



(22) Date de dépôt/Filing Date: 1995/12/19

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 1996/06/30

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2005/02/08

(30) Priorité/Priority: 1994/12/29 (94 15981) FR

(51) Cl.Int.<sup>6</sup>/Int.Cl.<sup>6</sup> B22D 11/16

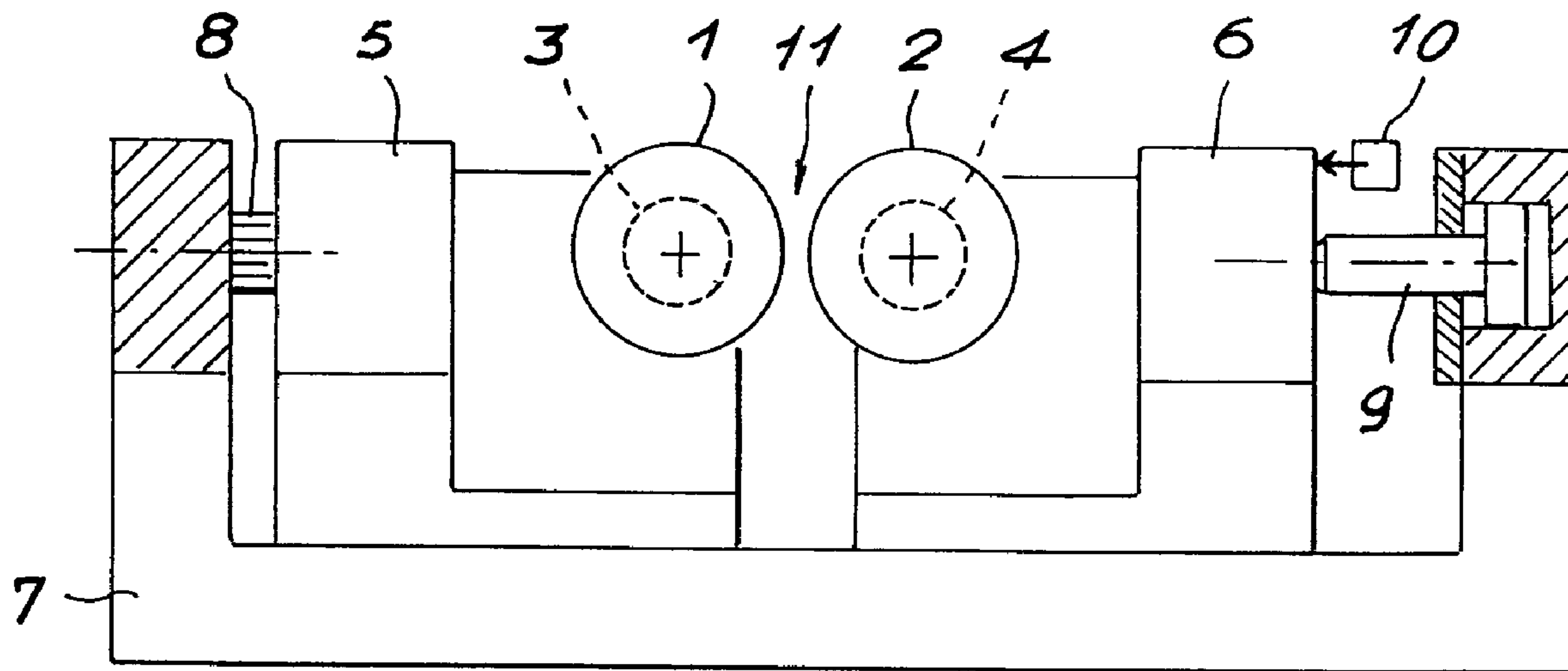
(72) Inventeurs/Inventors:  
FELLUS, GILLES, FR;  
LECLERCQ, YVES, FR;  
MAZODIER, FRANCOIS, FR;  
VENDEVILLE, LUC, FR;  
BREVIERE, YANN, FR;  
SALVADO, OLIVIER, FR

(73) Propriétaires/Owners:  
THYSSEN STAHL AKTIENGESELLSCHAFT, DE;  
USINOR, FR

(74) Agent: OGILVY RENAULT

(54) Titre : PROCÉDE DE REGULATION POUR LA COULEE CONTINUE ENTRE CYLINDRES

(54) Title: CONTROL PROCESS FOR CONTINUOUS CASTING BETWEEN CYLINDERS



(57) Abrégé/Abstract:

Procédé de régulation pour la coulée continue entre cylindres, selon lequel, au cours de la coulée, on mesure l'effort d'écartement RSF des cylindres, et on agit sur la position des paliers d'au moins un des cylindres pour augmenter ou diminuer l'entraxe entre les dits cylindres, caractérisé en ce que, en vue de maintenir le dit effort sensiblement constant, on prédéfinit une fourchette de valeurs d'effort ( $\Delta RSF$ ) encadrant un effort nominal ( $RSF_0$ ) souhaité, et on agit sur la position des paliers plus vivement lorsque la valeur de l'effort mesuré est en dehors de la dite fourchette que lorsqu'elle est comprise dans la dite fourchette. Application notamment à la coulée continue entre cylindres de bandes minces en acier.

## ABREGE

Procédé de régulation pour la coulée continue entre cylindres, selon lequel, au cours de la coulée, on mesure l'effort d'écartement RSF des cylindres, et on agit sur la position des paliers d'au moins un des cylindres pour augmenter ou diminuer l'entraxe entre les dits cylindres, caractérisé en ce que, en vue de maintenir le dit effort sensiblement constant, on prédéfinit une fourchette de valeurs d'effort ( $\Delta$ RSF) encadrant un effort nominal ( $RSF_0$ ) souhaité, et on agit sur la position des paliers plus vivement lorsque la valeur de l'effort mesuré est en dehors de la dite fourchette que lorsqu'elle est comprise dans la dite fourchette.

Application notamment à la coulée continue entre cylindres de bandes minces en acier.

Procédé de régulation pour la coulée continue entre  
cylindres.

La présente invention concerne la coulée continue entre cylindres de produits métalliques minces, notamment en acier.

Selon cette technique connue, le produit fabriqué, par exemple une bande mince en acier de quelques millimètres d'épaisseur, est obtenue en déversant le métal en fusion dans un espace de coulée défini entre deux cylindres d'axes parallèles, refroidis et entraînés en rotation en sens contraire. Au contact des parois froides des cylindres, le métal se solidifie et les peaux de métal solidifiées, entraînées par la rotation des cylindres, se rejoignent au niveau du col entre les cylindres, pour former la dite bande, extraite vers le bas.

L'exploitation du procédé de coulée entre cylindres est soumise à diverses contraintes relatives tant au produit coulé qu'à la mise en oeuvre de l'installation de coulée.

La bande coulée doit en particulier avoir une section correspondant, en forme et dimensions, à la section souhaitée.

Ceci implique que l'entrefer au col entre les cylindres, c'est-à-dire la distance entre les deux cylindres, soit sensiblement égale à l'épaisseur souhaitée de la bande. En fait, comme la bande obtenue est classiquement soumise ultérieurement à un laminage, la précision de l'épaisseur est moins importante que sa régularité sur toute la longueur de la bande. Ainsi, un écart de quelques dixièmes de millimètres sur l'épaisseur par rapport à l'épaisseur souhaitée n'est pas préjudiciable à l'obtention d'un produit fini de qualité, après laminage, alors que des variations rapides d'épaisseur selon la direction longitudinale de la bande coulée pourront se répercuter sur le produit fini, malgré

le dit laminage.

Du point de vue de la mise en oeuvre du procédé de coulé, la contrainte principale est bien sûr d'obtenir une bande continue, et il est donc nécessaire d'assurer  
5 l'extraction de la bande, et que cette bande soit suffisamment solidifiée lors de son extraction. Une sur-solidification du métal en amont du col n'est pas forcément préjudiciable dans le cas de la coulée de métaux relativement malléables, par exemple l'aluminium, mais  
10 elle est inacceptable pour des métaux plus durs, tels que l'acier, car alors une telle sur-solidification conduit soit à la formation d'un coin de métal au-dessus du col, empêchant l'extraction, soit à une détérioration des cylindres lors du passage entre eux du métal excessivement  
15 solidifié.

