont le diamètre de sortie est égal à D , en combinaison :

- une bobine 2 de même axe $X-X'$ que la busette 1,
20 cette bobine étant alimentée, par des moyens non représentés, en un courant alternatif de fréquence élevée f ,
et

- un écran 3 également de révolution autour de l'axe $X-X'$ et qui pénètre à l'intérieur de la bobine 2 à
25 partir du bas (dans le sens d'écoulement du jet de métal liquide), ledit écran étant réalisé en une matière bonne conductrice de l'électricité, telle que le cuivre.

Conformément à la demande de brevet n° 2.316.026, le jet de métal liquide 6 sortant de la busette 1 décolle
30 des parois 7 de cette busette au niveau h du bord supérieur 8 de l'écran 3. Le jet ainsi confiné présente un diamètre d inférieur au diamètre D à partir du niveau h . On peut fixer avec précision l'endroit du décollement du jet en fixant la position du bord supérieur 8 de
35 l'écran 3 qui pénètre par le bas dans la bobine 2. Par ailleurs, on peut régler le diamètre d du jet en modifiant l'intensité du courant électrique alternatif de fréquence élevée parcourant la bobine 2.

Conformément à la demande de brevet précitée, le confinement est réalisé par la combinaison de la bobine 2 et de l'écran 3 et la fréquence qui parcourt la bobine 2 doit être telle qu'elle satisfasse aux conditions :

$$f \frac{1}{\pi \mu \sigma_m R^2} \text{ et } f \frac{1}{\pi \mu \sigma_c e^2}$$

en appelant R le rayon du jet de métal liquide avant sa contraction ($R = \frac{D}{2}$), e l'épaisseur de l'écran métallique 3, σ_m et σ_c les conductivités électriques respectivement du métal liquide constituant le jet 6 et de la matière 10 bonne conductrice de l'électricité constituant l'écran 3 et σ est la conductivité électrique du métal liquide. Le coefficient de contraction α est égal au rapport d/D ou r/R (avec $r = \frac{d}{2}$).

En se référant maintenant aux figures 2 à 4, on va décrire trois modes de réalisation d'un dispositif mettant en oeuvre les perfectionnements selon l'invention.

La figure 2 illustre schématiquement le mode de réalisation le plus simple, à savoir un dispositif assurant le décollement d'un jet de métal liquide à la sortie d'une tuyère sans mise en oeuvre d'écran, mais simplement d'une bobine parcourue par un courant alternatif de fréquence suffisamment basse.

Sur la figure 2, on a illustré en 1a la busette et en 2a la bobine, le jet 6a passant du diamètre D, avant confinement, au diamètre d sous l'effet du champ magnétique produit par la bobine 2a lorsque celle-ci est traversée par un courant alternatif de fréquence f telle que la profondeur de pénétration du champ magnétique dans le jet de métal liquide soit supérieure au rayon r du jet du métal liquide confiné ($r = \frac{d}{2}$). De préférence, comme cela sera expliqué ci-après, la fréquence f est voisine d'une fréquence optimale f_0 telle que la profondeur de pénétration soit égale au rayon R de la veine 35 liquide non confinée :

$$f_0 = \frac{1}{\pi \mu \sigma_m R^2}$$

La demanderesse a constaté que dans ces conditions, le décollement a lieu au niveau j quelque peu au-dessus de la bobine 2a qui peut être plate et ne comporter qu'un fil enroulé en spirale plane.

5 On expliquera ci-après, avec référence aux figures 5, 6 et 7, les raisons de ce décollement.

Sur la figure 3, on a illustré un mode de réalisation de l'invention comportant, en plus de la bobine parcourue par un courant alternatif de basse fréquence (comme défini ci-dessus avec référence à la figure 2), un
10 écran en une matière bonne conductrice de l'électricité.

Sur cette figure 3, on a illustré la busette 1b, la bobine 2b et l'écran 3b, tous trois de révolution autour de l'axe X-X'. Le jet de métal liquide 6b passe d'un
15 diamètre D, avant contraction, au diamètre d après contraction, la contraction et le décollement ayant lieu au niveau k défini par le bord inférieur de l'écran 3b qui, contrairement à l'écran 3 de la figure 1, pénètre dans la bobine 2 à partir du haut dans le sens de l'écoulement du
20 jet 6b.

