

12

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: 83401299.9

51 Int. Cl.³: B 22 D 11/12

22 Date de dépôt: 23.06.83

30 Priorité: 28.06.82 FR 8211446

43 Date de publication de la demande:
11.01.84 Bulletin 84/2

84 Etats contractants désignés:
AT BE CH DE GB IT LI LU NL SE

71 Demandeur: INSTITUT DE RECHERCHES DE LA
 SIDERURGIE FRANCAISE (IRSID)
 185, rue Président Roosevelt
 F-78105 Saint Germain-en-Laye Cédex(FR)

72 Inventeur: Birat, Jean-Pierre
 10, chemin des Pavillons
 F-57210 Semecourt(FR)

72 Inventeur: Chone, Jeanne
 11, rue des Bénédictines
 F-57000 Metz(FR)

74 Mandataire: Ventavoli, Roger et al,
 INSTITUT DE RECHERCHES DE LA SIDERURGIE
 FRANCAISE (IRSID) 185, rue Président Roosevelt
 F-78105 Saint-Germain-en-Laye(FR)

54 Procédé de brassage électromagnétique des métaux, notamment des aciers, coulés en continu et dispositif de mise en oeuvre.

57 Procédé selon lequel on soumet le métal coulé à une action de brassage à l'aide d'un champ magnétique mobile, tournant autour de l'axe (2) du produit coulé, et agissant en aval de la lingotière (12), et qui se caractérise en ce qu'on applique le champ magnétique au moins sur une portion (δh) de la hauteur métallurgique (ΔH) comprise entre le niveau T_L où le coeur (4) encore liquide atteint la température de liquidus et le niveau T_i où la proportion de solide dans la phase liquide atteint environ 40% en poids. En outre, on inverse périodiquement le sens de rotation du champ magnétique, ce qui peut avantageusement être réalisé à l'aide d'une batterie d'inducteurs électromagnétiques (20, 20', 20'') délivrant des champs magnétiques tournant dans des sens opposés deux à deux.

L'invention permet d'améliorer la qualité interne des produits coulés, notamment sur le plan de la ségrégation centrale. Elle s'applique en particulier à la coulée continue des aciers, ou autres alliages métalliques, présentant un large intervalle de solidification.

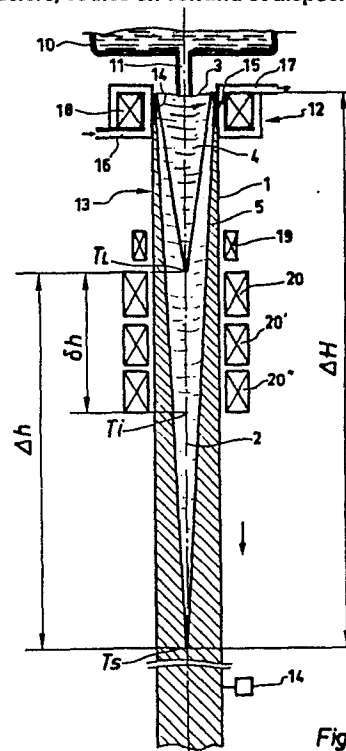


Fig. 2

PROCEDE DE BRASSAGE ELECTROMAGNETIQUE DES METAUX, NOTAMMENT DES ACIERS,
COULES EN CONTINU ET DISPOSITIF DE MISE EN OEUVRE

La présente invention concerne le brassage électromagnétique
5 des métaux, notamment des aciers, coulés en continu. Elle s'applique
particulièrement aux métaux, ou aciers, présentant un large intervalle
de solidification.

On sait que l'opération de coulée continue consiste
schématiquement à déverser en continu le métal en fusion dans une
10 lingotière sans fond, énergiquement refroidie, généralement en cuivre
ou alliage de cuivre, de laquelle on extrait, également en continu, une
barre présentant une croûte extérieure solidifiée et dont le coeur
encore liquide achève de se solidifier progressivement au cours de son
extraction, en aval de la lingotière, dans la zone dite "du
15 refroidissement secondaire" de la machine de coulée. La distance sur
laquelle le produit coulé passe d'un état totalement liquide (surface
du métal liquide en lingotière, ou "ménisque") à un état complètement
solidifié (fond du puits de solidification) est habituellement dénommée
"hauteur métallurgique" et ceci quelque soit la trajectoire de la barre
20 coulée, verticale ou courbe.

On sait également que l'on améliore la qualité métallurgique
des produits obtenus, tant sur le plan de la propreté inclusionnaire
que sur celui de la structure de solidification, grâce à un brassage
contrôlé du métal en fusion en cours de coulée. Par exemple, pour les
25 produits longs en particulier (billettes, blooms ..), il est connu que
ce brassage s'effectue avantageusement par mise en rotation du métal
liquide au moyen d'un champ magnétique mobile, tournant autour de l'axe
de coulée et agissant dans la zone du refroidissement secondaire
(brevet français n° 2.236.584 de l'IRSID), ou au niveau de la
30 lingotière (brevets français n° 2.279.500 d'USINOR, n° 2.315.344 de
l'IRSID, n° 2.340.789 de l'IRSID), cette dernière disposition
présentant l'avantage de pouvoir interrompre rapidement, dès la sortie
de la lingotière, la solidification à croissance dendritique
(solidification de type "basaltique") commencée en lingotière, au
35 profit d'une solidification "équiaxe", par germination cristalline au
sein de la phase liquide.