Inversement, une solidification insuffisante conduit à des percées et à une rupture de la bande en aval du col.

Pour éviter ces deux causes de dysfonctionnement, il est connu de jouer sur l'écartement des cylindres, en les  
20 rapprochant en cas de solidification insuffisante, ou en les écartant en cas de sur-solidification, de manière que le fond du puits de solidification, entre les peaux de métal solidifiées au contact des parois des cylindres, soit maintenu au niveau du col.

25 Il en résulte inévitablement des variations longitudinales d'épaisseur du produit obtenu lorsque les conditions de solidification varient en cours de coulée, pour diverses raisons, notamment lors du démarrage, pendant les premiers tours des cylindres et leur mise en  
30 température de régime. Or, ces variations sont inacceptables du point de vue de la qualité de la bande coulée.

Aux problèmes indiqués ci-dessus, s'ajoutent encore notamment ceux liés au faux-rond des cylindres : la  
35 circularité parfaite des cylindres ne pouvant pas en pratique être obtenue, il en résulte que, pour une

position fixe des paliers supportant les cylindres, l'écartement entre ces derniers varie cycliquement lors de leur rotation. On notera de plus que, au faux-rond initial des cylindres, à froid, se superposent les défauts de  
5 circularité générés par les déformations d'origine thermique dues aux échauffements et refroidissements cycliques de la surface des cylindres à chaque tour.

On connaît déjà diverses méthodes de régulation tendant à apporter une solution à l'un ou à plusieurs des  
10 problèmes évoqués précédemment.

Ainsi, on connaît, par exemple par EP-A-123 059 et EP-A--0194 628, un procédé de coulée selon lequel, pour éviter une détérioration des cylindres de coulée en cas de sursolidification du métal coulé, on agit sur l'écartement  
15 des cylindres en fonction de l'effort d'écartement exercé sur ceux-ci par le produit coulé, cet effort étant supposé représentatif de l'état de solidification du métal. Mais cette méthode conduit, comme on l'a vu précédemment, à des variations longitudinales d'épaisseur de la bande obtenue.

On connaît aussi, par les documents précités une méthode selon laquelle on fait varier la vitesse des cylindres (donc la vitesse de coulée) en fonction des variations d'écartement ou d'effort. Cette méthode, basée sur le fait que, si la vitesse augmente, le temps de  
20 solidification du métal en fusion au contact des cylindres est réduit, et donc la solidification est moindre (et inversement), ne permet cependant pas de réagir suffisamment rapidement pour éviter les problèmes de sur ou sous-solidification qui peuvent apparaître brusquement.  
25 De ce fait, elle ne peut pratiquement être utilisée qu'en combinaison avec la méthode précédente de réglage de l'écartement en fonction de l'effort d'écartement.  
30

On connaît encore un procédé de coulée selon lequel on agit sur la position des paliers des cylindres pour  
35 tenir compte des défauts de circularité de la surface des cylindres en mesurant ces défauts de circularité et en

corrigeant en conséquence la position des paliers en fonction de l'angle de rotation des cylindres. Cette méthode ne permet cependant pas, comme on le comprendra aisément, de résoudre les problèmes liés à l'état de solidification du métal coulé.

La présente invention a pour but de résoudre conjointement les problèmes évoqués ci-dessus, et vise particulièrement à permettre :

- de couler sans risque de rupture de la bande ou de percées,

- d'éviter l'endommagement des cylindres,

- d'éviter ce qui est appelé "zones brillantes" sur les cylindres, qui sont le signe de fortes concentrations d'effort d'écartement, et qui reflètent une modification localisée de l'état de surface (rugosité) des cylindres, préjudiciable à la régularité ultérieure de la solidification de la première peau solidifiée,

- et surtout, d'obtenir une bande de métal d'épaisseur la plus constante possible sur toute sa longueur, et l'obtention de cette épaisseur régulière le plus rapidement possible après le début de la coulée.

Avec ces objectifs en vue, l'invention a pour objet un procédé de régulation pour la coulée continue entre cylindres, selon lequel, au cours de la coulée, on mesure l'effort d'écartement des cylindres, et on agit sur la position des paliers d'au moins un des cylindres pour augmenter ou diminuer l'entraxe entre les dits cylindres, caractérisé en ce que, en vue de maintenir le dit effort sensiblement constant, on prédéfinit une fourchette de valeurs d'effort encadrant un effort nominal souhaité, et on agit sur la position des paliers plus vivement lorsque la valeur de l'effort mesuré est en dehors de la dite fourchette que lorsqu'elle est comprise dans la dite fourchette.

Ainsi, conformément à l'invention, on tient compte de l'importance de l'écart entre l'effort d'écartement

mesuré et l'effort nominal souhaité pour agir sur la position des paliers de cylindres : tant que l'effort reste dans la fourchette prédéterminée, c'est-à-dire qu'il s'écarte relativement peu de la valeur d'effort nominal, la réaction consistant à déplacer les paliers des cylindres pour compenser cette variation d'effort sera modérée, ou même nulle, alors que si l'effort sort de la dite fourchette, la réaction sera plus vive.

Selon une disposition particulière de l'invention, la position des paliers étant réglée sur une position de consigne, la dite position de consigne est fixée par une valeur de position de référence  $d_r$ , déterminée en apportant à une valeur  $d_0$  de consigne initiale de position des paliers une valeur corrective  $\Delta d$  variable en fonction de la différence entre l'effort d'écartement mesuré et l'effort nominal, la dite valeur corrective étant plus importante lorsque l'effort mesuré est en dehors de la dite fourchette que lorsqu'il est compris dans la dite fourchette.

Préférentiellement, la modulation de l'intensité de l'action corrective, en réponse à un écart entre la valeur de consigne de l'effort d'écartement et sa valeur effective mesurée, est effectuée en apportant au signal  $E$  représentatif de cet écart une correction, définie par une fonction  $f$ , telle qu'elle réduit l'intensité de ce signal lorsque l'effort mesuré est compris dans la fourchette prédéfinie, et c'est le signal ainsi corrigé  $E'=f(E)$  qui est ensuite utilisé dans la boucle de régulation pour générer la valeur corrective  $\Delta d$  qui est ajoutée à la valeur  $d_0$  de consigne initiale de position des paliers pour former la valeur de position de référence  $d_r$ , utilisée à son tour comme consigne dans une boucle de régulation de type classique pour la régulation de position des paliers.

Comme la vitesse de déplacement des paliers est classiquement, dans une telle boucle de régulation, en

proportion avec l'écart entre la position effective des paliers et la position de consigne, il s'ensuit que l'action sur la position des paliers est d'autant plus vive que la dite valeur de position de référence est éloignée de la valeur de la mesure de position réelle. Et  
5 comme la dite correction a pour effet de déplacer la position de consigne au-delà de la position de consigne initiale, et dans le sens conduisant à accroître l'écart entre position de consigne et position effective des  
10 paliers, et ceci d'autant plus que l'effort mesuré est éloigné de l'effort nominal, il s'ensuit que la réactivité de la régulation de position des paliers est accrue lorsque l'effort mesuré sort de la dite fourchette.

Autrement dit, la dite correction conduit à générer  
15 une valeur de position de référence artificielle, qui définit une position de consigne décalée par rapport à la position de consigne initiale dans le sens conduisant classiquement à compenser une variation de l'effort d'écartement, c'est à dire dans le sens d'un écartement  
20 des cylindres en réponse à une augmentation du dit effort d'écartement et réciproquement. Et comme cette valeur de position de référence, utilisée comme consigne pour la régulation de position des paliers, se trouve alors éloignée de la valeur de la mesure de position réelle des  
25 paliers, cette régulation va réagir plus vivement, pour déplacer les paliers, que si la position de consigne était restée la position de consigne initiale.

