

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 928 644 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
18.12.2002 Bulletin 2002/51

(51) Int Cl.7: **B21B 37/56**

(21) Numéro de dépôt: **99400036.2**

(22) Date de dépôt: **08.01.1999**

(54) **Procédé de pilotage d'une opération d'écrouissage en continu d'une bande métallique**

Regelungsverfahren für kontinuierliches Nachwalzen von Stahlband

Control method for continuous skinpass rolling of metal strip

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU NL
PT SE**

(30) Priorité: **13.01.1998 FR 9800214**

(43) Date de publication de la demande:
14.07.1999 Bulletin 1999/28

(73) Titulaire: **SOLLAC**
92800 Puteaux (FR)

(72) Inventeurs:

- **Allegro, Fernand**
62370 Rumingham (FR)
- **Bertolini, Frédéric**
59254 Ghyvelde (FR)
- **Devos, Rodolphe**
59495 Lefrinckoucke (FR)
- **Mieze, Régis**
59153 Grand Fort Philippe (FR)
- **Reynoudt, Philippe**
59380 Bierne (FR)
- **Sparty, Bruno**
59229 Teteghem (FR)
- **Chauvire, Michel**
44220 Coueron (FR)
- **Revoir, Gilles**
44880 Sauteron (FR)
- **Becler, Didier**
54150 Lantefontaine (FR)
- **Silvy-Leligois, Christophe**
57000 Metz (FR)

(74) Mandataire: **Lagrange, Jacques Etienne**
USINOR
Direction Propriété Industrielle
Immeuble 'La Pacific'
11/13 Cours Valmy
La Défense 7
TSA 10001
92070 Paris La Défense Cédex (FR)

(56) Documents cités:
FR-A- 2 584 631 **US-A- 3 820 365**

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 012, no. 157 (M-696), 13 mai 1988 & JP 62 275514 A (SUMITOMO METAL IND LTD), 30 novembre 1987
- **AEBERLI K: "NEW ALUMINIUM COLD ROLLING MILL IN JAPAN PRODUCES TOP-QUALITY CAN SHEET" ENGINEERING AND AUTOMATION**, vol. 16, no. 6, 1 novembre 1994, pages 20-23, XP000506348
- **YUJI SHIMOYAMA ET AL: "KAWASAKI STEEL CONTINUOUS ANNEALING LINE AT CHIBA" IRON AND STEEL ENGINEER**, vol. 69, no. 11, 1 novembre 1992, pages 35-41, XP000336359
- **SILVY-LELIGOIS C: "REGULATION D'ALLONGEMENT EN DOUBLE REDUCTION A SOLLAC BASSE -INDRE*" CAHIERS D'INFORMATIONS TECHNIQUES DE LA REVUE DE METALLURGIE**, vol. 89, no. 12, 1 décembre 1992, pages 1101-1109, XP000354225
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 015, no. 333 (M-1150), 23 août 1991 & JP 03 128111 A (TOSHIBA CORP), 31 mai 1991

Il est rappelé 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).

EP 0 928 644 B1

- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 120 (M-1379), 12 mars 1993 & JP 04 305305 A (KAWASAKI STEEL CORP), 28 octobre 1992

- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 044 (M-195), 22 février 1983 & JP 57 193213 A (SHIN NIPPON SEITETSU KK), 27 novembre 1982

Description

[0001] L'invention concerne un procédé de pilotage d'une opération d'écrouissage et de réduction en continu d'une bande métallique dans une installation d'écrouissage, comportant au moins deux cages successives de laminage.

[0002] On entend par opération d'écrouissage et de réduction notamment une opération dénommée « skin-pass » en langue anglaise ou une opération de laminage de deuxième réduction (appelée « DR ») ; pour ce type d'opération, on utilise généralement des installations comportant au moins deux cages successives dont une seulement, dénommée cage de réduction, réalise l'essentiel de la réduction d'épaisseur de la bande ; dans le cas d'une installation à deux cages, la cage de réduction est la cage amont ou première cage, et dans la cas d'une installation à trois cages, la cage de réduction est la deuxième cage, celle du milieu de l'installation.

[0003] Une cage de laminage ou d'écrouissage de ce type d'installation comporte deux cylindres de travail tournant en sens contraires dans l'entrefer desquels une bande métallique peut être réduite et/ou écrouie ; en fonction de la force de serrage de ces cylindres, l'épaisseur de la bande métallique est réduite et sa longueur, au contraire, augmentée.

[0004] Pour une bande métallique donnée, le taux d'allongement obtenu est fonction de la force de serrage de la cage ; dans le cas d'un « skin-pass », le taux d'allongement est faible, alors que dans le cas d'une opération « DR », il peut atteindre 60% environ.

[0005] Dans ces installations, la vitesse de rotation des cylindres de deux cages successives (dénommée « vitesse de cage » en style abrégé) doit être contrôlée avec précision de manière à maintenir entre ces cages un niveau de tension de bande suffisamment élevé pour éviter l'apparition de plis mais aussi suffisamment faible pour éviter tout risque de rupture de la bande.

[0006] Entre deux cages successives, le différentiel de vitesse de cage dépend donc du taux d'allongement de la bande.

[0007] Pour le pilotage de ces installations, on mesure donc généralement d'une part le taux d'allongement de la bande au passage dans l'installation et d'autre part la tension de la bande entre les cages, et, en fonction des valeurs mesurées, on agit sur les actionneurs suivants : la force de serrage de chaque cage et la vitesse des cylindres de chaque cage.

[0008] Pour mesurer le taux d'allongement de la bande dans une cage, on procède généralement par mesure de la vitesse de bande sortante et de la vitesse de bande rentrante, le taux d'allongement se déduisant de la différence entre ces mesures de vitesse ; un tel procédé est décrit dans le brevet britannique 794 290 où les mesures de vitesse sont effectuées à l'aide de moyens tachymétriques montés sur des rouleaux support de bande en amont et en aval de l'installation.

[0009] L'invention concerne un procédé pour régler ces actionneurs en fonction de ces mesures.

[0010] Dans le cas d'une installation ne comportant que deux cages, l'article de Yuli Shimoyama et al., intitulé « Kawaski continuous annealing line at Chiba » - IRON & STEEL ENGINEER, Vol.69, n°11, 1992, p. 35-41 - décrit trois procédés de régulation à la page 37, colonne de gauche qui sont illustrés à la figure 4 de ce document :

- régulation selon le mode 1 : le taux d'allongement est régulé par la traction intercage.
- régulation selon le mode 2 (les références concernent la fig. 1 ci-après) :
 - régulation d'allongement par le rapport entre la vitesse du « bloc en S » 1' en amont et celle de la première cage 2 en aval ;
 - régulation (système « ATL » à bande morte) de la traction entre le « bloc en S » 1' et la première cage 2 en fonction du même rapport de vitesse et du serrage de la première cage 2.
- régulation selon le mode 3 identique à celle du mode 2, où l'on remplace les mesures de taux d'allongement par des mesures d'épaisseur (« THG »).