D'un autre côté, certaines nuances d'acier à haute teneur en
carbone et faiblement alliées sont très peu coulables en continu à
39 l'heure actuelle, essentiellement en raison des ségrégations axiales

qui sont particulièrement importantes pour les produits longs. Les techniques connues en coulée continue pour atténuer ces défauts (sur-chauffe faible du métal avant coulée, brassage électromagnétique en lingotière ou dans la zone de refroidissement secondaire, tel qu'évoqué 5 précédemment, etc...) semblent, en effet, trouver leur limitation pour ce type d'acier. Ces techniques, valables pour les aciers au carbone (jusqu'à 0,5% de C environ) faiblement alliés ou inoxydables, ne donnent pas des résultats pleinement satisfaisants pour les aciers où la teneur en carbone va au delà de 0,5 % environ (aciers hyper-10 péritectiques). L'acier de nuance 100C6, par exemple, destiné à la fabrication de pièces sollicitées en fatigue de contact, concrétise bien les difficultés rencontrées à la coulée continue pour les aciers de ce type.

Le but de la présente invention est précisément de permettre, 15 par coulée continue d'acier, ou autres alliages métalliques à large intervalle de solidification, l'obtention de demi-produits présentant une faible ségrégation axiale, ou tout au moins, une ségrégation axiale sensiblement moindre que celle qui serait obtenue par les techniques connues de coulée continue.

20 A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de brassage électromagnétique, au cours de la coulée continue des métaux, notamment des aciers présentant un large intervalle de solidification, selon lequel on met le métal liquide coulé en rotation autour de l'axe de coulée à l'aide d'un champ magnétique tournant autour dudit axe et qui 25 agit en aval de la lingotière dans la zone de refroidissement secondaire de la machine de coulée, procédé caractérisé en ce que l'on applique le champ magnétique tournant sur une portion de la hauteur métallurgique comprise, au moins, entre le niveau où le coeur encore liquide du produit coulé atteint la température de liquidus du métal 30 coulé et le niveau où ledit coeur présente une proportion de solide de la phase liquide de l'ordre de 40 % en poids environ et en ce que l'on règle l'action du champ magnétique de façon que le métal soit soumis, au cours de la coulée, à un champ magnétique tournant de sens de rotation accélérée.

35 Selon une variante, on met en oeuvre un champ magnétique constitué par une pluralité de champs magnétiques élémentaires tournants, successifs, disposés de façon étagée sur ladite portion de la hauteur métallurgique et dont les sens de rotation sont opposés deux 39 à deux.

De préférence, on fait déjà agir le champ magnétique tournant légèrement en amont de ladite portion de la hauteur métallurgique, afin de pallier le retard à la rotation qu'oppose le métal liquide en raison de son inertie.

5 En variante encore, on inverse périodiquement dans le temps le sens de rotation du champ magnétique.

L'invention a également pour objet une installation de coulée continue pour la mise en oeuvre du procédé, qui se caractérise en ce qu'elle comporte, dans la zone de refroidissement secondaire, une
10 batterie d'inducteurs à champ magnétique mobile pour le brassage du métal liquide, disposés de façon étagée, successivement les uns à la suite des autres le long de la hauteur métallurgique, sur une portion de cette dernière s'étendant, au moins, depuis le niveau auquel le coeur liquide du produit coulé atteint la température de liquidus du
15 métal coulé, jusqu'au niveau auquel la proportion de solide dans la phase encore liquide est d'environ 40 % en poids.

Comme on le comprend, l'invention consiste dans ses caractéristiques essentielles, à brasser le métal lorsque l'état d'avancement de la solidification de ce dernier lui confère une consistance qui n'est
20 pas encore complètement solide, ni plus tout à fait liquide et que l'on qualifiera, pour fixer les idées, de "pâteuse".

Selon une définition plus précise, on entend caractériser par consistance, zone ou solidification "pâteuse", l'état de solidification d'un métal coulé en continu dont l'enthalpie se situe entre l'enthalpie
25 du métal totalement solide et l'enthalpie du métal complètement liquide. On détermine la position et l'étendue de la zone "pâteuse" à partir de la détermination de la température du métal sur l'axe de coulée et on considère que la zone "pâteuse" est la portion de la hauteur métallurgique comprise entre les niveaux de température
30 supérieure et inférieure correspondant respectivement à la température de liquidus et à la température de solidus du métal coulé.

Pour bien comprendre ce qui précède, il faut garder à l'esprit que la solidification d'un acier coulé en continu progresse de la périphérie vers l'axe du produit, non pas selon un front bien plan
35 séparant la phase liquide de la phase solide, mais selon une surface très accidentée à petite échelle, formée de pics (dendrites) et de creux. Ces pics et creux définissent deux fronts successifs progressant ensemble : respectivement un front dit "solidification commençante" et
39 représentant l'enveloppe passant par les sommets des pics et un front

dit "de solidification finissante" représentant l'enveloppe passant par la base des creux. Les intersections de ces deux fronts avec l'axe de coulée (lequel se confond d'ailleurs avec l'axe du produit) déterminent entre elles, en grandeur et en position, la portion de la hauteur 5 métallurgique où s'opère la solidification de type "pâteuse", et dans laquelle conformément à l'invention, on fait agir le ou les champs magnétiques de brassage à rotation alternée.