Sur la figure 4, on a représenté un dispositif mettant en oeuvre les perfectionnements selon l'invention pour assurer le passage d'un joint et ne comportant pas d'écran. Sur cette figure, on a un ensemble 11 de conduites 11a et 11b séparées par un intervalle 11c, le tout de révolution autour d'un axe X-X' par exemple. Pour réaliser le décollement du jet 16 au niveau du joint ou intervalle 11c entre les conduites 11a et 11b, on prévoit, par la mise en oeuvre de l'invention, deux bobines 12a
30 et 12b parcourues chacune par un courant alternatif de basse fréquence, les deux bobines étant montées en série de manière à être parcourues à chaque instant par le même courant en sens contraires ; chaque bobine réalise vis-à-vis de l'autre un effet d'écran puisque, du fait
35 des sens opposés des courants qui les parcourent, il apparaît un point de champ magnétique nul sur leur axe commun X-X' à égale distance de chacune d'elles. Dans ces conditions, le décollement a lieu au niveau de la

partie supérieure a de la bobine supérieure 12a, tandis que le recollement se produit au niveau b à la partie supérieure de la bobine supérieure 12b. Les parties supérieures des deux bobines sont équidistantes du joint.

5 Des modes de mise en oeuvre de l'invention ayant été illustrés avec référence aux figures 2, 3 et 4 avec au moins une bobine parcourue par un courant alternatif de basse fréquence, on va expliquer maintenant, avec référence aux figures 5, 6 et 7, le fonctionnement de ces dispo-
10 sitifs et les raisons du confinement.

Le confinement à basse fréquence résulte (comme d'ailleurs le confinement à fréquence élevée, dans le cadre de la demande de brevet antérieure n° 2.316.026 précitée), d'une part, de l'invariance des deux grandeurs
15 débit $Q = SV$ et charge $H = \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g}$, et, d'autre part, de l'apparition, à l'intérieur de la veine de métal liquide, d'une surpression produite par le champ magnétique engendré par la bobine 2a, 2b, 12a parcourue par un cou-
rant alternatif à basse fréquence.

20 C'est la suppression de cette surpression qui entraîne le confinement et donc le décollement. En effet, la diminution de la pression à l'intérieur de la veine de métal liquide, donc de P, entraîne l'augmentation de V vitesse d'écoulement du jet, étant donné la constance
25 de H (les paramètres ρ et g restant inchangés) ; l'augmentation de V entraîne la diminution de S car le débit Q est constant ; or, S est justement la section du jet.

Dans le cas des fréquences élevées (demande de brevet n° 2.316.026), on ne peut annuler la surpression
30 d'origine électromagnétique qu'en annulant le champ magnétique lui-même soit au moyen d'un écran, soit au moyen d'une seconde bobine alimentée par un courant de sens opposé à celui parcourant la première bobine. Au contraire, la mise en oeuvre d'un courant alternatif de basse
35 fréquence parcourant la bobine qui réalise la surpression à l'intérieur de la veine de métal liquide permet de faire disparaître cette surpression sans annuler le champ magnétique par réduction à zéro de son efficacité.

Dans le cas où la profondeur de la pénétration δ du champ magnétique dans une veine de métal liquide est inférieure au rayon de celle-ci, il apparaît une sur-

pression $\frac{B_0^2}{2\mu}$ au centre du métal liquide (si B_0 désigne la valeur efficace du champ magnétique à la surface de la veine) puisque le champ magnétique est parfaitement nul au centre de la veine. Par contre, si la profondeur de pénétration δ est supérieure au rayon de la veine métallique, le champ magnétique a une intensité B_a non nulle sur l'axe de celle-ci. La surpression qui apparaît alors dans la veine métallique s'écrit :

$$\Delta P = \frac{B_0^2}{2\mu} - \frac{B_a^2}{2\mu} - \frac{B_0^2}{2\mu}$$

ce qui correspond à une baisse d'efficacité du champ magnétique.

Si on suppose que la profondeur de pénétration δ est juste égale au rayon R de la veine métallique non contractée, le champ magnétique étant nul au centre de la veine, il apparaît, immédiatement au-dessous de l'arête inférieure de l'écran, une surpression électromagnétique

$$\Delta P = \frac{B_0^2}{2\mu}. \text{ Si une amorce de contraction de la veine métallique se produit à l'amont de cette zone (et elle se produira nécessairement à cause de l'effet de traction de la pesanteur combiné à la décroissance magnétique à l'extérieur de la bobine et aux instabilités qui existent à la surface du jet), la profondeur de pénétration devient}$$

localement supérieure au rayon de la veine métallique et l'efficacité du champ magnétique diminue, puisque B_a cesse d'être nul. Il en résulte une diminution de pression dans le jet, ce qui conduit à une augmentation locale de vitesse et à une augmentation de la contraction d'origine. Le processus continue et la contraction affecte la totalité du jet. Le joint de décollement remonte alors dans la bobine où, à cause de l'uniformité du champ magnétique, il ne peut se fixer de façon stable, pour s'immobiliser au

niveau de l'arête inférieure de l'écran au-delà de laquelle la nullité du champ magnétique l'obligerait à redescendre.