[0011] Le mode 2 est schématisé au synoptique de la figure 1, où 1', 2 et 3 désignent respectivement le « bloc en S », la première cage et la deuxième cage ; 4A et 4B le dispositif de mesure de taux d'allongement.

[0012] Dans le cas d'une installation comportant trois cages, l'article de C.SILVY-LELIGOIS intitulé « Régulation d'allongement en double réduction à Sol-lac Basse-Indre » - REVUE de MÉTALLURGIE, Vol.89, n°12, 1992, p.1101-1109 - décrit une autre stratégie de régulation :

- régulation des tractions intercages par la vitesse,
- régulation d'allongement par le serrage de la cage 2 et par la traction entre les cages 2 et 3.

[0013] Cette stratégie est schématisée ci-après à la figure 2 qui reproduit la figure 3 de l'article cité ; sur cette figure, 1, 2 et 3 désignent respectivement la première, deuxième et troisième cage et 4A, 4B le dispositif de mesure de taux d'allongement.

[0014] Enfin, la figure 3 ci-après représente l'état de la technique dans le cas d'une installation ne comportant que deux cages 2 et 3 :

- régulation de la traction intercage par la vitesse,
- régulation d'allongement par le serrage et, optionnellement, la traction intercage.

[0015] Un tel synoptique de régulation est également décrit dans le document FR 2 584 631 (MITSUBISHI).

[0016] Ainsi, comme illustré sur les figures 1 à 3, pour

piloter ce type d'installations d'écrouissage, on procède selon une double régulation :

A - régulation des vitesses de deux cages successives en fonction de la valeur de tension de la bande entre ces cages, adaptée pour éviter la rupture de bande ou l'apparition de plis.

B - régulation de la force de serrage de la cage de réduction en fonction de la différence entre le taux d'allongement de bande apporté par cette cage et une consigne prédéterminée de taux d'allongement.

[0017] La fonction de transfert de la régulation B est complexe car la loi de comportement liant la force et l'allongement n'est pas du tout linéaire; cette loi de comportement est semblable à la loi de comportement classique liant la traction et l'allongement, tel qu'illustré à la figure 4.

[0018] Selon cette loi, au fur et à mesure que l'allongement croît à partir de zéro, la traction commence par croître très fortement, puis décroît légèrement de manière irrégulière, avant de reprendre une légère croissance et de se stabiliser.

[0019] Comme les actions sur la force de serrage (actionneur de la régulation B) ont une incidence sur la valeur de tension de la bande entre deux cages (mesure de la régulation A), la boucle de régulation A va interagir dans la boucle de régulation B.

[0020] Il importe donc que le temps de réponse de la régulation A soit suffisamment rapide au regard de celui de la régulation B pour que les modifications de la force de serrage ne risquent pas de provoquer des ruptures de bande ou des plis entre deux cages successives.

[0021] Ainsi, dans ce type de procédé, la régulation B est du type « à bande morte ».

[0022] Un tel procédé de pilotage d'installation d'écrouissage présente de nombreux inconvénients au niveau de la régulation du taux d'allongement de bande (régulation B), parmi lesquels :

- un temps de réponse trop long, car il doit rester supérieur à celui de la régulation A ;
- une précision insuffisante, notamment à cause de la bande morte et de la complexité (non linéarité) de la fonction de transfert.

[0023] L'invention a pour but de remédier à ces inconvénients.

[0024] A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de pilotage d'une opération d'écrouissage et de réduction d'épaisseur en continu d'une bande métallique B dans lequel :

- on fait passer la dite bande dans l'entrefer des cylindres de travail d'au moins deux cages de laminage successives, une cage amont assurant l'essentiel de ladite réduction d'épaisseur et une cage aval,

et dans lequel, afin de régler en continu la vitesse de rotation et la force de serrage des cylindres de la cage de réduction d'épaisseur,

- 5 - on mesure le taux d'allongement de la bande apporté par cette cage,
- on mesure la tension de la bande en aval de cette cage,

10 caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

- régler la vitesse des cylindres de cette cage par rapport à celle des cylindres de la cage aval en fonction de la mesure du taux d'allongement,
- 15 - régler la force de serrage de cette cage en fonction de la mesure de tension en aval,

le temps de réponse pour le réglage de la force de serrage étant choisi très supérieur au temps de réponse pour le réglage de la vitesse.

[0025] De préférence, on règle la force de serrage de cette cage de manière à maintenir ladite tension mesurée dans une fourchette prédéterminée de valeurs, la modification éventuelle de la force de serrage n'intervenant que lorsque ladite tension de bande sort de ladite fourchette ; ce type de réglage est classiquement dénommé « régulation de type bande morte ».

[0026] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, et en référence aux figures annexées sur lesquelles :

- les figures 1 à 3 sont des synoptiques de régulation de l'art antérieur,
- la figure 4 représente une loi de comportement typique de variation de la traction (N/mm²) de la bande en fonction de son allongement (%) dans une cage de réduction et/ou d'écrouissage,
- 40 - la figure 5 représente une vue schématique en perspective d'une installation de réduction et/ou d'écrouissage à deux cages qui peut être pilotée par le procédé selon l'invention,
- les figures 6 et 7 sont des synoptiques de régulation selon l'invention,
- 45 - les figures 8 et 9 illustrent les performances de régulation d'installation d'écrouissage, exprimées en stabilité de la valeur d'allongement (%) en fonction du temps (secondes), dans le cas d'une régulation selon l'art antérieur (figure 8) et d'une régulation selon l'invention (figure 9).

[0027] Sue les figures 1 à 3, 5 à 7, par convention, le défilement de la bande s'effectue de la gauche vers la droite (voir flèche de la figure 5).

[0028] En se référant à la figure 5, l'installation d'écrouissage de bande métallique en continu comporte, dans le sens de défilement de la bande B, une dé-

rouleuse 7, un bloc en S d'entrée 1', une première cage 2 puis une deuxième cage 3, un bloc en S de sortie 5 et une enrouleuse 6.

[0029] La dérouleuse 7 et l'enrouleuse 6 sont d'un type classique et ne seront pas décrites en détail.

[0030] Les blocs « en S » 1', 5, composés de deux rouleaux de support de bande, servent d'une manière classique à faire varier la tension de la bande B ; l'un des rouleaux de chaque bloc est doté de moyens tachymétriques non représentés 4A, 4B adaptés pour mesurer avec précision la vitesse de passage de la bande B dans ces blocs 1', 5.

[0031] Chaque cage 2, 3 comporte deux cylindres de travail supportés chacun par un cylindre d'appui ; des moyens non représentés permettent de faire varier la force de serrage des cylindres de travail l'un vers l'autre ; d'autres moyens non représentés permettent de faire varier la vitesse de rotation de cylindres de travail de chaque cage.

[0032] Enfin, l'installation d'écrouissage comporte également des moyens (non représentés) pour mesurer la tension de la bande entre les cages 2 et 3.