Selon un mode de réalisation particulier, le signal corrigé E' est croissant en fonction de la différence  
30 entre l'effort d'écartement mesuré et l'effort nominal. Dans ce cas, plus l'écart entre l'effort mesuré et l'effort nominal est grand, plus vive sera la réaction. Préférentiellement alors, le signal corrigé E' croît plus rapidement lorsque l'effort mesuré est en dehors de la  
35 dite fourchette que lorsqu'il est compris dans la dite fourchette. Il s'ensuit alors que non seulement la

réactivité croît avec le dit écart entre effort mesuré et effort nominal, mais elle croît d'autant plus rapidement que l'écart est grand.

Selon un autre mode de réalisation, le signal corrigé est nul lorsque la valeur de l'effort mesuré est comprise dans la dite fourchette, et croissant en fonction de la différence entre l'effort d'écartement mesuré et l'effort nominal lorsque la valeur de l'effort mesuré est en dehors de la dite fourchette. Dans ce cas, tant que l'effort mesuré reste dans la dite fourchette, la régulation de position des paliers agit normalement pour maintenir ceux-ci à la position de consigne initiale, ce qui revient à tolérer les variations d'effort sans chercher à les compenser par un déplacement des paliers, tant qu'elles restent dans la dite fourchette. Par contre, dès que l'effort mesuré sort de cette fourchette, l'action sur la position des paliers sera d'autant plus vive que l'effort mesuré s'éloigne des bornes de la fourchette.

Selon une autre disposition particulière, la correction est réduite après une durée de démarrage prédéterminée. Ainsi, on ajoute à la modulation, expliquée ci-dessus, de l'intensité de l'action corrective en fonction de l'effort mesuré, une modulation supplémentaire en fonction de la phase de coulée. Cette modulation permet d'accroître encore la réactivité de la régulation pendant la période de démarrage, de manière à obtenir le plus rapidement possible un régime stable, et de réduire cette réactivité une fois ce régime sensiblement stable obtenu, de manière à éviter alors qu'un pic d'effort de très courte durée, survenant après la période de démarrage, conduise à une variation sensible d'écartement des cylindres, comme cela serait le cas lors de la dite période de démarrage. On notera que cette seconde modulation s'applique indépendamment du fait que l'effort mesuré soit dans la dite fourchette ou hors de celle-ci.

De manière similaire, et avec un effet sensiblement

équivalent, la fourchette d'effort pourra être relativement étroite pendant la période de démarrage, et être élargie ensuite.

Les deux dernières disposition ci-dessus visent :

- 5 - à assurer une très forte réactivité de la régulation pendant la phase de démarrage, pour compenser au mieux les variations brusques des paramètres de coulée survenant lors de la mise en régime de l'installation et dues à la mise en vitesse des cylindres, à leur mise en  
10 température et à leurs déformations consécutives, en privilégiant alors l'aspect continuité de la coulée, quitte à tolérer des variations d'entrefer,
- et à réduire ensuite cette réactivité pour privilégier la constance de l'épaisseur du produit coulé,  
15 et en tolérant plus facilement d'éventuels pics d'effort sans agir (ou avec une action modérée) sur la position des paliers.

D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront dans la description qui va être faite à titre d'exemple  
20 d'un procédé de coulée en continue entre cylindres de bandes minces en acier.

On se reportera aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue frontale schématique d'un dispositif de coulée entre cylindre de type connu en soi,  
25 - la figure 2 est un schéma de la boucle de régulation utilisée conformément à l'invention pour réguler l'effort d'écartement des cylindres,
- la figure 3 est une représentation de la courbe de correction de l'effort d'écartement mesuré, utilisé dans  
30 la boucle de régulation de la figure 2,
- les figures 4 et 5 sont des représentations graphiques montrant l'évolution en fonction du temps, au début de la coulée, de la vitesse d'extraction, de l'angle de rotation d'un point de la surface d'un cylindre, de la  
35 position des paliers du cylindre mobile, et de l'effort d'écartement des cylindres exercé par le produit coulé ;

- les figures 6 et 7 illustrent deux variantes de la correction d'effort  $E' = f(E)$ .

L'installation de coulée, représentée seulement partiellement à la figure 1, comporte de manière classique, et connue en soi, deux cylindres 1, 2, d'axes parallèles, espacés l'un de l'autre d'une distance correspondant à l'épaisseur souhaitée de la bande coulée. Les deux cylindres 1, 2 sont entraînés en rotation de sens contraire, à même vitesse. Ils sont portés par des paliers 3, 4, schématiquement représentés, de deux supports 5, 6 montés sur un châssis 7. Le support 5, et donc l'axe du cylindre 1 correspondant, est fixe par rapport au châssis 7. L'autre support 6 est mobile en translation sur le châssis 7. Sa position est réglable et déterminée par des vérins de poussée 9 agissant de manière à rapprocher ou éloigner les supports l'un de l'autre. Des moyens de mesure de l'effort d'écartement des cylindres, tels que des pesons 8, sont disposés entre le support fixe 5 et le châssis 7. Des capteurs 10 permettent de mesurer la position du support mobile 6, et donc les variations de position par rapport à une position de consigne prédéterminée en fonction de l'épaisseur souhaitée de la bande.

Lors d'une coulée, le métal en fusion est déversé entre les cylindres, et commence à se solidifier au contact de leurs parois refroidies en formant des peaux solidifiées qui sont entraînées par la rotation des cylindres et se rejoignent sensiblement au niveau du col 11 entre les cylindres pour former la bande solidifiée extraite vers le bas. Ce faisant, le métal exerce sur les cylindres un effort d'écartement  $RSF$ , mesuré par les pesons 8, cet effort étant variable notamment en fonction du degré de solidification du métal.

Pour réguler cet effort, et garantir la continuité de la coulée, on agit sur les vérins de poussée 9. Ainsi, par exemple, pour réduire l'effort d'écartement  $RSF$ , on

agit sur les vérins 9 dans le sens conduisant à un écartement des cylindres et, réciproquement, pour augmenter l'effort, on agit sur les vérins dans le sens d'un rapprochement des cylindres.

5            Cette action est exécutée automatiquement par une régulation qui, selon l'invention, permet d'obtenir un effort d'écartement sensiblement constant, très rapidement après le début de la coulée, ainsi qu'une épaisseur de la bande obtenue également sensiblement constante.

10            Le schéma de principe de la boucle de régulation de l'effort d'écartement des cylindres est illustré à la figure 2. Dans cette boucle de régulation, la différence E entre la valeur de l'effort d'écartement RSF, mesurée par les pesons 8, et la valeur de consigne d'effort  $RSF_0$  est  
15            calculée par l'unité de calcul 20. Cet écart E est entré dans un dispositif de correction 22 qui détermine une valeur corrigée E' fonction de E, selon une relation qui sera décrite plus en détail par la suite. La valeur E' est  
20            introduite dans un amplificateur à gain réglable 24 qui convertit E' en une vitesse v, proportionnelle à E, qui est elle-même intégrée dans l'intégrateur 26 pour fournir une valeur corrective  $\Delta d$ .

            La valeur corrective  $\Delta d$  est introduite dans un additionneur 28 qui reçoit également une valeur de  
25            consigne de position initiale  $d_0$  et une valeur de compensation de faux-rond Cfr, et élabore une valeur de référence de position  $d_r$ .

            La valeur de référence de position  $d_r$ , qui sert de consigne dans la régulation de position des paliers, est  
30            introduite dans un comparateur 30 qui reçoit également la valeur mesurée  $d_m$  de la position des paliers, mesurée par les capteurs 10, et élabore un signal  $E_p$  représentant l'écart entre la position réelle des paliers et la position de consigne. Ce signal est introduit dans une  
35            boucle de régulation 32 classique (PID) qui fournit un signal  $i_{sv}$  à une servovalve 34 de pilotage des vérins de

poussée 9. L'actionnement des vérins de poussée agit sur le déroulement de la coulée (symbolisé par la case "process" 36) au cours de laquelle la valeur de l'effort d'écartement RSF est mesurée.