Le phénomène est tout à fait réversible et peut
 5 conduire au gonflement d'une veine de métal liquide libre qui loin à l'amont de la bobine ne ressent pas le champ magnétique et voit sa pression augmenter à mesure qu'elle se rapproche de celle-ci. Cette augmentation de pression entraîne une diminution de vitesse et par conséquent, une
 10 augmentation de section. Un tel gonflement est utilisé dans la réalisation du joint électromagnétique pour faire recoller aux parois la veine métallique confinée à l'amont (cas de la figure 4).

Pour un champ magnétique de valeur efficace B_0 et
 15 un jet de métal de vitesse initiale V_0 la contraction α (respectivement le gonflement $\frac{1}{\alpha}$) rapport des diamètres après et avant contraction (respectivement gonflement) est donnée par :

$$20 \quad \alpha = \left(1 + C_f \frac{B_0^2}{\mu \rho V_0^2} \right)^{-1/4}$$

Le coefficient C_f tient compte du fait que, contrairement au cas des hautes fréquences, le rapport de la profondeur de pénétration au rayon R de la veine métallique
 25 que avant confinement n'est pas très faible devant l'unité. Par suite, la pression moyenne dans une section de la veine métallique ne peut plus être assimilée à :

$$\frac{B_0^2}{2\mu} \text{ mais est égale à } C_f \frac{B_0^2}{2\mu} \text{ avec :}$$

$$30 \quad C_f = 1 - R_\omega^{-1/2} (1 - e^{-R_\omega^{1/2}})$$

$$\text{où } R_\omega = 2\pi\mu\sigma f R^2.$$

A titre d'exemple, les deux tableaux ci-après donnent les valeurs du coefficient de contraction α et du
 35 coefficient de réduction de débit $\beta = \frac{\psi}{\psi_0}$ (si ψ et ψ_0 désignent respectivement les débits avec et sans champ magnétique), pour une veine d'acier liquide de diamètre initial 40 mm sous une charge de 1 m de liquide, pour

différentes valeurs de B_0 .

5	B_0 (gauss)	500	1000	1500	2000	2500	3000
	α	0,99	0,97	0,94	0,88	0,79	0,57

10	B_0 (gauss)	500	1000	1500	2000	2500	3000
	β	0,99	0,95	0,88	0,78	0,62	0,33

15 Les valeurs de C_f , pour ce cas particulier, sont représentées sur la figure 5, sur laquelle on a porté en abscisses les fréquences en kHz et en ordonnées la valeur de C_f .

En ce qui concerne la valeur de l'optimum de fréquence, à savoir $f_0 = \frac{1}{\pi \mu \sigma_m R^2}$, on va expliquer les rai-

sons de cette valeur en se référant aux figures 6 et 7. On rappelle que cette valeur de f_0 correspond au cas où $\delta = R$.

25 Sur les figures 6 et 7, on a représenté en 21 la paroi périphérique externe du jet 22 de rayon R avec une amorce de contraction d'amplitude ξ en 23, l'épaisseur de pénétration δ étant illustrée en 24.

1°) D'après la courbe de la figure 5 donnant les
30 valeurs de C_f en fonction de la fréquence f , il semblerait légitime de choisir la fréquence f aussi élevée que possible, afin d'augmenter l'efficacité du dispositif en se rapprochant au maximum d'un profil de pression uniforme dans la veine métallique ($\delta \rightarrow 0$). C'est ce qu'il est
35 souhaitable de faire dans le dispositif "haute fréquence" avec écran. Par contre, dans le dispositif "basse fréquence", c'est le manque d'efficacité locale du champ magnétique qui est mis à profit et conduit à respecter

une nouvelle contrainte.

2°) Par contre, si on suppose (figure 6) que la fréquence est telle que δ soit très inférieur à R , à toute amorce de contraction (due par exemple à une perturbation d'amplitude ξ) correspond (figure 7) la même surpression $\frac{B^2}{2\mu}$ électromagnétique qui interdit le maintien de la contraction et conduit à un retour au rayon R initial. Ainsi, pour avoir la certitude que toute amorce de contraction s'amplifiera et permettra le confinement par la décroissance de la surpression au niveau de la contraction, il faut respecter la condition $\delta \geq R$, soit :

$$f < \frac{1}{\pi\mu\sigma R^2}$$

Puisque la contrainte du paragraphe 1° impose de prendre f aussi grand que possible, l'optimum de fréquence est donc :

$$f = \frac{1}{\pi\mu\sigma R^2}$$

qui correspond à $\delta = R$.