[0033] On va maintenant décrire le fonctionnement de l'installation d'écrouissage selon l'invention.

[0034] Pendant le défilement de la bande B dans l'installation (dans le sens de la flèche apposée sur la bande B entre les cages 2 et 3 - cf. figure 5), au niveau de la dernière cage, c'est à dire de la cage 3, on ne projette aucun lubrifiant sur la bande B dans l'entrefer de cette cage de manière à n'obtenir aucun allongement ou un allongement très réduit de la bande B à ce niveau ; la force de serrage de cette cage 3 est adaptée pour régler, d'une manière connue en elle-même, la planéité de la bande B en sortie de cage ; l'allongement très réduit peut être de l'ordre de 0,1 à 0,5 % et reste suffisamment stable pour ne pas perturber la régulation.

[0035] Pendant le défilement de la bande B dans l'installation, selon l'invention, on procède alors selon la double régulation suivante :

A' - régulation des vitesses des cages successives amont 2 et aval 3 en fonction de la différence entre le taux d'allongement de bande apporté par la cage amont 2 et une consigne prédéterminée de taux d'allongement.

B' - régulation de la force de serrage de la cage amont 2 en fonction de la différence entre ladite tension mesurée entre la cage amont 2 et la cage aval 3 et une consigne prédéterminée de tension.

[0036] La figure 6 représente alors le synoptique de régulation correspondant :

- régulation de la traction intercage par le serrage de la cage amont 2,
- régulation d'allongement par la vitesse.

[0037] Pour la régulation A', la mesure de taux d'al-

longement de la cage amont 2 découle classiquement des mesures tachymétriques pratiquées en 4A, 4B au niveau du bloc en S d'entrée 1' et de sortie 5, après réduction du taux d'allongement réduit de la cage 3.

[0038] La régulation B' est de préférence du type « à bande morte », c'est à dire que l'on n'agit sur la force de serrage que si la tension de la bande sort d'une plage prédéterminée de valeurs (le maximum correspondant par exemple à un risque de rupture, le minimum par exemple à un risque d'apparition de plis).

[0039] Selon l'invention, le gain de la régulation B' doit être adapté pour que le temps de réponse de cette régulation soit largement supérieur au temps de réponse de la régulation A'.

[0040] En variante, l'opération de régulation B' peut même être réalisée « manuellement » par l'opérateur de l'installation.

[0041] Cette nouvelle configuration de la régulation de l'installation d'écrouissage apporte les avantages suivants :

- une très grande précision du taux d'allongement de la bande : pour des taux d'allongement correspondant à une opération de « skin-pass » et généralement compris entre 0,4% et 4%, on atteint une précision de $\pm 0,05$ %.
- une très grande « robustesse » de régulation, car la fonction de transfert de la régulation A' est linéaire puisque ce sont des mesures de vitesse de bande qui agissent sur un actionneur de vitesse.
- une très grande régularité dans la précision et un temps de réponse très court, ce qui permet de diminuer sensiblement le chutage de bande ; l'actionneur de vitesse étant beaucoup plus rapide que l'actionneur de serrage, pour la régulation A', on atteint un temps de réponse de 200 ms.

[0042] Ces avantages permettent de limiter le chutage de bande en production.

[0043] Dans le cas d'une installation de laminage et/ou d'écrouissage comportant trois cages successives 1, 2 et 3, et où la cage 2 est la cage de réduction, on peut mettre en oeuvre l'invention de la manière suivante :

- la première cage 1 joue le rôle du « bloc en S » 1' de l'installation précédemment décrite, sa vitesse servant à régler la traction devant la deuxième cage 2 (voir figure 7) ; cette première cage ne réalise quasiment aucun allongement comme la dernière cage 3 de l'exemple précédent ; cette première cage a donc une fonction de « pinceur » de bande.
- les deux autres cages fonctionnent comme les cages 2 et 3 de l'exemple précédent.

[0044] La stratégie de régulation selon l'invention est illustrée dans ce cas à la figure 7 :

- régulation de la première traction intercage par la

- vitesse, comme dans l'art antérieur (figure 2),
- régulation de la deuxième traction intercage, en aval de la cage 2, par le serrage de la cage 2, qui est la cage qui applique la réduction d'épaisseur principale,
 - régulation d'allongement par la vitesse relative des cages 2 et 3.

[0045] L'exemple suivant illustre les avantages apportés par l'invention.

Exemple :

[0046] Cet exemple a pour but de comparer les performances de la régulation selon l'invention par rapport à celles d'une régulation classique de l'art antérieur dans le cas d'une opération de laminage de bande d'acier effectué après recuit (appelé « double réduction »).

[0047] Pour évaluer les performances, on mesure le taux d'allongement de la bande (%) en fonction du temps (secondes) face à une perturbation volontaire provoquée sur la cage de réduction, et on évalue les fluctuations de ce taux d'allongement ; les performances de la régulation sont d'autant meilleures que ces fluctuations sont faibles ou que le taux d'allongement est stable.

[0048] La figure 8 illustre ces fluctuations dans le cas classique où les tractions sont régulées par la vitesse et où l'allongement (ou épaisseur) de bande est régulé soit directement par le serrage de la cage de réduction soit indirectement par la traction intercage avec recentrage par le serrage de la cage de réduction ; on constate des fluctuations importantes de l'allongement : ± 3 % autour de la valeur moyenne de 37,5 %.

[0049] La figure 9 illustre, face à la même perturbation, ces fluctuations dans le cas où, selon l'invention, la traction intercage est régulée par le serrage de la cage de réduction et où l'allongement est régulé directement par la vitesse de la dernière cage ; on constate que l'allongement reste quasiment constant, les fluctuations étant réduites d'un facteur d'au moins 5 par rapport au cas précédent.

Revendications

1. Procédé de pilotage d'une opération d'écrouissage et de réduction d'épaisseur en continu d'une bande métallique B dans lequel :

- on fait passer la dite bande dans l'entrefer des cylindres de travail d'au moins deux cages de laminage successives, une cage amont (2) assurant l'essentiel de ladite réduction d'épaisseur et une cage aval (3),

et dans lequel, afin de régler en continu la vi-

tesse de rotation et la force de serrage des cylindres de la cage de réduction d'épaisseur (2),

- on mesure le taux d'allongement de la bande apporté par cette cage (2),
- on mesure la tension de la bande en aval de cette cage (2),

caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

- régler la vitesse des cylindres de cette cage (2) par rapport à celle des cylindres de la cage aval (3) en fonction de ladite mesure du taux d'allongement,
- régler la force de serrage de cette cage (2) en fonction de ladite mesure de tension en aval,

le temps de réponse pour le réglage de la force de serrage étant choisi très supérieur au temps de réponse pour le réglage de la vitesse.

2. Procédé selon la revendication 1 **caractérisé en ce que** l'on règle la force de serrage de cette cage (2) de manière à maintenir ladite tension mesurée dans une fourchette prédéterminée de valeurs, la modification éventuelle de la force de serrage n'intervenant que lorsque ladite tension de bande sort de ladite fourchette.