5 On notera que le temps de cycle de la boucle de régulation de position des vérins de poussée 9 (boucle schématisée par le cadre en pointillé 36) est, par exemple, de  $2 \cdot 10^{-3}$  secondes alors que le temps de cycle global (cadre en pointillée 38) est par exemple de  $10 \cdot 10^{-3}$  secondes.

La correction  $f$  apportée par le dispositif de correction 22 est représentée graphiquement à la figure 3, sur laquelle on a indiqué, uniquement à titre d'exemple, des valeurs numériques de E et E', exprimées en tonnes.

15 Dans cet exemple, la valeur nominale  $RSF_0$  de l'effort d'écartement est de 6 T (6 tonnes soit environ 6000 daN), et la fourchette d'efforts  $\Delta RSF$  est de 4 T. Tant que la valeur mesurée de l'effort d'écartement est comprise entre 4 et 8 T, la correction de l'écart E s'exprime par  $E' = 0,3 E$  ; lorsque l'effort d'écartement  
20 passe en-dessous de 4 T ou au-dessus de 8 T, la correction devient  $E' = E - 1,4 T$ .

On constate que, selon cet exemple, et en se reportant au schéma de la figure 2, la valeur corrective  $\Delta d$  générée à partir de la valeur E', va croître  
25 continûment en fonction de la différence entre l'effort d'écartement mesuré RSF et l'effort nominal  $RSF_0$ , mais de plus croît plus fortement dès que l'effort d'écartement sort de la fourchette  $\Delta RSF$ . En conséquence, la réactivité de la régulation de position des paliers est en quelque  
30 sorte amoindrie tant que l'effort d'écartement mesuré reste dans la dite fourchette, et accrue ou-delà.

On notera que les expressions de E' indiquées ci-dessus sont à considérer de manière relative, du fait que  
35 la valeur E' est ensuite multipliée par le gain de l'amplificateur 24, et intégrée sur un temps de cycle,

pour donner la correction  $\Delta d$ .

On notera d'ailleurs qu'un effet équivalent en ce qui concerne le calcul de  $\Delta d$  pourrait être obtenu en entrant directement la différence  $E$  dans l'amplificateur  
5 24 et en faisant varier le gain de celui-ci en fonction de  $E$ , c'est-à-dire en augmentant le gain lorsque l'effort d'écartement est hors de la fourchette, par rapport au gain lorsque le dit effort est dans la fourchette.

Toutefois, comme on va le voir ensuite, le gain peut  
10 aussi être réglé en fonction du temps écoulé à partir du démarrage de la coulée. Il s'ensuivrait alors que le gain serait à régler en fonction de deux paramètres, le temps et l'effort d'écartement, ce qui peut en pratique compliquer la mise en oeuvre de la régulation.

La variation de  $E'$  en fonction de  $E$  pourrait  
15 également être définie différemment, par exemple  $E'$  étant nul ou sensiblement nul tant que l'effort d'écartement est compris dans la dite fourchette, et croissant en fonction de  $E$  en dehors de celle-ci, comme représenté en pointillé  
20 sur la figure 3.

Dans ce dernier cas, la position de référence  $d_r$  ne  
serait alors corrigée que lorsque l'effort d'écartement sortirait de la dite fourchette, et toute variation d'effort restant dans la dite fourchette n'entraînerait  
25 aucun déplacement des paliers des cylindres.

Préférentiellement, la correction apportée à la  
position de référence des paliers est réduite après une  
durée de démarrage prédéterminée, ce qui peut être  
facilement réalisé en diminuant le gain, et donc la valeur  
30  $\Delta d$ .

En complément, la largeur de la fourchette peut être  
augmentée. Ces deux mesures permettent d'assurer une très  
forte réactivité de la régulation lors du démarrage de la  
coulée, mais de ne pas entraîner de déplacement  
35 substantiel des paliers de cylindres lorsque des pics d'effort surviennent après la dite période de démarrage.

Pour illustrer les résultats obtenus grâce à l'invention, on a représenté à la figure 4 l'évolution en fonction du temps, à partir du démarrage de la coulée, de quatre paramètres :

- 5           - le tracé 40 représente la vitesse des cylindres,
- le tracé 50 représente la position angulaire d'un cylindre, l'intervalle entre deux pics de cette courbe correspondant à un tour de cylindre,
- le tracé 60 représente les variations de la force
- 10 d'écartement RSF, mesurée en tonnes ( échelle graduée de gauche du graphique),
- le tracé 70 représente les variations de la position des paliers, mesurées en mm ( échelle graduée de droite).

15           Ces tracés correspondent à une coulée réalisée conformément au procédé selon l'invention, en fixant l'effort nominal à 6 tonnes et une largeur de fourchette  $\Delta$ RSF de 2 tonnes pendant environ 35 secondes, élargie à 4 tonnes ensuite.

20           On constate que, après un pic important d'effort 61 au démarrage, l'effort varie encore de manière sensible au cours des premiers tours des cylindres, avec quelques excursions en dehors de la fourchette 5 - 7 tonnes. Corrélativement, on voit sur le tracé 70, pendant cette

25 même période, les variations importantes correspondant aux déplacements des paliers du cylindre mobile pour compenser les dites variations d'effort. On constate cependant que après le premier tour des cylindres, l'effort d'écartement reste maintenu dans la dite fourchette.

30           Lorsque la fourchette est élargie à 4 - 8 T, après la période de démarrage, les variations d'effort restent faibles, et de plus, les paliers des cylindres ne se déplacent pratiquement plus, ce qui s'explique par le fait que l'effort d'écartement est maintenu dans le centre de

35 la dite fourchette, et que ses variations, amoindries par la correction indiquée précédemment, ne produisent

pratiquement aucun effet sur la régulation de position des paliers.

On constate donc que la mise en oeuvre du procédé selon l'invention permet d'obtenir rapidement, et de  
5 conserver par la suite un effort d'écartement, ainsi qu'un écartement des axes des cylindres, sensiblement constants.

Les enregistrements correspondants représentés figure 5, dans le cas où l'effort nominal a été fixé au départ à 15 tonnes et une largeur de fourchette de 4  
10 tonnes, montrent que l'effort d'écartement se stabilise également, de même que la position des paliers, mais cette stabilisation nécessite dans ce cas un temps plus long, ce qui révèle l'intérêt de fixer au démarrage une valeur d'effort nominal la plus faible possible avec une largeur  
15 de fourchette également faible, comme dans le cas de la figure 4.

On notera que, en plus de la régulation décrite ci-dessus, le procédé selon l'invention intègre une régulation de faux-rond, pour tenir compte des défauts de  
20 circularité des cylindres et compenser ceux-ci afin de ne pas avoir de variations cycliques d'épaisseur de la bande coulée.

Pour cela, on détermine les écarts de circularité des cylindres en mesurant les variations de l'effort  
25 d'écartement en fonction de l'angle de rotation des cylindres, cette mesure étant faite pendant les premiers tours des cylindres lors du démarrage de la coulée, et, ensuite, on modifie la dite valeur de référence de position des paliers en fonction de l'angle de rotation,  
30 pour compenser les dits écarts de circularité.

La détermination des écarts de circularité peut être faite par un calculateur qui extrait de la courbe des variations de l'effort d'écartement mesuré, les variations cycliques, significatives de défauts de circularité, et  
35 élabore une valeur correctrice  $CFr$  qui est ajoutée à la valeur de consigne initiale  $d_0$  et à la correction  $\Delta d$  pour

former la valeur de référence de position  $d_r$ .

Les dessins des figures 6 et 7 représentent deux variantes de la correction  $f$  qui peuvent être utilisées par le dispositif de correction 22.

5            Dans la variante représentée figure 6, la fourchette  $\Delta$ RSF n'est plus centrée sur la valeur nominale  $RSF_0$ , comme dans le cas de la figure 3, mais décalée vers la droite, c'est-à-dire dans le sens des efforts croissants. Avec une telle correction, la réactivité de la régulation de  
10 position des paliers est amoindrie, comme indiqué précédemment, seulement lorsque l'effort d'écartement mesuré RSF est supérieur à la consigne  $RSF_0$ . Par contre, si l'effort mesuré est inférieur à la consigne, la régulation agit normalement, c'est-à-dire plus vivement,  
15 ce qui évite une diminution trop brutale de l'effort, et évite donc d'atteindre une valeur d'effort excessivement faible. Ceci est particulièrement utile lorsque la valeur de consigne  $RSF_0$  est elle-même faible, par exemple de l'ordre de 2 tonnes.