Il doit être souligné que cette zone de solidification pâteuse se caractérise par la naissance d'une phase solide au sein même de la 10 phase liquide et par la progression de la proportion de cette phase solide au fur et à mesure du refroidissement du produit coulé, jusqu'à la solidification totale correspondant à la fermeture du puits de solidification (intersection de l'axe de coulée avec le front de solidification finissante).

15 A mesure que progresse la proportion de solide dans la phase liquide, il se forme dans le puits de solidification un agrégat de cristaux de plus en plus dense jusqu'à réaliser une sorte de squelette quasi-rigide, conférant à la masse hétérogène liquide-solide une pseudo-viscosité très élevée, voisine de celle d'un solide. Il est aisé 20 de comprendre que ce "squelette" finit par atteindre un degré de rigidité tel qu'il devient alors inutile, voire irréalisable, avec les moyens électromagnétiques disponibles actuellement, de brasser le métal.

Les inventeurs ont trouvé que l'on pouvait considérer qu'une 25 telle immobilité est atteinte lorsque la proportion de la fraction solide dans la matrice liquide atteint environ 40 % en poids et qu'il était par conséquent suffisant de limiter le brassage à cette valeur et généralement superflu de prolonger au delà de 60 %.

L'invention sera mieux comprise, et d'autres aspects et 30 avantages apparaîtront plus clairement au vu de la description qui suit, donnée en référence aux planches de dessins annexées sur lesquelles :

- la figure 1 représente très schématiquement, en demi-coupe longitudinale, la progression de la solidification d'un acier coulé en 35 continu,

- la figure 2 représente une vue schématique en coupe axiale d'une installation de coulée continue équipée des moyens de l'invention,

39 - les figures 3a, 3b et 3c sont des reproductions de clichés

d'analyse métallographique (empreintes Baumann) d'un acier coulé en continu vu en coupe longitudinale partielle, et correspondant respectivement à un produit de référence non brassé (figure 3a), un produit brassé à l'aide d'un champ magnétique tournant permanent (figure 3b), et un produit brassé à l'aide d'un champ magnétique tournant avec inversion alternative du sens de rotation (figure 3c).

La figure 1 illustre bien ce qui a été dit précédemment à propos de la progression de la solidification à la coulée continue. Sur cette coupe longitudinale axiale de la barre coulée, la flèche 10 verticale orientée vers le bas indique le sens d'extraction du produit. On voit en 1 la surface latérale du produit -qui est énergiquement refroidie-, en 2 l'axe du produit (confondu avec l'axe de coulée), en 3 la surface libre du métal en lingotière, en 4 la phase métallique complètement liquide, en 5 le métal complètement solidifié et, en 6 et 15 7, respectivement les fronts de solidification commençante et finissante délimitant entre-eux une zone 8 mi-solide, mi-liquide (dont la phase liquide est d'ailleurs fortement ségrégée en éléments d'alliage). C'est précisément cette zone 8, dont la consistance rappelle à certains égards celle d'une éponge, que l'on qualifie de 20 "pâteuse". En outre, le front de solidification commençante 6 définit, avec une très bonne approximation, la surface isotherme de liquidus T_L du métal coulé. Il en est de même du front de solidification finissante 7 pour ce qui concerne la température de solidus T_S . Comme on l'a déjà dit, les intersections de l'axe de coulée 2 respectivement avec le 25 front de solidification commençante 6 et le front de solidification finissante 7, intersections repérées sur la figure par les deux points T_L et T_S , définissent entre-elles la portion, notée Δh de la hauteur métallurgique (notée ΔH) et qui, conformément à l'invention, constitue le domaine dans lequel on fait agir le ou les champs magnétiques de 30 brassage.

Le graphe de la figure 1, outre son rôle purement illustratif des phénomènes explicités ci-avant, reflète également les résultats quantitatifs obtenus lors de coulées d'essais d'aciers de nuance 100 C6 dont les données physico-chimiques et les conditions opératoires sont 35 consignées respectivement dans les tableaux de valeurs 1 et 2 ci-après.