Le procédé et le dispositif selon l'invention permettent de réaliser le confinement des métaux liquides, notamment de l'acier liquide, de l'aluminium liquide ou du cuivre liquide, ainsi que de leurs alliages.

Ils permettent de resserrer un jet de métal fondu, notamment d'acier, d'aluminium ou de cuivre, ainsi que de leurs alliages, sortant d'un orifice en réalisant un jet même de petit diamètre (de quelques millimètres).

Ils permettent également de réaliser le passage d'un joint.

L'invention permet notamment :

- d'utiliser un orifice de diamètre relativement grand, c'est-à-dire sans risque de bouchage, pour former un jet de diamètre relativement petit ;
- de former des billettes de petit diamètre (de quelques mm de diamètre) ou même des fils, en formant un jet de diamètre réduit à la sortie de l'orifice, par exemple d'une poche de coulée ;
- de réaliser de resserrément d'un jet à un joint

entre deux éléments, d'où possibilité de faire passer un métal liquide d'un premier élément à un second élément, sans accrochage aux parois du joint ;

- de supprimer l'une des étapes des opérations habituelles de filage, grâce à la formation d'un jet de diamètre réduit par rapport au diamètre de l'orifice, ce qui permet de diminuer l'investissement et les frais de fonctionnement d'une installation de tréfilage ; on peut ainsi réaliser des ébauches de fils métalliques (fils d'acier et d'aluminium par exemple), des moyens de refroidissement étant prévus pour solidifier le jet contracté ;

- de résoudre de nombreux problèmes de jonction ou d'étanchéité aux joints, en contrôlant la surface libre du métal liquide dans la région où cette surface est écartée des parois, avec application particulière aux problèmes de jonction posés par l'alimentation des lingotières de coulée continue horizontale des aciers ;

- de réaliser la régulation du débit d'un jet de métal liquide au niveau d'un orifice de sortie situé à la partie inférieure d'un récipient contenant le métal liquide.

On notera la grande souplesse d'adaptation du dispositif selon l'invention à des installations existantes du fait que ce dispositif n'impose aucune géométrie particulière, ni aucune dimension précise à la bobine ou à l'écran.

Comme il va de soi, et comme il résulte d'ailleurs déjà de ce qui précède, l'invention ne se limite nullement à ceux de ses modes de réalisation et d'application qui ont été plus spécialement envisagés ; elle en embrasse, au contraire, toutes les variantes.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour confiner un jet de métal liquide en créant sensiblement au niveau où l'on veut réaliser le confinement une surpression dans le jet au moyen d'une bobine entourant le jet à ce niveau et parcourue par un courant alternatif, caractérisé par le fait que ledit courant alternatif a une fréquence inférieure à l'inverse du produit de la perméabilité magnétique du métal liquide par la conductivité électrique de ce métal et par le carré du rayon du jet de ce métal après confinement, en unités cohérentes.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que ladite fréquence est sensiblement égale à l'inverse du produit de ladite perméabilité, par ladite conductivité et par le carré du rayon du jet métallique avant confinement, en unités cohérentes.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que, pour réaliser le passage d'un joint, on prévoit une seconde bobine entourant le jet, cette seconde bobine étant disposée sous la première bobine dans le sens d'écoulement du jet, les deux bobines étant disposées de part et d'autre du joint et étant parcourues par des courants alternatifs de même fréquence constamment en opposition de phase.

4. Dispositif pour réaliser le confinement d'un jet de métal liquide, par la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant une bobine qui entoure le jet et des moyens pour faire parcourir la bobine par un courant alternatif, caractérisé par le fait que lesdits moyens font parcourir cette bobine par un courant alternatif dont la fréquence est inférieure à l'inverse du produit de la perméabilité magnétique du métal liquide par la conductivité électrique de ce métal et par le carré du rayon du jet de ce métal après confinement, en unités cohérentes.

5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé par le fait que lesdits moyens font parcourir la bobine par un courant alternatif dont la fréquence est sensible-

ment égale à l'inverse du produit de ladite perméabilité, par ladite conductivité et par le carré du rayon du jet métallique avant confinement, en unités cohérentes.

- 5 6. Dispositif selon la revendication 4 ou 5, caractérisé par le fait qu'il comporte en outre un écran en une matière conductrice de l'électricité disposé concentriquement à la bobine et pénétrant à l'intérieur de celle-ci à partir du haut si on considère le sens de déplacement du jet.
- 10 7. Dispositif selon la revendication 4 ou 5, caractérisé par le fait que pour réaliser le passage d'un joint, on prévoit une seconde bobine entourant le jet, les deux bobines étant disposées de part et d'autre du joint et étant parcourues par des courants alternatifs de même
- 15 fréquence mais de phase opposée.