20            Dans la variante représentée figure 7, la correction appliquée lorsque l'effort d'écartement reste au voisinage de la valeur de consigne est similaire à celle représentée figure 3, c'est-à-dire fournissant un amoindrissement de la réactivité de la régulation tant que l'effort mesuré  
25 RSF reste dans la fourchette  $\Delta$ RSF prédéfinie. Par contre, une valeur maximale  $E_{Max}$  est imposée à la valeur corrigée  $E'$ , lorsque l'effort mesuré dépasse un certain seuil (défini par  $E_s$  sur la figure 7). Ainsi, tout en conservant une forte réactivité de la régulation lorsque l'effort  
30 mesuré sort de la fourchette  $\Delta$ RSF, on évite un écartement excessif des cylindres en réponse à un pic d'effort très élevé mais très bref, et donc on assure un retour plus rapide des cylindres dans leur position normale dès que le pic d'effort est passé.

35            Bien évidemment, ces deux dernières variantes de correction pourront être combinées.

Les réalisations de l'invention au sujet desquelles un droit exclusif de propriété ou de privilège est revendiqué, sont définies comme il suit:

1. Procédé de régulation pour la coulée continue entre cylindres, selon lequel, au cours de la coulée, on mesure l'effort (RSF) d'écartement des cylindres, et on agit sur la position des paliers d'au moins un des  
5 cylindres pour augmenter ou diminuer l'entraxe entre les dits cylindres, caractérisé en ce que, en vue de maintenir le dit effort sensiblement constant, on prédéfinit une fourchette de valeurs d'effort ( $\Delta$  RSF) encadrant un effort nominal (RSF<sub>0</sub>) souhaité, et on agit sur la position des  
10 paliers plus vivement lorsque la valeur de l'effort mesuré est en dehors de la dite fourchette que lorsqu'elle est comprise dans la dite fourchette.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, la position des paliers étant réglée sur une  
15 position de consigne, la dite position de consigne est fixée par une valeur de position de référence ( $d_r$ ), déterminée en apportant à une valeur ( $d_0$ ) de consigne initiale de position des paliers une valeur corrective ( $\Delta d$ ) variable en fonction de la différence entre l'effort  
20 d'écartement mesuré (RSF) et l'effort nominal (RSF<sub>0</sub>), la dite correction ( $\Delta d$ ) étant plus importante lorsque la valeur de l'effort mesuré est en dehors de la dite fourchette que lorsqu'elle est comprise dans la dite fourchette.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la valeur corrective ( $\Delta d$ ) est calculée à partir  
25 d'un signal corrigé ( $E'$ ) obtenu en apportant une correction définie par une fonction ( $f$ ) à la différence ( $E$ ) entre l'effort d'écartement mesuré (RSF) et l'effort  
30 nominal (RSF<sub>0</sub>).

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le signal corrigé ( $E'$ ) est croissant en fonction de la différence entre l'effort d'écartement mesuré (RSF) et l'effort nominal (RSF<sub>0</sub>).

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le signal corrigé ( $E'$ ) croît plus rapidement lorsque la valeur de l'effort mesuré (RSF) est en dehors de la dite fourchette ( $\Delta$ RSF) que lorsqu'elle est comprise  
5 dans la dite fourchette.

6. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le signal corrigé ( $E'$ ) est nul lorsque la valeur de l'effort mesuré (RSF) est comprise dans la dite fourchette ( $\Delta$ RSF), et croissant en fonction de la différence entre  
10 l'effort d'écartement mesuré et l'effort nominal lorsque la valeur de l'effort mesuré est en dehors de la dite fourchette.

7. Procédé selon l'une des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que la dite fourchette ( $\Delta$ RSF) est  
15 décalée par rapport à l'effort nominal ( $RSF_0$ ) dans le sens des efforts croissants.

8. Procédé selon l'une des revendications 5 à 7, caractérisé en ce qu'une valeur maximale ( $E'_{Max}$ ) est imposée à la valeur corrigée ( $E'$ ) lorsque la valeur de  
20 l'effort mesuré (RSF) dépasse un seuil prédéfini ( $E_s$ ).

9. Procédé selon l'une des revendications 2 à 8, caractérisé en ce que la dite correction ( $\Delta d$ ) est réduite après une durée de démarrage prédéterminée.

10. Procédé selon l'une des revendications 2 à 9, caractérisé en ce que la dite fourchette d'effort ( $\Delta$ RSF)  
25 est élargie après une durée de démarrage prédéterminée.

11. Procédé selon l'une des revendications 2 à 10, caractérisé en ce que on détermine des écarts de circularité des cylindres en mesurant les variations de  
30 l'effort d'écartement (RSF) en fonction de l'angle de rotation des cylindres, cette mesure étant faite pendant les premiers tours des cylindres lors du démarrage de la coulée, et, ensuite, on modifie la dite valeur de référence ( $d_r$ ) de position des paliers en fonction de  
35 l'angle de rotation, pour compenser les dits écarts de circularité.