TABLEAU 1

Eléments d'alliage	C	Si	Mn	P	S	Cr
5 teneur($10^{-3}\%$) pondérale	1010	230	330	21	26	1550
Liquidus	1450° C					
Solidus	1300° C					
10 Intervalle de solidification	150° C					
Eutectique	1350-1300° C à 14% Cr et 5% P					

15 TABLEAU 2

20	Surchauffe initiale du métal coulé	30° C
	Vitesse de coulée	0,7 m/mn
	Profil coulé	Section carrée de 235 mm de cote
25	Trajectoire de la barre coulée	droite
	Vitesse de refroidissement moyenne	0,5° C/s

30

Dans ces conditions, la hauteur métallurgique ΔH est de 15,5 m environ et le niveau de T_L a été déterminé à la cote 4,5 m. On calcule donc une zone Δh , correspondant à la zone pâteuse, de longueur :

$$15,5 - 4,5 = 11 \text{ m, s'initiant à 4,5 m sous le ménisque 3.}$$

35 En outre, à l'aide d'un modèle thermique de solidification résolvant l'équation de diffusion de la chaleur en régime transitoire, on peut calculer le champ des températures à tout niveau de la hauteur

38 métallurgique. A partir, par exemple, d'un simple diagramme "enthalpie

- température" de la nuance coulée, il est alors aisé de construire la courbe, référencée 9 sur la figure 1, intermédiaire entre les fronts de solidification finissante et commençante, et représentant le lieu des points dans la phase liquide où la proportion de phase liquide est de 540% en poids. Plus simplement, on peut se contenter de déterminer le point d'intersection T_i de cette courbe avec l'axe de coulée 2, ce point T_i définissant alors, avec le point T_L placé en amont, la portion notée δh , de la zone pâteuse Δh , le long de laquelle, conformément à l'invention, le métal est brassé.

10 Comme on le voit sur la figure, dans le cas d'un acier de nuance 100C6 coulé dans les conditions précisées auparavant, le point T_i , définit le point de température à 1430°C sur l'axe de coulée, et se situe à 9 m sous le ménisque. Il délimite ainsi avec le point T_L , une portion δh à brasser de longueur $9 - 4,5 = 4,5$ m environ, depuis la cote 15 à 4,5 m sous le ménisque 3.

Bien entendu, les informations précédentes sur le mode de détermination du point T_i sur l'axe de coulée ne sont données qu'à titre purement indicatif et illustratif. D'autres méthodes existent, qui sont connues de l'homme de métier métallurgiste et qui entrent 20 tout-à-fait dans son domaine de compétence. Ainsi par exemple, si l'on souhaite une détermination plus précise de la cote de T_i , on peut, au lieu d'utiliser la courbe enthalpique, faire appel au diagramme de phases de la nuance coulée, associé à la relation de SCHEIL-GULLIVER reliant, pour chaque valeur de la température, la fraction solide à sa 25 concentration au sein de la phase liquide. Cette méthode pourra d'ailleurs être avantageusement utilisée dans le cas de nuances à très larges intervalles de solidification pour lesquelles, on le sait, le diagramme enthalpique, construit par interpolation linéaire entre T_L et T_S , ne fournit pas toujours la précision souhaitée.

30 Ceci étant, on va maintenant apporter quelques commentaires supplémentaires sur les considérations à l'origine de l'invention.

Le liquide ségrégué en éléments d'alliage qui se forme au front de solidification (on considère ici un front moyen unique) a tendance, par densité, à descendre vers le fond du puits de solidification. Il 35 s'établit par ce phénomène une convection naturelle du liquide dans la zone pâteuse et dont l'ampleur dépend notamment de L^3 , où L est le nombre de GRASTHOF pour le métal liquide coulé. Or, on sait que L est d'autant plus grand que l'intervalle de solidification du métal est 39 large. On est donc en droit d'admettre que, dans le cas de nuances à

large intervalle de solidification, des mouvements de convection importants de la phase liquide s'établissent au sein du puits de solidification. Comme ce puits s'enrichit en cristaux équiaxes au fur-et-à-mesure qu'on s'approche du fond, les liquides ségrégés, qui 5 percolent entre ces cristaux en circulant à fort débit, ont tendance à fondre les cristaux à leur contact. Il se forme ainsi des zones de passages privilégiés, que l'on dénomme généralement "canaux". Etant donné que les liquides ségrégés circulent du haut vers le bas et de la périphérie vers le centre du produit coulé en s'enrichissant en 10 éléments agrégés, ces canaux apparaissent en forme de "V" successifs avec un collecteur central dans l'axe du produit et sont directement à l'origine des problèmes de qualité interne évoqués au début.

Le résultat premier recherché par l'invention est précisément, comme on l'aura déjà compris, de supprimer les velléités des liquides 15 fortement ségrégés à circuler dans les canaux qu'ils forment dans le puits de solidification. Pour y parvenir, la solution proposée consiste à brasser électromagnétiquement le métal liquide dans la zone pâteuse δh , plus simplement le long de la portion δh (fig 1) de cette zone, afin de contrecarrer la tendance du métal à former ces canaux ségrégés. 20 De préférence, on initie le brassage légèrement en amont de la portion δh afin, comme on l'a déjà souligné, de compenser le retard qu'oppose l'inertie du métal liquide au mouvement de brassage, notamment lorsque le brassage consiste à faire tourner le métal liquide autour de l'axe de coulée. Par ailleurs, les inventeurs ont pu montrer qu'on a avantage 25 à rechercher un effet de cisaillement du métal liquide contre le front de solidification, cet effet pouvant être obtenu, conformément à l'invention, au moyen d'inversions répétitives du sens de déplacement du champ magnétique de brassage.