Claims

1. Method of controlling a skin-pass/thickness-reduction operation carried out continuously on a metal strip B, in which:

- the said strip is made to pass between the nip of the work rolls of at least two successive rolling stands, an upstream stand (2) providing most of the said thickness reduction and a downstream stand (3) ; and in which, so as to continuously regulate the speed of rotation and the roll force of the rolls of the thickness-reduction stand (2);
- the degree of elongation of the strip provided by this stand (2) is measured;
- the tension in the strip downstream of this stand (2) is measured;

characterized in that it comprises the steps consisting in:

- adjusting the speed of the rolls of this stand (2) with respect to that of the rolls of the downstream stand (3) according to the said measurement of the degree of elongation;
- adjusting the roll force of this stand (2) accord-

ing to the said downstream tension measurement, the response time for adjusting the roll force being chosen to be very much longer than the response time for adjusting the speed.

5

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the roll force of this stand (2) is adjusted so as to keep the said measured tension within a predetermined range of values, the possible modification to the roll force being made only when the said strip tension departs from the said range.

10

Patentansprüche

15

1. Verfahren zum Steuern einer kontinuierlichen Kaltverformung und zur Dickenreduktion eines Metallbandes B, bei welchem das Metallband den Spalt der Arbeitswalzen von mindestens zwei aufeinanderfolgenden Walzgerüsten durchläuft, die ein Vorgerüst (2) zur Erzielung der wesentlichen Dickenreduktion und ein Nachgerüst (3) enthalten, und bei dem zur kontinuierlichen Regelung der Drehgeschwindigkeit und der Walzkraft der Walzen des Dickenreduktionsgerüstes (2) das Längungsverhältnis des durch dieses Gerüst (2) laufenden Bandes und die Bandspannung hinter diesem Gerüst (2) gemessen werden,

20

25

gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

30

- Steuern der Geschwindigkeit der Walzen dieses Gerüsts (2) relativ zu derjenigen der Walzen des Nachgerüsts (3) in Abhängigkeit von dem gemessenen Längungsverhältnis,
- Steuern der Walzkraft dieses Gerüsts (2) in Abhängigkeit von der danach gemessenen Spannung,

35

wobei die Ansprechzeit zur Steuerung der Walzkraft viel größer als die Ansprechzeit zur Steuerung der Geschwindigkeit gewählt wird.

40

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Walzkraft dieses Gerüsts (2) so eingestellt wird, dass die gemessene Spannung in einem vorbestimmten Wertebereich bleibt und eine eventuelle Änderung der Walzkraft nur erfolgt, wenn die Spannung des Bandes außerhalb dieses Bereichs liegt.