Fig.3.

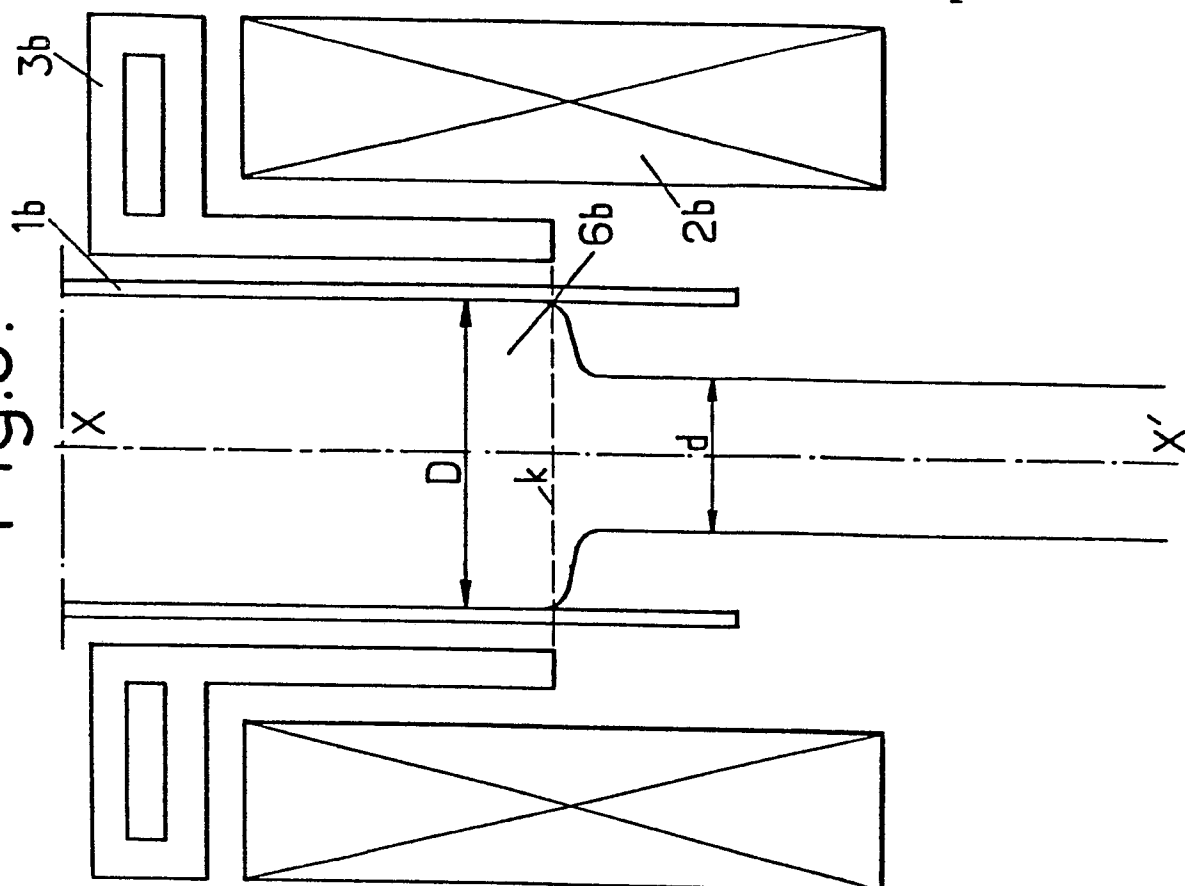
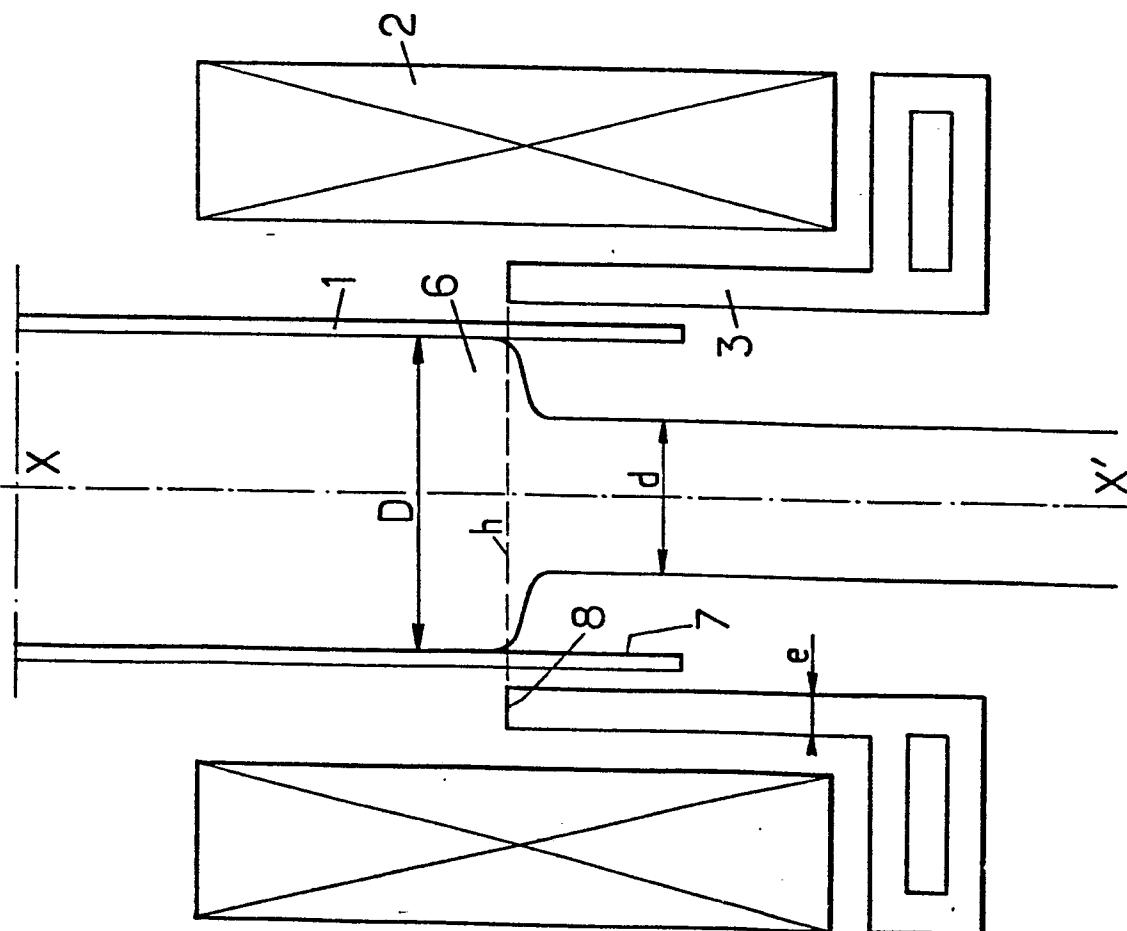