Selon deux variantes de mise en oeuvre de l'invention, ces 30 inversions peuvent être réalisées, soit dans le temps, soit dans l'espace:

- dans le temps, notamment à l'aide d'un inducteur de brassage à champ magnétique alterné, cet inducteur pouvant être du type monobloc couvrant toute la portion δh voulue, 35 ou constitué d'une succession d'inducteurs autonomes synchronisés,
- dans l'espace (i.e. le long de l'axe de coulée) à l'aide d'une batterie d'inducteurs successifs, couvrant la portion 39 δh et délivrant des champs magnétiques mobiles dans des

sens opposés deux à deux.

La figure 2 montre, en correspondance d'échelle et de cotes avec le diagramme de la figure 1, l'implantation des inducteurs de brassage pour la mise en oeuvre de l'invention selon une variante à champs magnétiques tournants successifs et alternés le long de l'axe de coulée. Sur cette figure 2, on a schématiquement représenté une installation de coulée continue dite "verticale" (i.e. trajectoire entièrement droite de la barre coulée) comprenant, depuis le sommet de l'installation, un répartiteur 10 alimentant en métal en fusion et en continu, par un jet de coulée 11, une lingotière sans fond 12. De cette dernière est extraite, également en continu, une barre 13 présentant une croûte extérieure solidifiée 5 et dont le coeur 4 encore liquide achève de se solidifier progressivement au cours de son extraction (dans le sens indiqué par la flèche) sur la distance totale ΔH appelée "hauteur métallurgique". En aval du point marquant la fin de solidification (fermeture du puits de solidification) - point T_s sur la figure 1 - une cisaille symbolisée en 14 tronçonne la barre en l'accompagnant dans sa descente. Le tronçon une fois découpé est basculé puis évacué immédiatement pour permettre la continuité du processus de coulée.

La lingotière 12 est une lingotière caissonnée de type connu, comprenant essentiellement un élément tubulaire interne 14, en cuivre, définissant un passage pour le produit coulé et énergiquement refroidi sur sa face extérieure par une enveloppe d'eau 15 en circulation ascendante depuis une chambre d'alimentation 16 vers une chambre d'évacuation supérieure 17.

Comme on le voit, la chambre d'évacuation supérieure 17 a été suffisamment dimensionnée pour pouvoir y immerger un inducteur électromagnétique de brassage 18. Le rôle de cet inducteur, dont la présence est souhaitable mais nullement indispensable pour la mise en oeuvre de l'invention, sera précisé ultérieurement. La même remarque vaut également pour l'inducteur 19 placé en aval de la lingotière et agissant, comme on le voit, déjà en amont la zone de solidification pâteuse Δh .

Conformément à une caractéristique essentielle de l'invention une batterie d'inducteurs étagés (ici au nombre de trois) 20, 20', 20" entoure la barre coulée sur la portion δh de la hauteur métallurgique ΔH . Ces inducteurs à champ magnétique tournant, de forme annulaire et de type statique polyphasé, sont des dispositifs de brassage

électromagnétique connus et utilisés dans le domaine de la coulée continue. On pourra, au besoin, en trouver une description détaillée en se reportant, par exemple, au brevet français n° 2.211.305 (CEM).

Selon l'invention, chaque inducteur délivre un champ magnétique tournant dont le sens de rotation est opposé à celui du, ou des inducteurs qui lui sont immédiatement voisins. Cette disposition, comme on l'a déjà expliqué, permet d'améliorer les résultats obtenus par rapport à un champ tournant uniforme sur toute la portion de brassage δh .

10 Dans une autre variante, les inducteurs 20, 20', 20" délivrent des champs magnétiques tournant dans le même sens au même moment, auquel cas on a avantage, pour les raisons déjà évoquées, d'inverser périodiquement le sens de rotation du champ. A cet égard, la règle à respecter est que tout volume élémentaire de métal liquide qui, au
15 cours de l'extraction du produit coulé, pénètre dans la portion δh soit, avant d'en sortir, soumis à un champ magnétique dont le sens de rotation s'inverse au moins une fois.

L'application de cette règle dépend bien entendu des conditions locales d'exploitation et, notamment, de la vitesse d'extraction du
20 produit coulé, en liaison avec la longueur de la portion brassée δh . Ainsi dans l'exemple considéré où la vitesse d'extraction est de 0,7 m/mn et δh de 4,5 m, le temps de séjour minimal de tout volume élémentaire de métal dans la portion brassée δh est donc d'environ 6 minutes et demie. Dans ces conditions, la règle précitée est respectée
25 si l'on brasse dans chaque sens par exemple durant 3 mn environ, un temps de pose de quelques dizaines de sec. entre les deux séquences de brassage étant alors prévu pour l'atténuation naturelle du mouvement avant de rebrousser de sens de circulation. Rien entendu, on peut diminuer la durée de chaque séquence, ce qui a pour effet de multiplier
30 le nombre d'inversions du champ pendant le temps de séjour du métal dans la portion δh et, par conséquent, d'augmenter l'effet de cisaillement recherché. On comprend, cependant, qu'il n'est pas souhaitable de réduire la durée des séquences de brassage en-dessous d'un certain seuil, (généralement de l'ordre de 20 à 40 sec. selon les
35 conditions d'exploitation), à partir duquel l'action du champ n'est plus suffisamment entretenue pour vaincre l'inertie de la masse liquide à brasser.