45

50

55

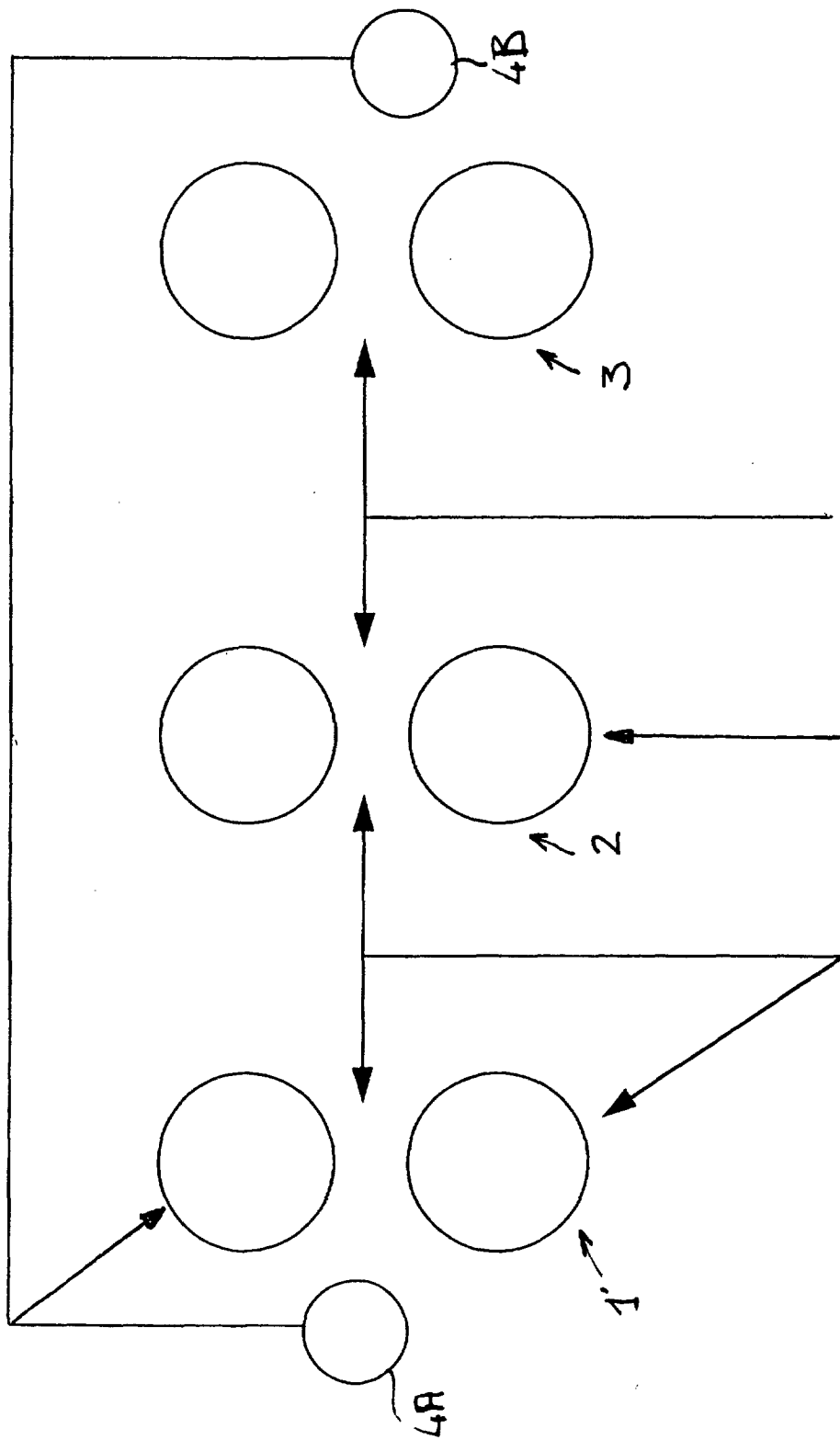


Fig.1

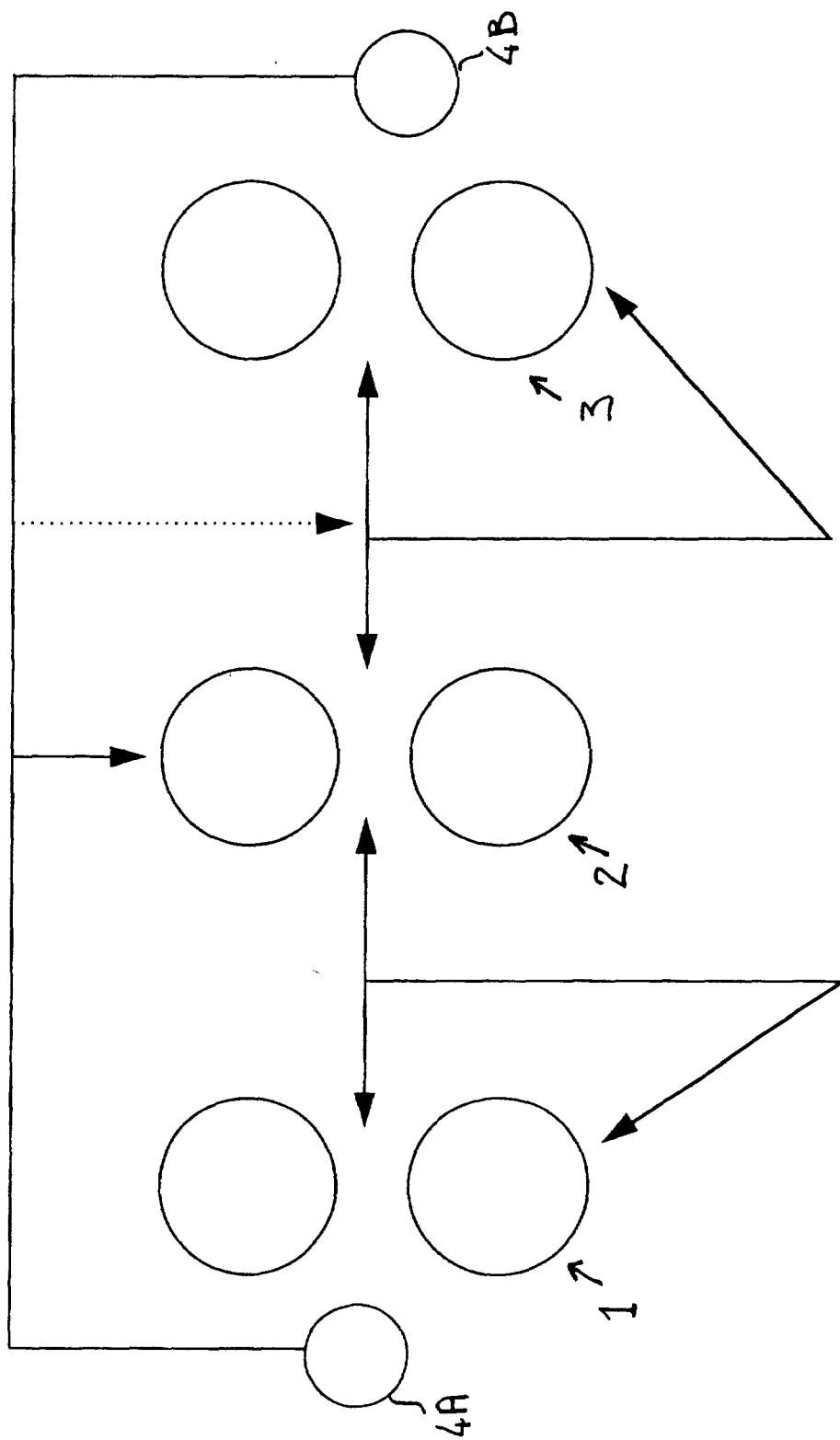


Fig.2