Fig.1.



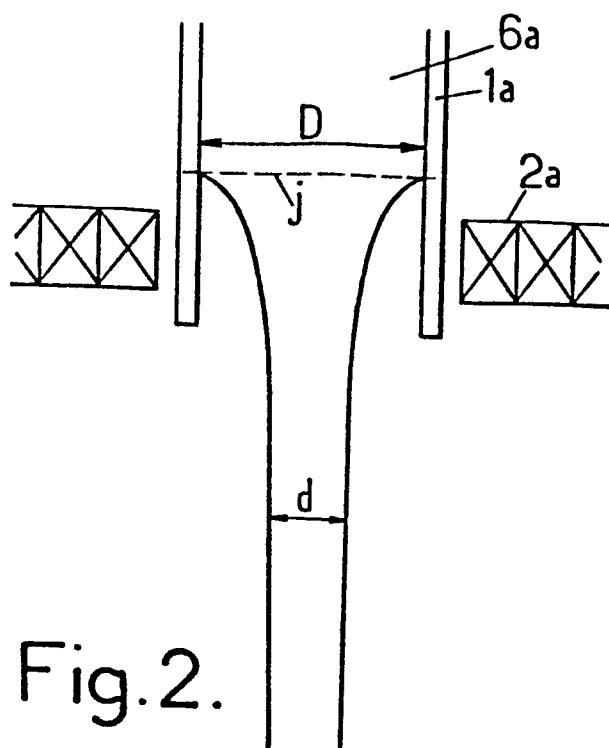


Fig. 2.