A ce titre, il est tout-à-fait avantageux, ainsi que le montre
39 la figure 2, de prévoir, juste en amont de la portion δh , l'inducteur

de brassage supplémentaire 19, dont le champ magnétique produit tourne en synchronisme avec celui délivré par l'inducteur 20 afin précisément de pallier la résistance au mouvement qu'oppose le métal liquide et assurer de cette manière une mise en rotation de celui-ci déjà à l'entrée de la zone à brasser 8h.

On souligne que, sur la figure 2, la taille de l'inducteur 19 a été volontairement réduite comparativement à celle des inducteurs 20, 20', 20'', dans le seul but de bien le différencier pour ne pas nuire à la compréhension de l'invention. Il est clair que sa taille, de même d'ailleurs que sa réalisation, peuvent être tout-à-fait semblables à celles des inducteurs 20.

Il va de soi que ce qui vient d'être dit au sujet des inversions périodiques du champ magnétique peut être réalisé, non seulement avec la batterie d'inducteurs structurellement indépendants, 15 20, 20', 20'', mais également avec un inducteur unique suffisamment dimensionné pour que sa longueur utile d'entrefer (hauteur d'action du champ) puisse couvrir la portion 8h. On comprend cependant qu'une batterie d'inducteurs indépendants sera souvent préférée, pour de simples raisons de commodité, lorsque la portion 8h à brasser présente 20 une trajectoire courbe.

Conformément à une mise en oeuvre préférée de l'invention, on soumet en outre le métal liquide à un brassage déjà au sein même de la lingotière 12. Comme le montre la figure 2, ceci peut se faire à l'aide de l'inducteur électromagnétique 18 logé dans la chambre d'eau 25 supérieure 17. L'inducteur 18, retenu dans cet exemple, est du type statique polyphasé entourant le produit coulé et délivrant un champ magnétique tournant. On rappelle que la réalisation d'inducteurs de ce genre, de même que leur utilisation au sein d'une lingotière de coulée continue en tant que dispositif de brassage du métal, ainsi que les 30 résultats favorables d'un tel brassage sur la qualité métallurgique des produits obtenus, font déjà partie de l'état connu de la technique (brevets précités). L'originalité de la variante de l'invention exposée ici réside dans la combinaison du brassage en lingotière et du brassage en zone pâteuse 8h, conduisant à une conjugaison bénéfique de leurs 35 effets, lesquels se manifestent notamment par l'obtention d'un puits de solidification moins profond et à fond aplati, de sorte que la portion 8h à brasser se trouve, d'une part, raccourcie en hauteur et, d'autre part, élargie en section, ce qui va dans le sens d'un brassage à la 39 fois plus économique et plus efficace.

Par ailleurs, on est en droit d'admettre également une efficacité accrue du brassage dans la zone δh , à l'encontre de la formation des canaux ségrégés, par le fait que le métal liquide mis en circulation est chargé en particules solides qui, grâce à l'action de brassage en lingotière, ont pris naissance en amont de la zone δh par élagage des têtes de dendrites, ou par germination cristalline au sein de la phase liquide 4.

La modification du profil du puits de solidification occasionnée par la mise en service de l'inducteur 18 au sein de la lingotière n'a pas été représentée sur la figure 2 pour ne pas la surcharger inutilement.

Les figures 3 sont des reproductions photographiques d'empreintes "Baumann" effectuées en coupe axiale longitudinale du produit coulé (acier de nuance 100C6). Elles illustrent, par mise en relief de la ségrégation du soufre, les résultats métallurgiques comparatifs obtenus entre un produit non brassé (figure 3a) et un produit brassé, d'une part, à l'aide d'un champ magnétique tournant permanent (figure 3b), d'autre part, à l'aide d'un champ magnétique tournant alterné (figure 3c).

On se rend bien compte que les canaux ségrégés 21 (en noir) en forme de "V" ainsi que le collecteur central 22, très accusés sur la figure 3a, sont nettement atténués lorsque le métal est brassé dans la zone δh conformément à l'invention (figure 3b) et pratiquement absents - ou tout au moins sans conséquences sensibles sur la qualité du produit - lorsque le sens de rotation du champ magnétique est alterné (figure 3c).

On notera sur les figures 3b et 3c la présence de bandes latérales claires 23, donc très appauvries en éléments ségrégés, et qui, comme on le sait, sont très caractéristiques des produits brassés coulés en continu. On sait aussi que la localisation de ces bandes 23, habituellement dénommée "zones blanches", ainsi que leur épaisseur, peuvent être reliées d'une certaine manière à la localisation et à l'étendue de l'action de brassage sur la hauteur métallurgique.

Il va de soi que l'invention ne saurait se limiter aux exemples décrits, mais s'étend à de multiples variantes ou équivalents dans la mesure où sont respectées les caractéristiques énoncées dans les revendications jointes.