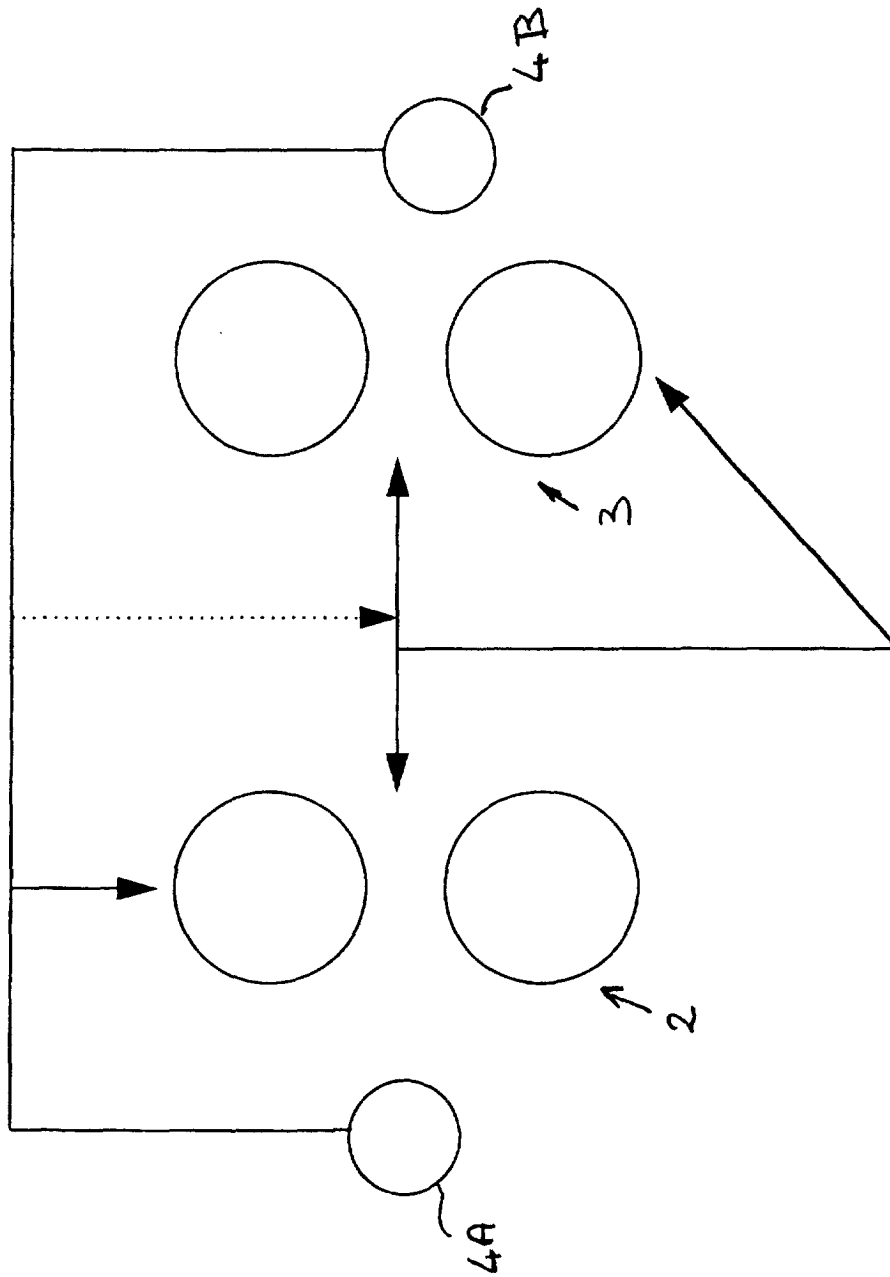


Fig.3

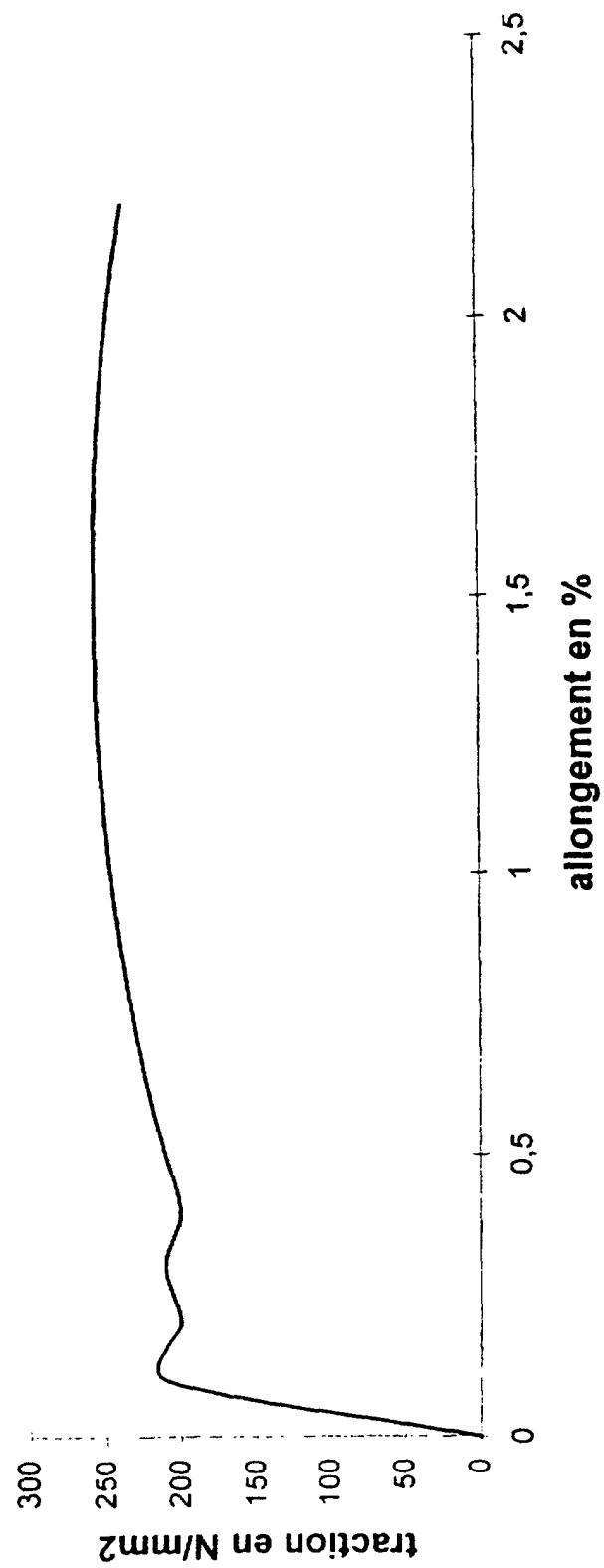


Fig.4