FIG. 1

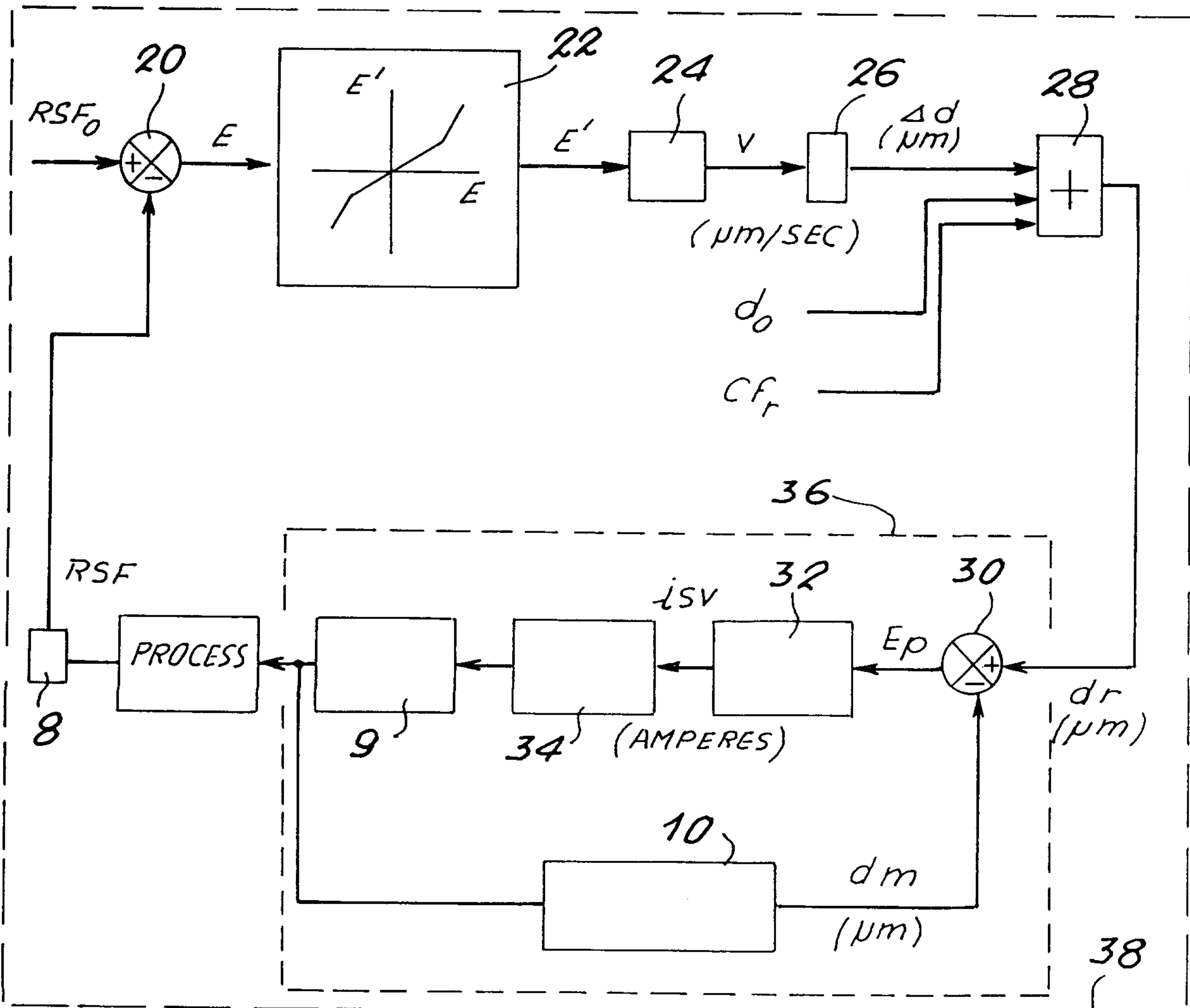
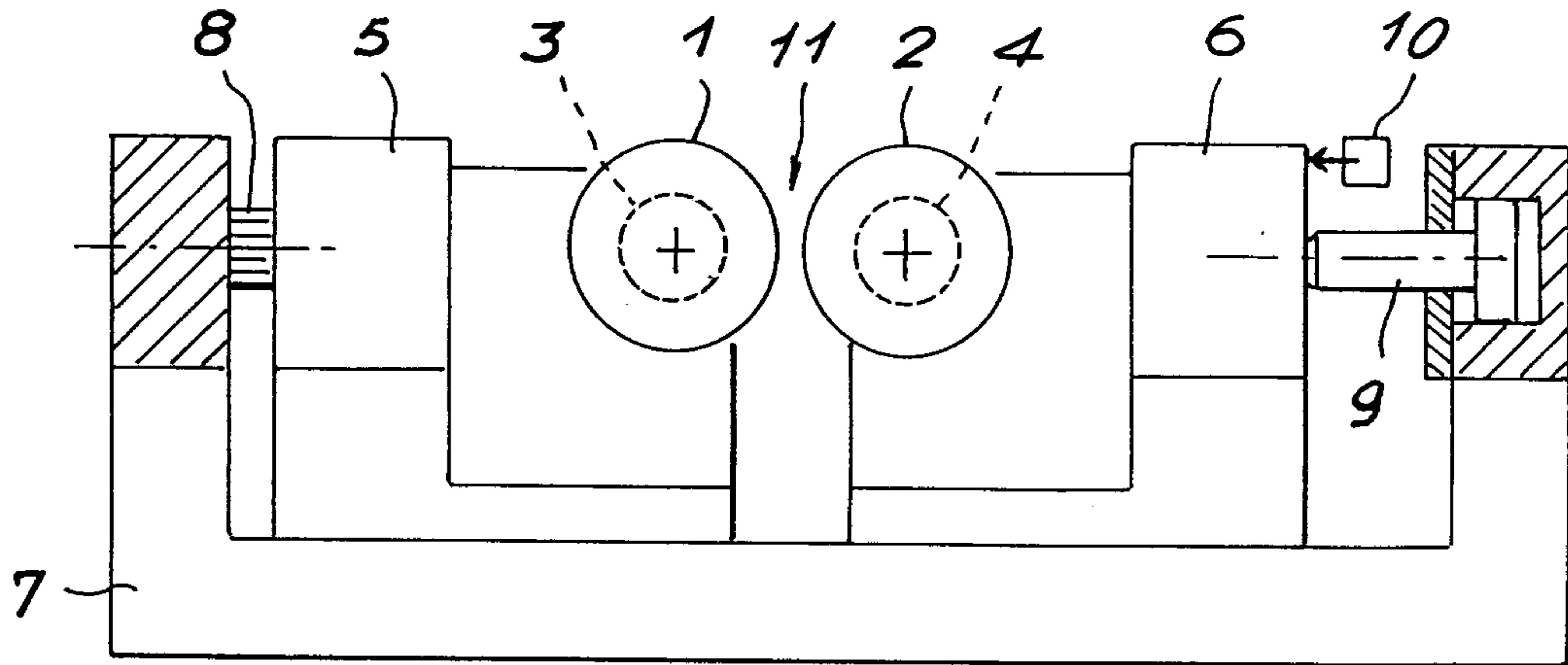