Ainsi, il faut entendre par le vocable "au moins" utilisé ci-avant dans l'expression "...il importe que le métal liquide soit

brassé... au moins dans la portion $\delta h...$ ", la possibilité, non seulement d'initier le brassage en amont de cette portion pour compenser l'inertie du métal, mais également de poursuivre l'action de brassage en aval du niveau T_i sur la hauteur métallurgique où la proportion pondérale de solide dans la phase liquide atteint 40%. On aura compris cependant, qu'il n'y a guère d'intérêt, dans le cadre des résultats visés par l'invention, de continuer à brasser jusqu'au proche voisinage du fond T_s du puits de solidification.

En fait, les essais ont montré qu'on ne décèle plus d'amélioration significative de la qualité interne du produit lorsqu'on prolonge le brassage au-delà du niveau où la proportion solide/liquide est d'environ 60% en poids et que l'essentiel de cette amélioration est obtenue, comme le montre notamment la figure 3c, lorsqu'on atteint une proportion de 40% environ.

REVENDEICATIONS

1°) Procédé de brassage électromagnétique des métaux, notamment des aciers, coulés en continu, procédé selon lequel on met le métal liquide coulé en rotation autour de l'axe de coulée à l'aide d'un champ magnétique tournant autour dudit axe et qui agit en aval de la lingotière, dans la zone du refroidissement secondaire de la machine de coulée, et caractérisé en ce que l'on applique le champ magnétique tournant au moins sur une portion (δh) de la hauteur métallurgique $10(\Delta H)$, comprise entre le niveau (T_L) où le coeur (4) encore liquide du produit coulé atteint sur l'axe de coulée (2) la température de liquidus du métal coulé et le niveau (T_i) où ledit coeur présente une proportion de solide dans la phase liquide de l'ordre de 40% en poids environ, et en ce que l'on règle l'action du champ magnétique de façon 15 que le métal soit soumis, au cours de la coulée, à un champ magnétique tournant de sens de rotation alternée.

2°) Procédé, selon la revendication 1 caractérisé en ce que, dans le but de compenser le retard au mouvement qu'oppose le métal liquide en raison de son inertie, l'on initie l'action du champ 20 magnétique mobile déjà en amont du niveau (T_L) auquel le coeur liquide (4) atteint sur l'axe (2) la température de liquidus du métal coulé.

3°) Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'on inverse périodiquement le sens de déplacement du champ magnétique.

4°) Procédé selon les revendications 1 ou 3 caractérisé en ce 25 que l'on met en oeuvre un champ magnétique mobile, constitué par une pluralité de champs magnétiques élémentaires s'étageant sur la hauteur métallurgique et dont les sens de déplacement sont opposés deux à deux.

5°) Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que l'on brasse le métal liquide coulé 30 déjà au sein même de la lingotière.

6°) Procédé selon la revendication 5 caractérisé en ce que l'on réalise ledit brassage en faisant agir un champ magnétique mobile au niveau de la lingotière.

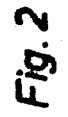
7°) Installation de coulée continue des métaux pour la mise en 35 oeuvre du procédé selon les revendications 1 et 4 caractérisée en ce qu'elle comprend, dans la zone du refroidissement secondaire, une batterie d'inducteurs à champs magnétiques tournants (20, 20', 20''), qui entourent le produit coulé et qui sont disposés de façon étagée le 39 long de la hauteur métallurgique (ΔH) sur une portion (δh) de celle-ci

s'étendant, au moins, depuis le niveau auquel le coeur liquide (4) du produit coulé (13) atteint sur l'axe de coulée (2) la température de liquidus (T_l) du métal coulé, jusqu'au niveau (T_i) auquel la proportion de solide dans la phase encore liquide est d'environ 40% en poids.

5 8°) Installation de coulée continue selon la revendication 7 caractérisée en ce qu'elle est équipée d'un inducteur de brassage (19) disposé dans le prolongement supérieur de la batterie d'inducteurs (20, 20', 20").

9°) Installation de coulée continue selon les revendications 7
10 ou 8 caractérisée en ce qu'elle est équipée d'un inducteur de brassage (18) disposé au niveau de la lingotière (12).

10°) Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 caractérisé en ce qu'on l'applique à la coulée continue des métaux, notamment des aciers, présentant un large intervalle de solidification.