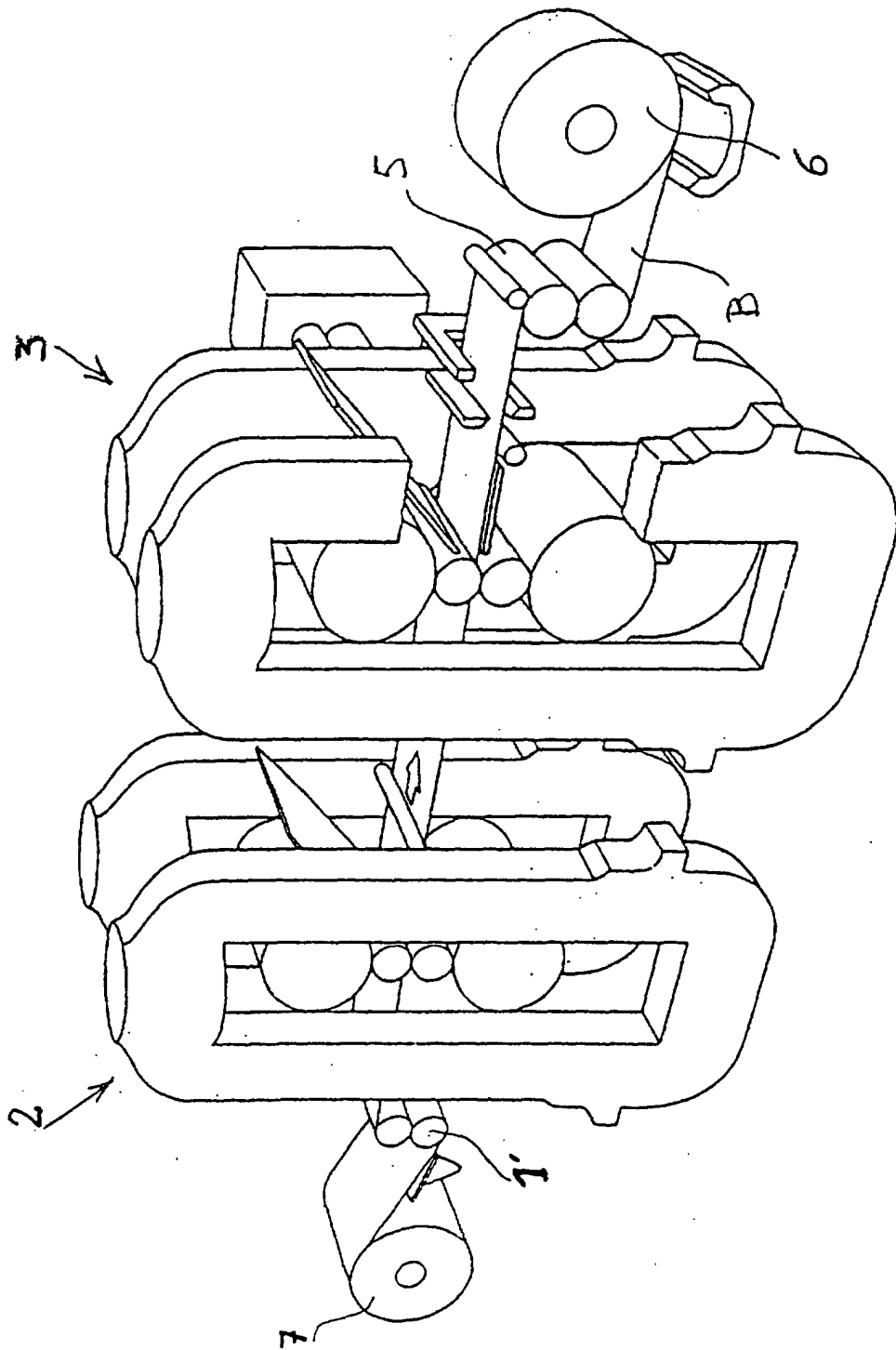


Fig. 5

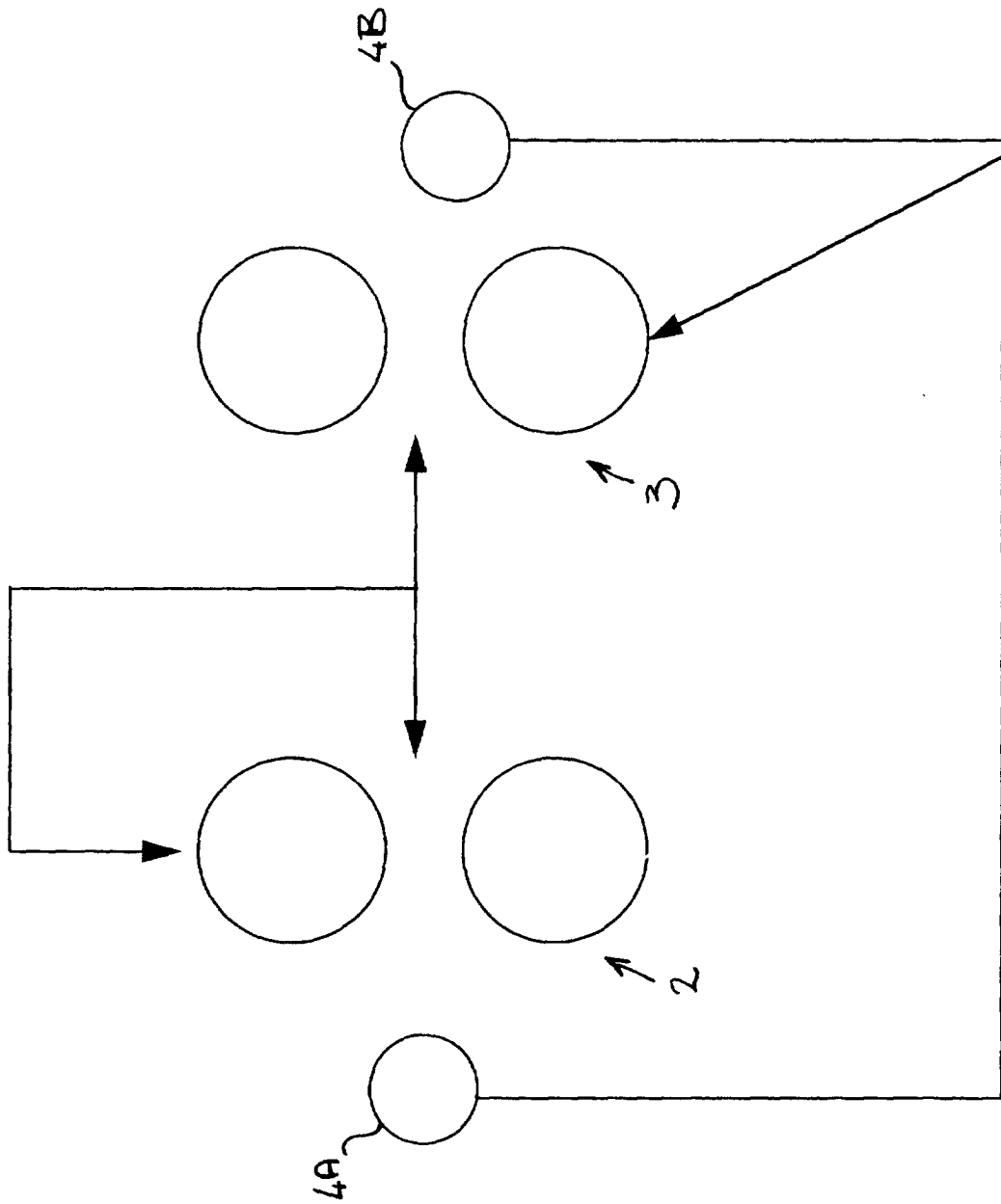


Fig.6

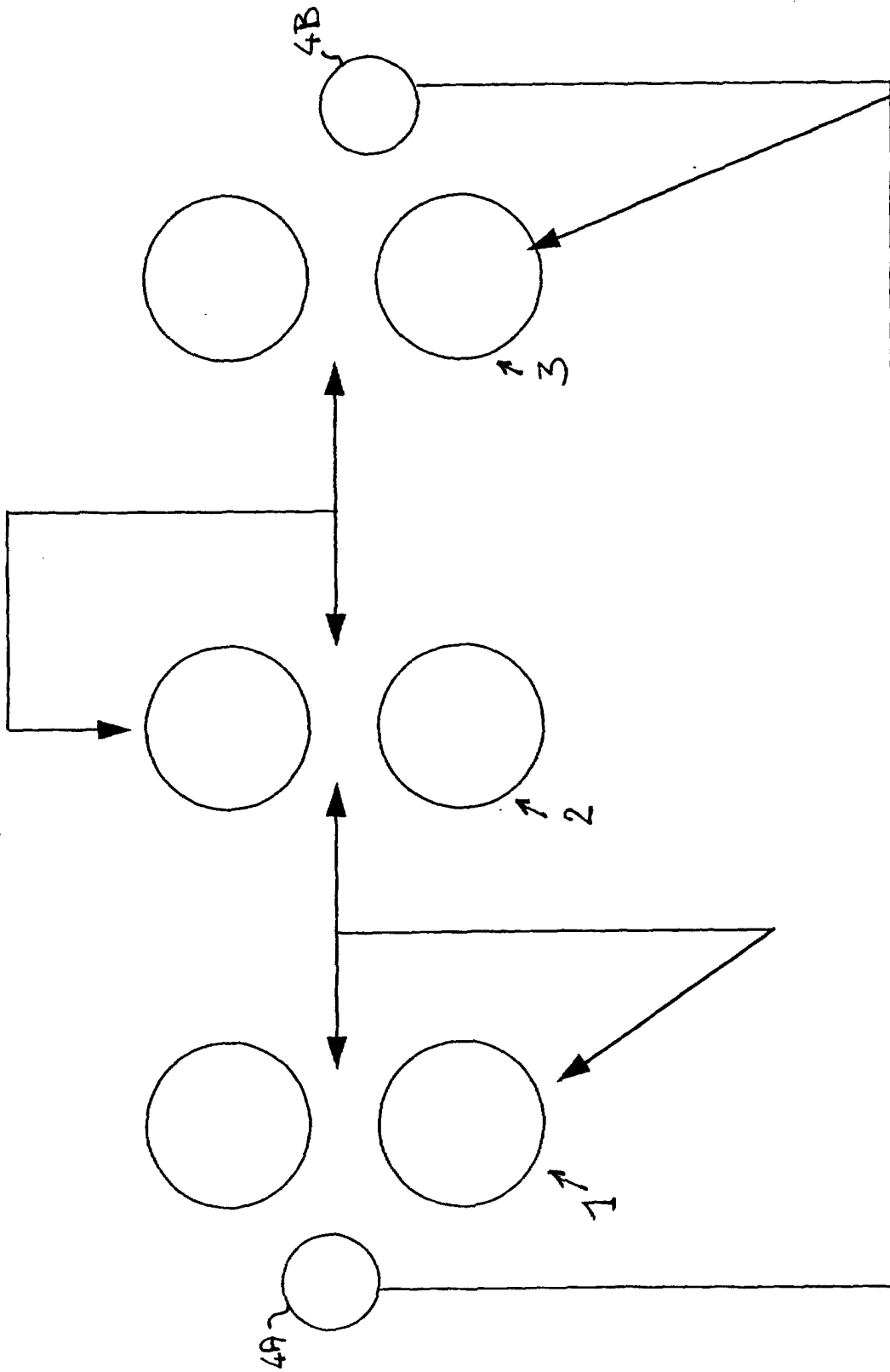