FIG. 2

PATENT AGENTS

*Swabeys Oiling Research*

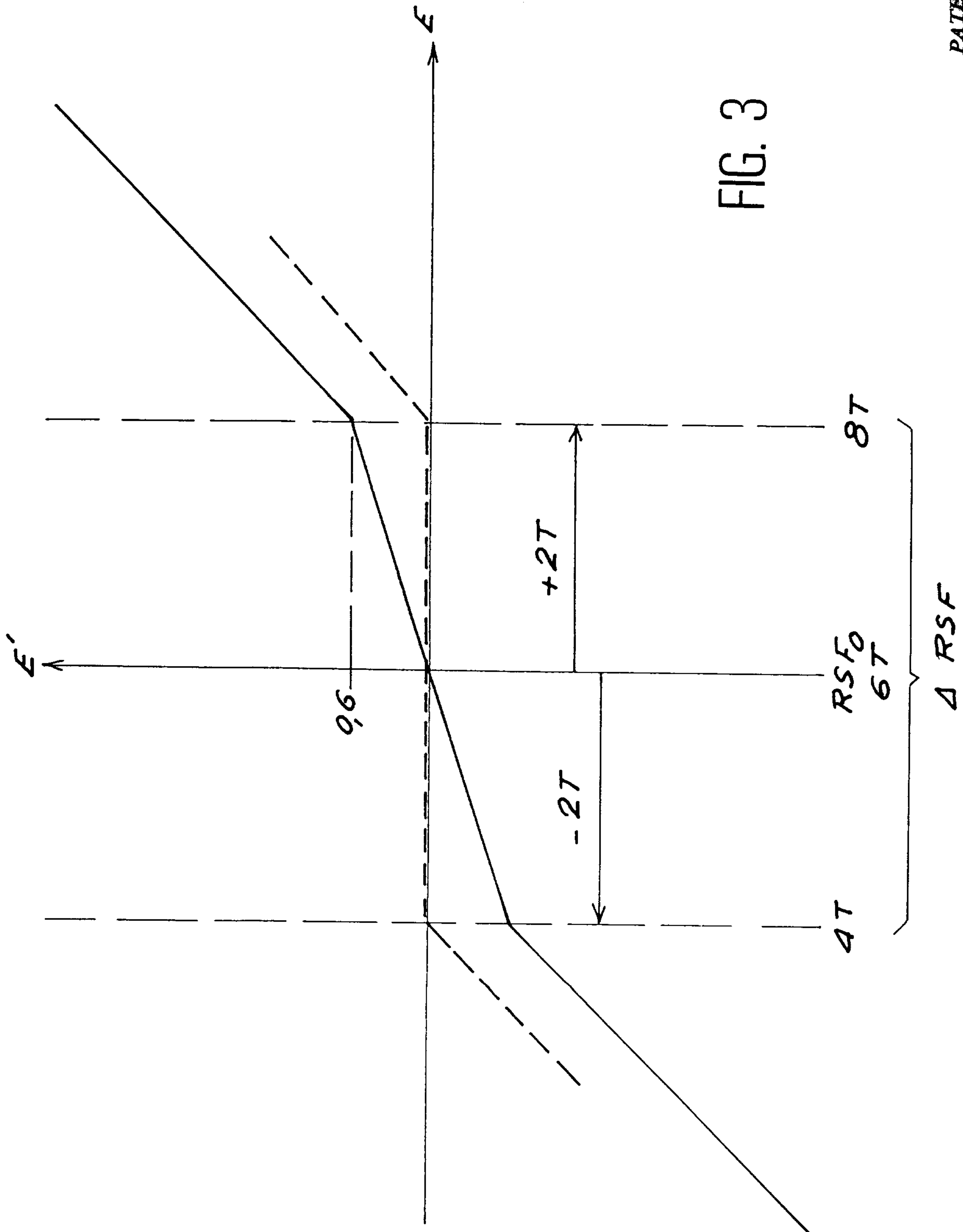
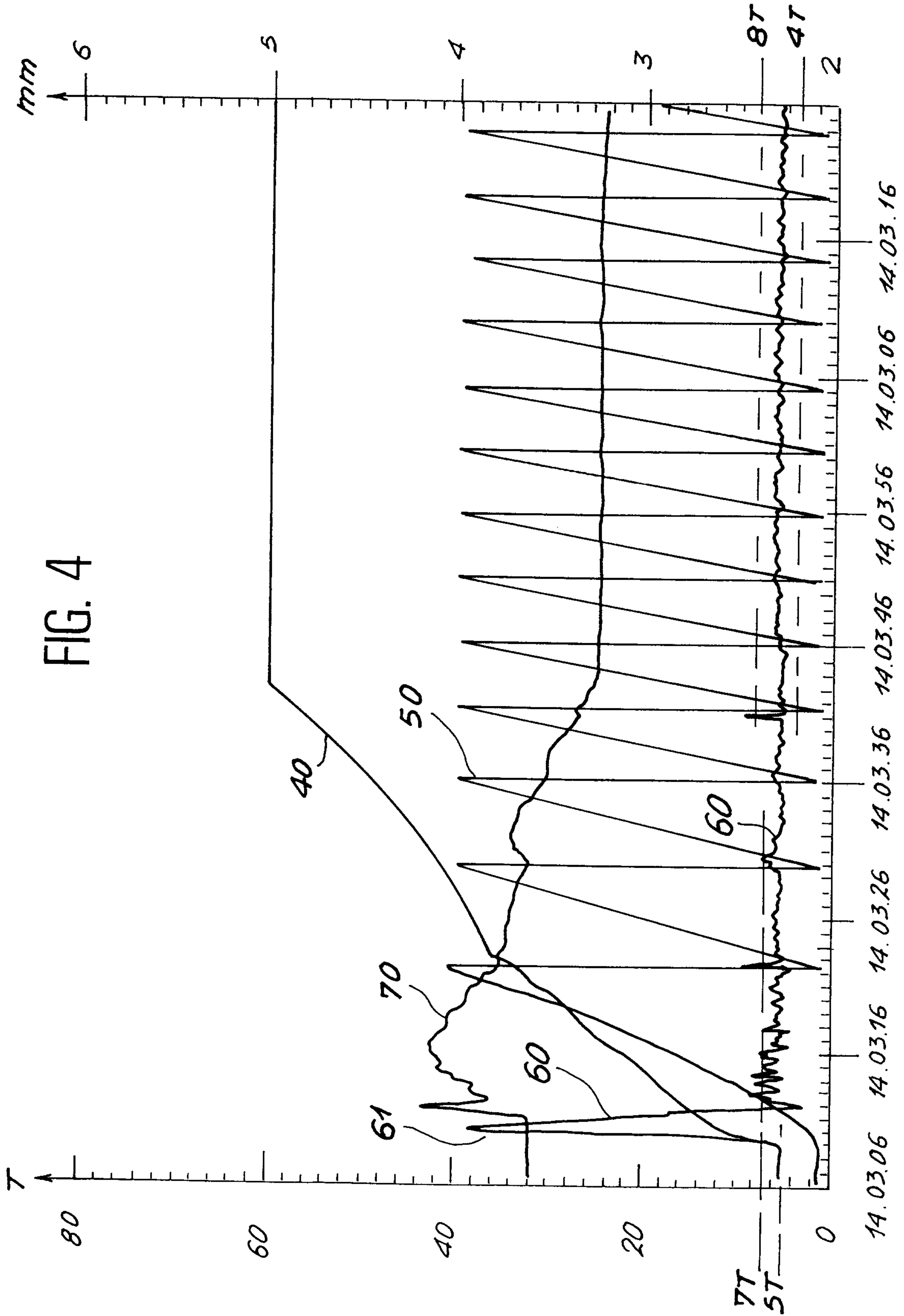