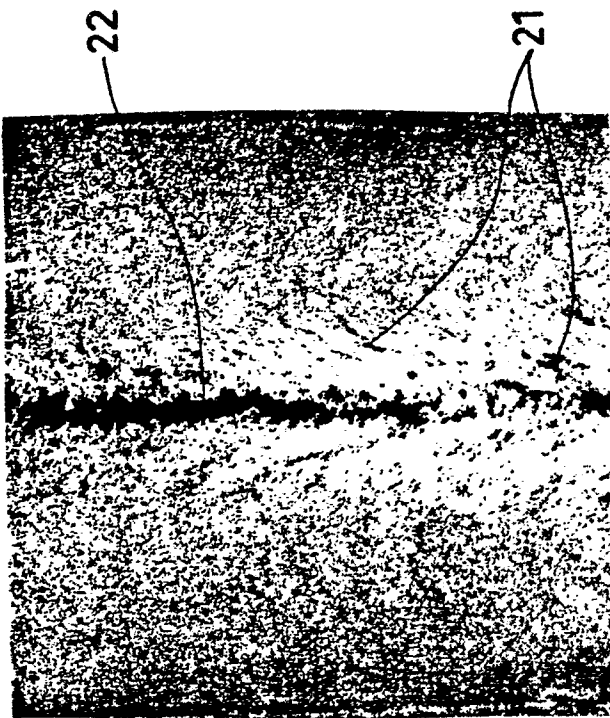


Fig. 3a

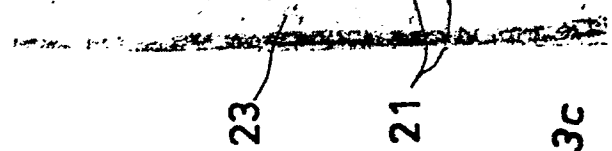
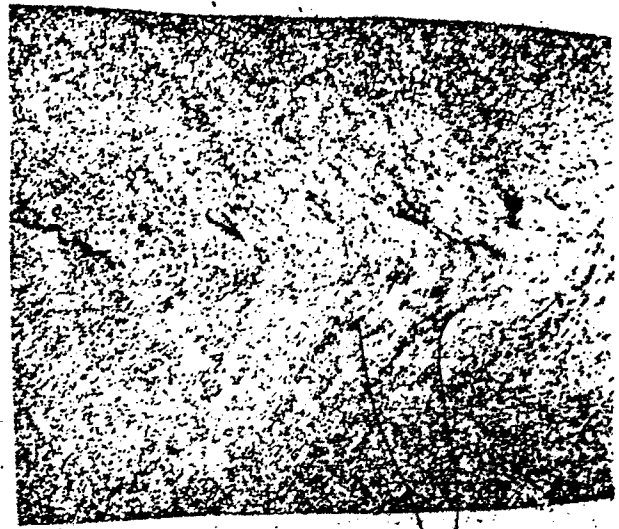


Fig. 3c

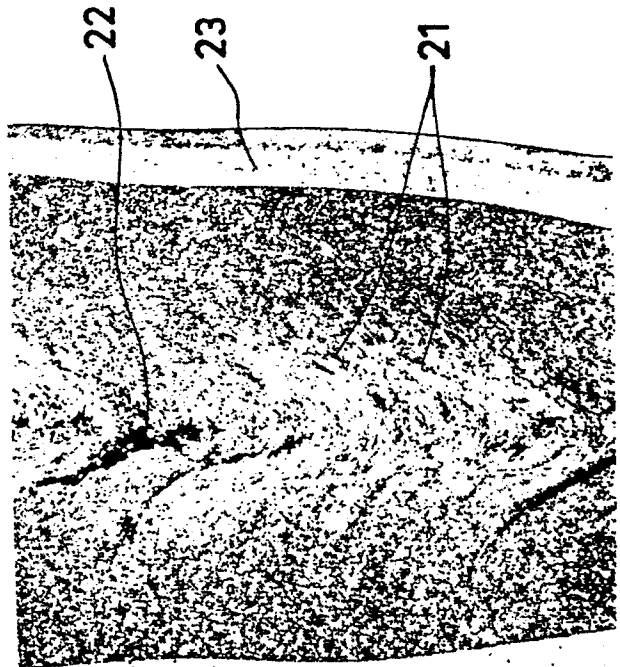


Fig. 3b



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0098214

Numéro de la demande

EP 83 40 1299

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 3)
Y, D	FR-A-2 236 584 (IRSID) * Figure 1; page 4, ligne 13 - page 5, ligne 2; page 8, lignes 1-4; page 15 *	1, 2, 5, 7	B 22 D 11/12
Y	FR-A-1 086 957 (S. JUNGHANS) * Revendication 3 *	1	
Y	US-A-4 016 926 (N. YAMADA et al.) * Figures 1-4; colonne 3, ligne 63 - colonne 5, ligne 56 *	1, 5, 7	
Y	FR-A-1 115 505 (MANNESMANN AG.) * Figure 1; page 1, colonne de droite, ligne 31 - page 2, colonne de gauche, ligne 4; revendication 2 *	4	
Y	2048 TECHNIQUES CEM, no. 111, juin 1981, pages 2-10, Paris, FR. S. KUNSTREICH et al.: "Le brassage électromagnétique dans le refroidissement secondaire des coulées continues de billettes et de blooms" * Pages 4, 5; figures 8, 9 *	1, 2, 4, 5	
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 02-09-1983	Examineur STEIN K.K.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			Page 2
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 3)
Y	CAHIERS D'INFORMATIONS TECHNIQUES, vol. 78, no. 3, mars 1981, pages 239-242, Paris, FR. T. MORI et al.: "Développement du brassage électromagnétique en coulée continue de blooms" * Page 239 "Introduction", colonne de droite *	5, 6, 9	
Y	--- DE-B-2 922 203 (MANNESMANN) * Colonne 1, lignes 25-33 *	3	
A	--- DE-A-2 912 539 (LICENTIA PATENT-VERWALTUNGS-GmbH.) -----		
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 3)
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 02-09-1983	Examineur STEIN K.K.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			