Fig.7

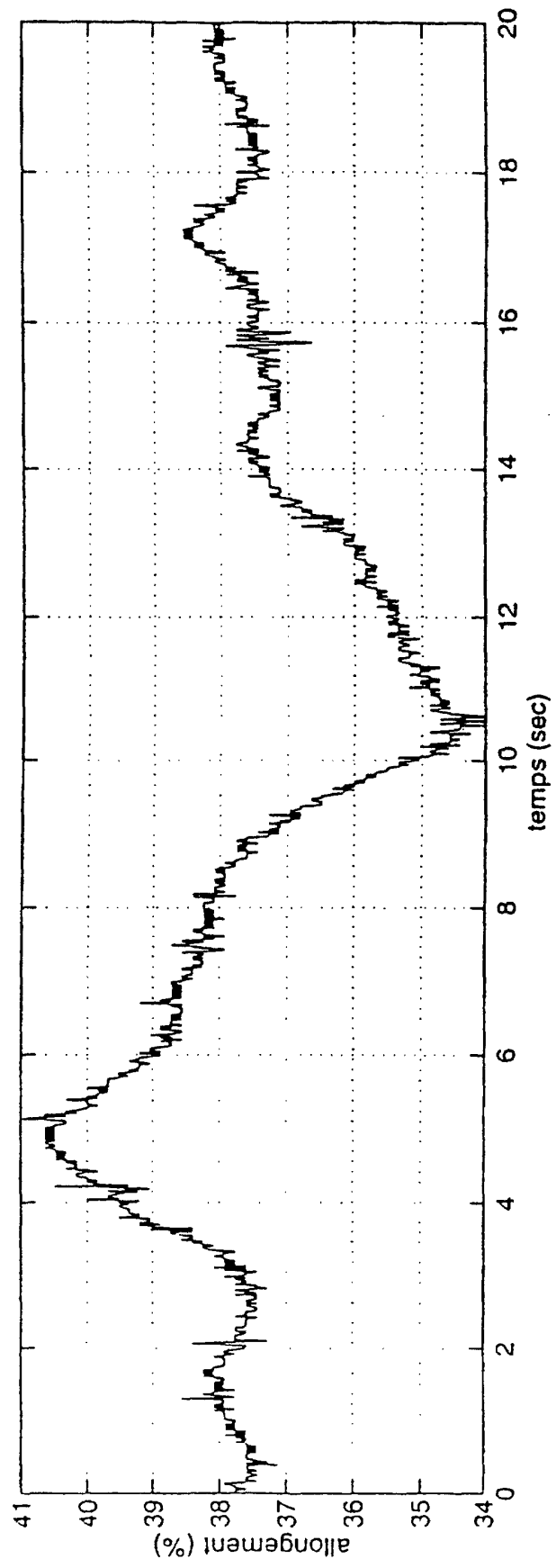


Fig.8

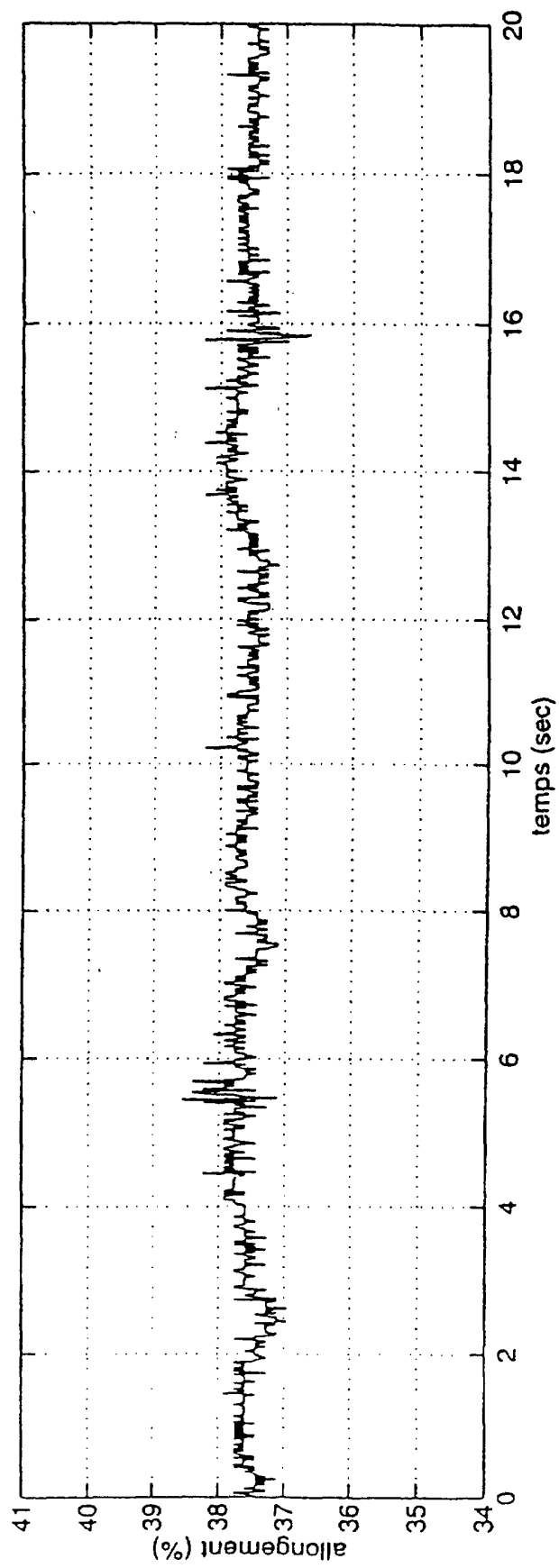


Fig.9