FIG. 3

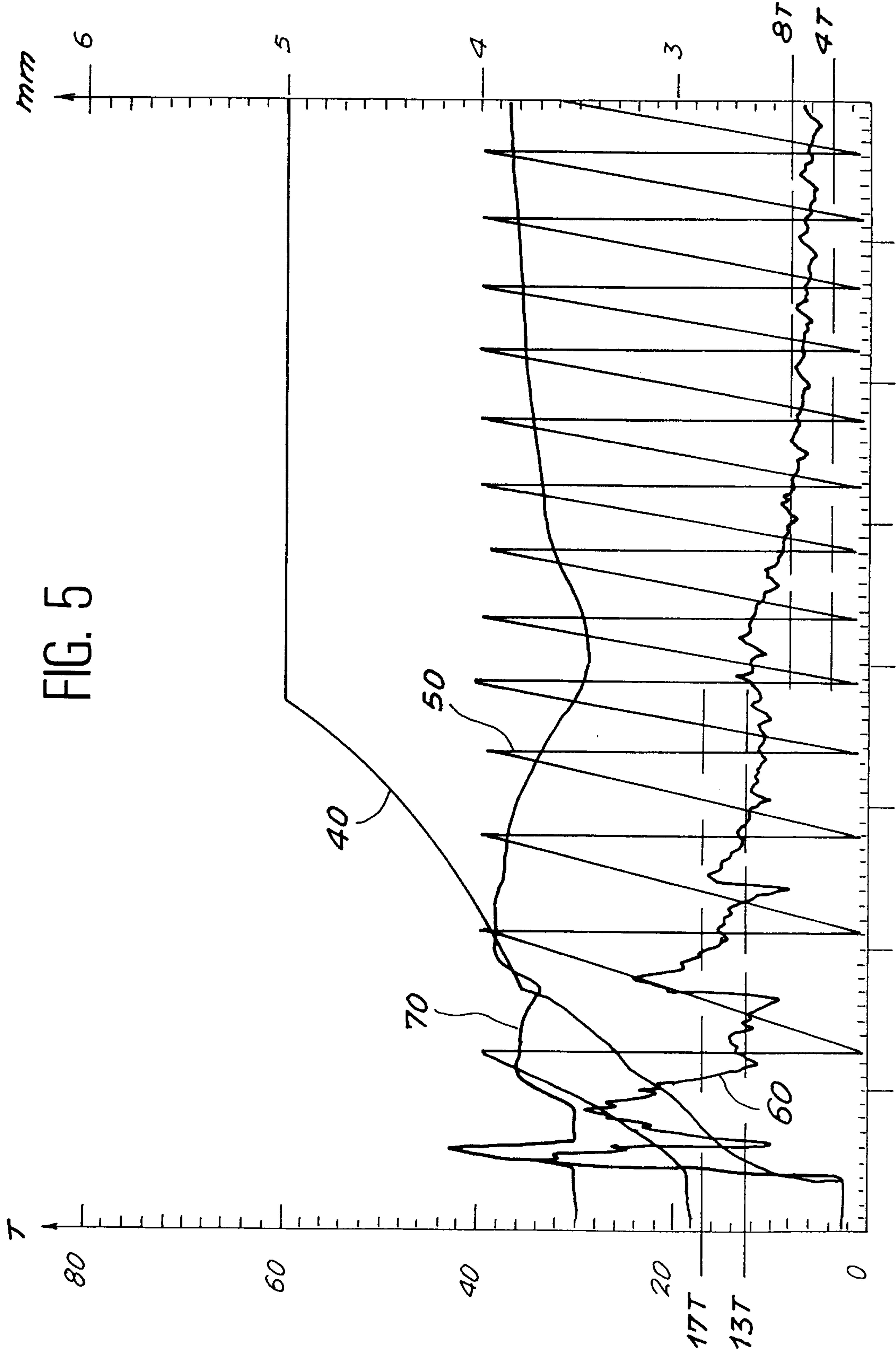
PATENT AGENTS

*Aunbey Ogilvy Renault*



PATENT AGENTS

*Dwight Ogilvy Renault*



PATENT AGENTS

*Murphy Ogilvy Renault*

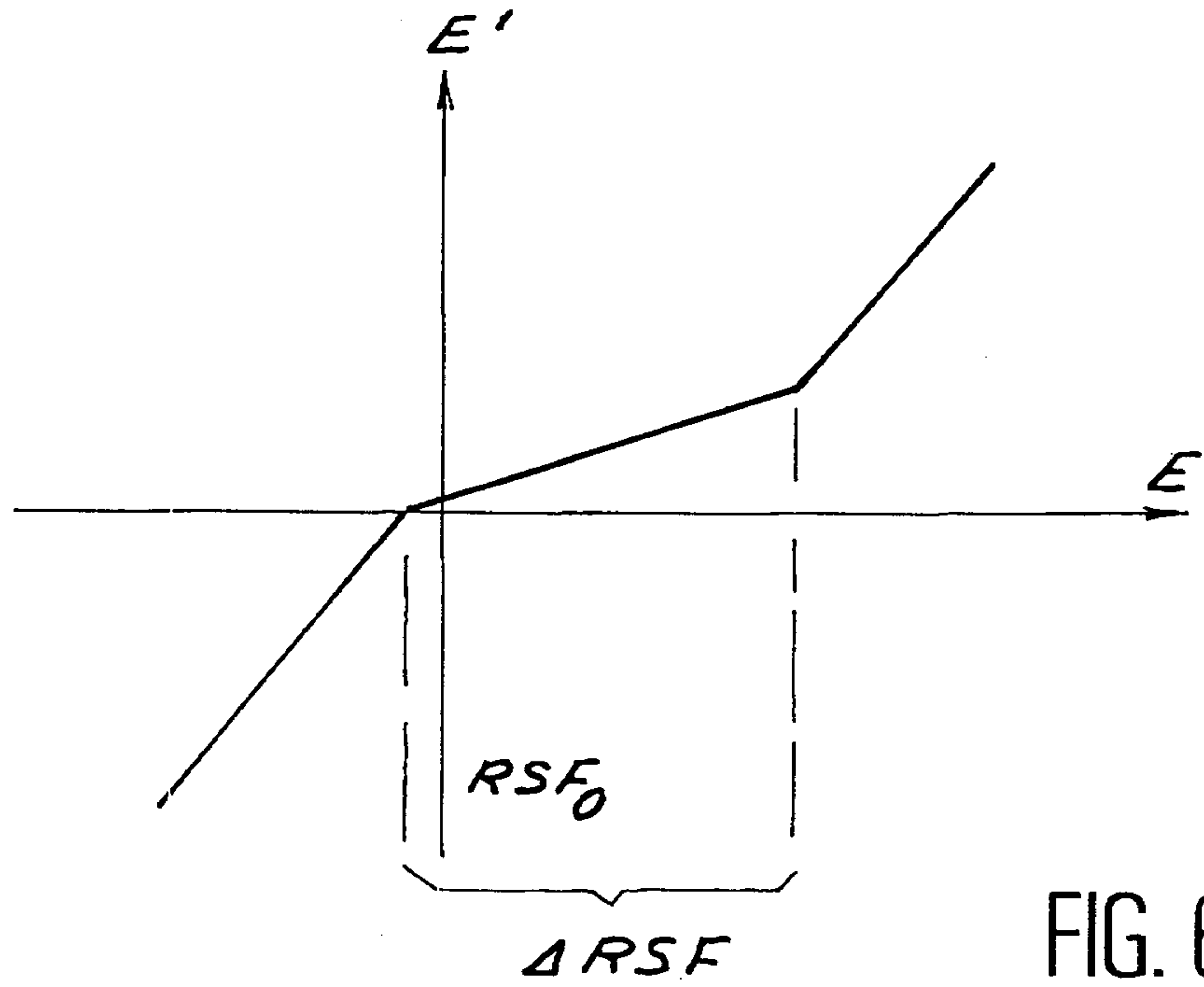


FIG. 6

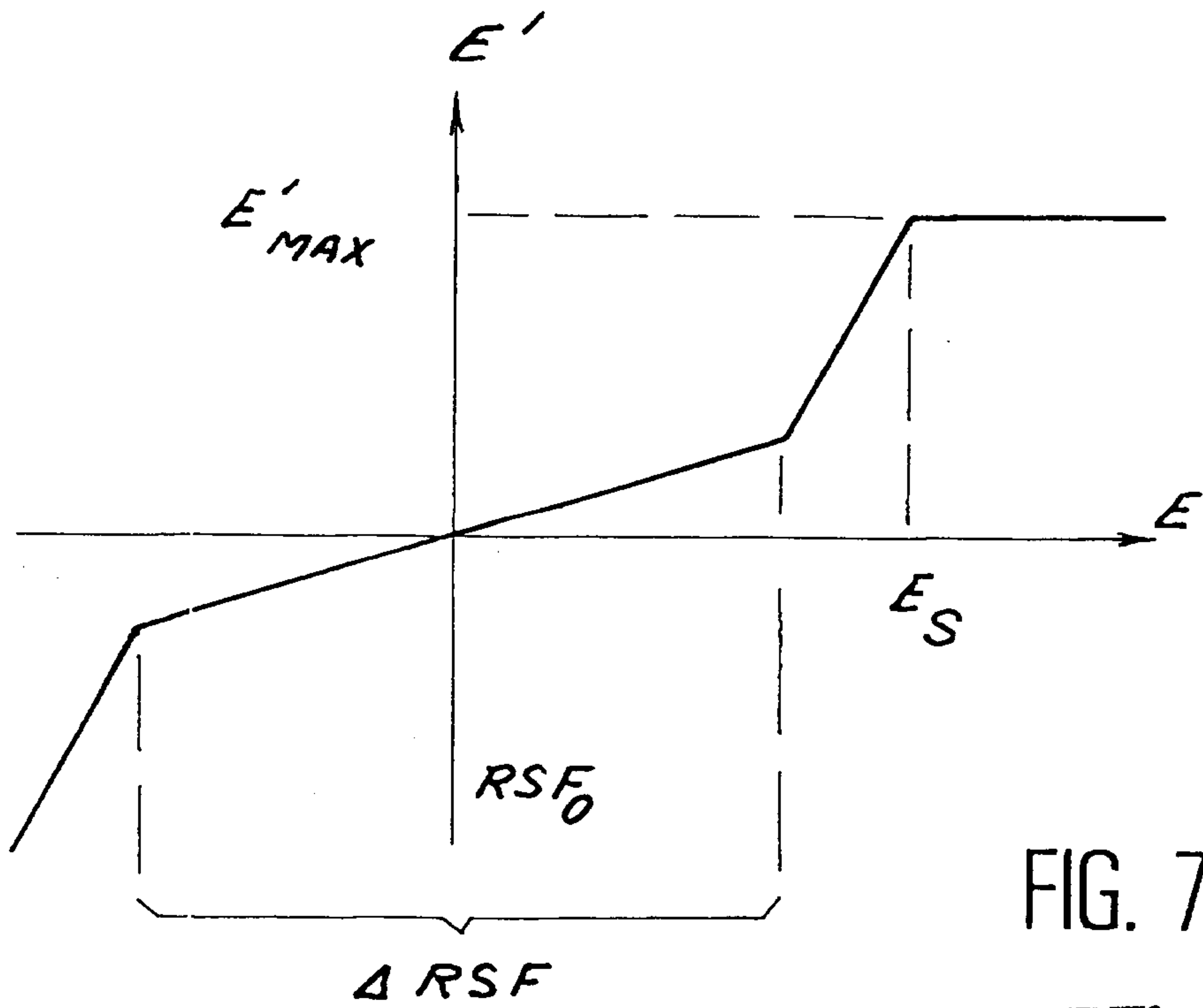


FIG. 7

PATENT AGENTS

*Dwight Ogilvy Rossett*