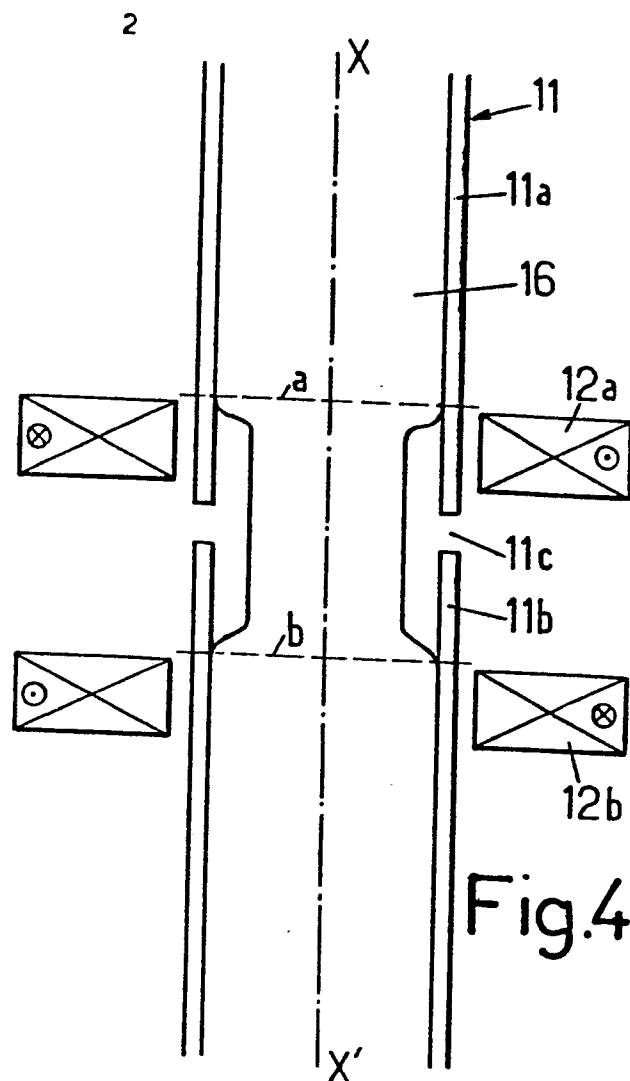


Fig. 4.

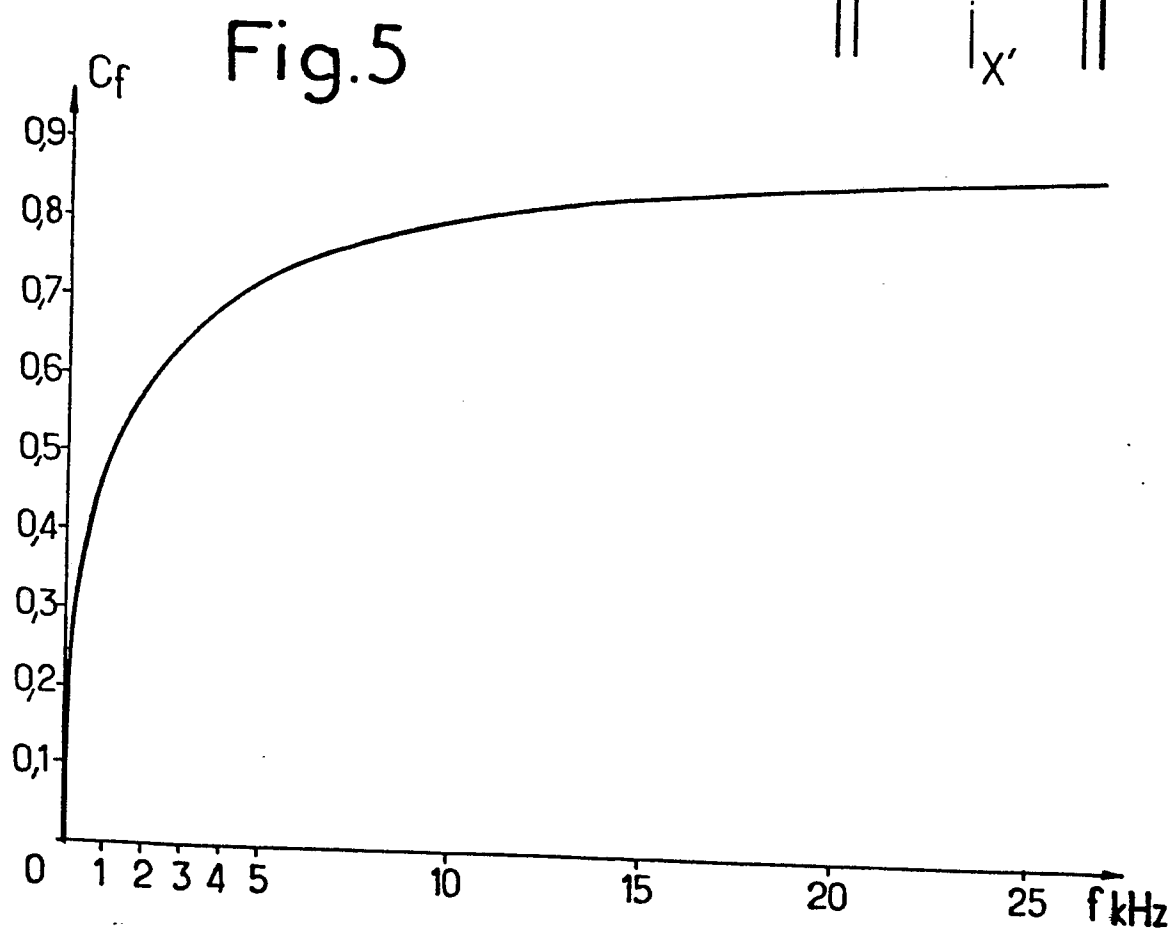


Fig. 5

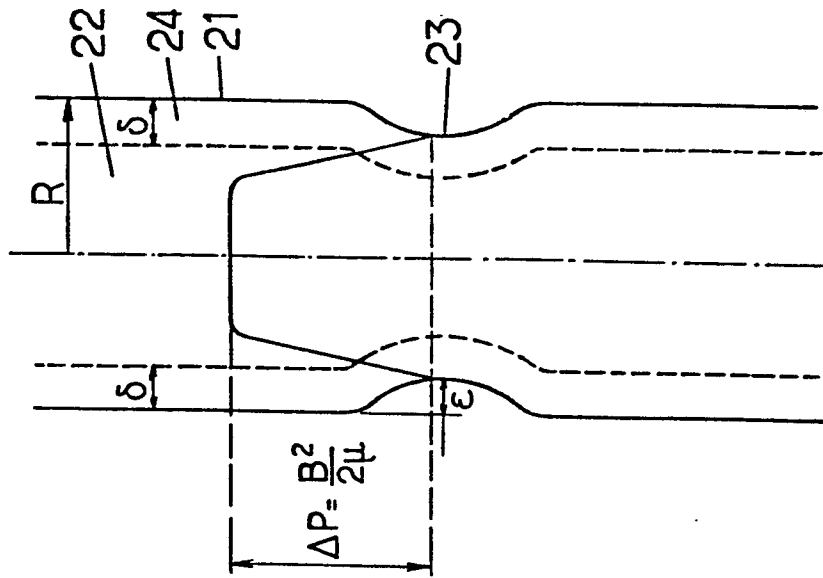


Fig.6.

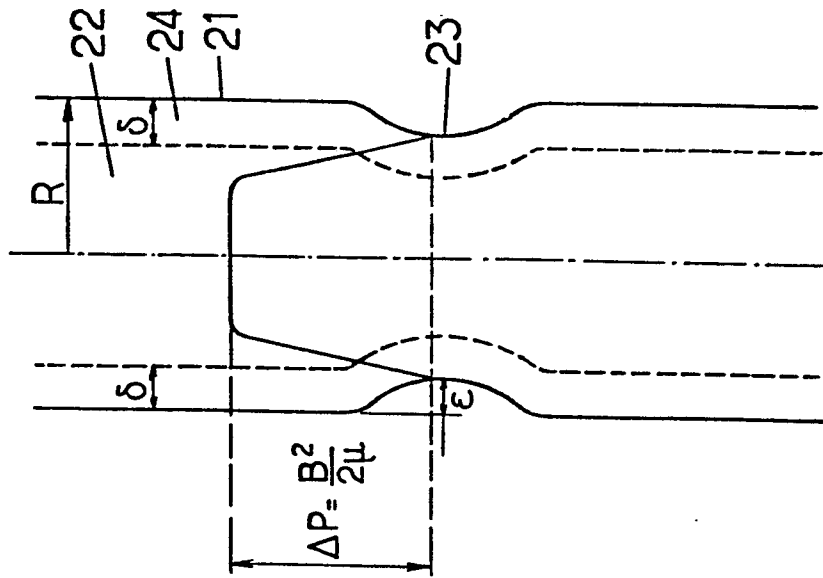


Fig.7.

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 3)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
D	FR - A - 2 316 026 (AGENCE NATIONAL DE VALORISATION DE LA RECHERCHE) * Page 6, lignes 9-32; page 9, lignes 20-35; figures 1,2 *	1-7	B 22 D 41/08 39/00
	--		
A	FR - A - 1 509 962 (ZAVOD IMENI)		
A	CH - A - 576 302 (BICC LTD.)		

			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 3)
			B 22 D 41/08 39/00 27/02 11/01
			CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES
			X: particulièrement pertinent A: arrière-plan technologique O: divulgation non-écrite P: document intercalaire T: théorie ou principe à la base de l'invention E: demande faisant interférence D: document cité dans la demande L: document cité pour d'autres raisons
			&: membre de la même famille, document correspondant
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		15-08-1980	SCHIMBERG