



⑫ **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

④⑤ Date de publication du fascicule du brevet :
21.07.93 Bulletin 93/29

⑤① Int. Cl.⁵ : **B22D 11/124, B22D 11/10,
B22D 11/12**

②① Numéro de dépôt : **89401150.1**

②② Date de dépôt : **21.04.89**

⑤④ **Procédé de refroidissement d'un produit métallique coule en continu.**

③① Priorité : **13.05.88 FR 8806743**

④③ Date de publication de la demande :
15.11.89 Bulletin 89/46

④⑤ Mention de la délivrance du brevet :
21.07.93 Bulletin 93/29

⑥④ Etats contractants désignés :
AT BE CH DE ES GB GR IT LI LU NL SE

⑤⑥ Documents cités :
EP-A- 0 054 867
FR-A- 2 211 305
FR-A- 2 231 454
FR-A- 2 315 344
LU-A- 67 753
US-A- 3 512 574
US-A- 3 771 584

⑦③ Titulaire : **ASCOMETAL**
Immeuble Elysées-La Défense 29, Le Parvis
F-92800 Puteaux (FR)

Titulaire : **UGINE**
Immeuble "Ile de France", La Défense 9, 4,
Place de la Pyramide
F-92800 Puteaux (FR)
Titulaire : **UNIMETAL Société Française des**
Aciers Longs
47, rue Haute Seille
F-57000 Metz (FR)

⑦② Inventeur : **Bobadilla, Manuel**
12, Résidence du Petit Moulin
Chatel-Saint-Germain
F-57160 Moulins-Lès-Metz (FR)
Inventeur : **Martinot, Michel**
4, rue des Oeilletts Chatel-Saint-Germain
F-57160 Moulins-Lès-Metz (FR)
Inventeur : **Jolivet, Jean-Marc**
Route de Metzeresche
Rurange-Lès-Thionville
F-57310 Guenange (FR)

⑦④ Mandataire : **Ventavoli, Roger et al**
IRSID Service de la Propriété Industrielle B.P.
320 Voie Romaine
F-57214 Maizières-lès-Metz Cédex (FR)

EP 0 342 082 B1

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).

Description

La présente invention concerne un procédé de refroidissement d'un produit métallique en cours de coulée continue destiné à réduire, voire éliminer la présence d'une importante zone ségrégée dans la partie centrale du produit. Ce procédé est avantageusement applicable à la coulée continue de produits en acier réputés difficilement coulables selon cette technique, comme les aciers ayant un large intervalle de solidification, c'est-à-dire par exemple ceux dont la teneur en carbone se situe entre 0,25 et 1,5% environ.

Pour la bonne compréhension de ce qui va suivre, on aura avantage à se représenter le produit en cours de solidification comme la combinaison de trois corps concentriques, à savoir : un anneau constitué par la croûte externe, ou peau, déjà solidifiée, enserrant un autre anneau à l'état pâteux, lequel entoure le coeur liquide de métal en fusion. Par état pâteux, on entend un état où le métal se trouve à une température comprise entre le liquidus et le solidus, et où coexistent dans des proportions variables du métal liquide et des cristaux solides. Au cours de l'extraction du produit, celui-ci défile lentement le long de la machine en étant refroidi, de sorte que la solidification progresse de la périphérie vers le centre. Le coeur liquide et l'anneau pâteux présentent ainsi des profils coniques dont les pointes sont orientées vers le bas de la machine. Les interfaces entre ces différents corps concentriques constituent, respectivement, comme on a l'habitude de les désigner, les fronts de solidification finissante et commençante. A un stade avancé de la solidification, le coeur liquide disparaît (fond du puits de solidification commençante), et seuls subsistent une croûte solidifiée et un coeur pâteux. A un stade ultérieur, la zone pâteuse disparaît à son tour (fermeture du puits de solidification finissante) et le produit est complètement solidifié.

La solidification et le refroidissement du produit en cours de coulée sont normalement assurés dans trois zones successives de la machine de coulée continue, à savoir, dans le sens de progression du produit au cours de son extraction :

- la lingotière, où le métal liquide entre en contact avec des parois bonnes conductrices de la chaleur et énergiquement refroidies par circulation d'eau. C'est dans cette zone, dite de refroidissement primaire que débute la formation de la peau solidifiée qui enserre le coeur liquide du produit, et que le produit prend sa forme définitive ;
- la zone dite de "refroidissement secondaire", qui débute juste en-dessous de la lingotière et s'étend sur une longueur variable selon les conditions locales. Dans cette zone, la peau solidifiée du produit en défilement est arrosée par un fluide refroidissant (généralement de l'eau pulvérisée, ou un mélange-air eau), ce qui

a pour effet d'accélérer la progression des fronts de solidification commençante et finissante vers l'intérieur du produit. Cependant, à l'endroit où cesse l'aspersion d'eau, la solidification complète du produit n'est pas réalisée, et le coeur du produit demeure à l'état liquide ;

- et la portion de la machine qui fait suite à la zone de refroidissement secondaire. Le produit en défilement n'y est plus arrosé et se refroidit de façon naturelle. C'est dans cette zone que s'achève la solidification du coeur du produit.

Le refroidissement forcé du produit en lingotière et après sa sortie de la lingotière procure une croissance rapide de l'épaisseur de peau solidifiée, afin de limiter les risques de percée et d'augmenter sensiblement la vitesse d'extraction du produit, dont dépend directement la productivité de la machine de coulée continue.

Par ailleurs, la solubilité dans le fer des éléments d'alliage, tels que le carbone, est plus faible lorsque le fer est à l'état solide qu'à l'état liquide. Dans l'anneau pâteux, il existe donc localement dans le liquide des différences de concentration, par exemple en carbone.

Si, au sein de l'anneau pâteux, il y a mouvement du liquide enrichi en carbone cela se traduit par la présence, au centre du produit complètement solidifié, de zones dites "ségréguées", où la concentration en carbone (et/ou autres éléments ségrégants) est sensiblement plus élevée que dans les autres régions. Les autres éléments d'alliage ont un comportement analogue à celui du carbone, et l'emplacement des zones ségréguées peut être déduit des tests appelés communément "empreintes Baumann" qui permettent de repérer la répartition du soufre sur une section polie du produit. Ces zones ségréguées, repérables également sur des attaques métallographiques, ont une influence néfaste sur l'homogénéité des propriétés mécaniques du produit. C'est ainsi que la concentration relativement plus importante en carbone au centre conduit à une dureté plus élevée dans ces zones que dans le reste du produit après laminage.

Ce phénomène est particulièrement marqué dans le cas des aciers très chargés en éléments d'alliage, tels que ceux contenant 0,5 à 1,5 % de carbone et couramment appelés aciers à large intervalle de solidification, comme la nuance d'acier à roulements 100 C6 par exemple. Une "empreinte Baumann" réalisée sur un échantillon du produit prélevé selon l'axe longitudinal de celui-ci montrerait que les ségrégations se répartissent autour de l'axe du produit suivant des "vés" dont les mécanismes de formation ne sont d'ailleurs pas encore totalement élucidés.

On a tenté de résoudre ce problème par l'application d'un brassage électromagnétique du métal dans la zone de solidification pâteuse de manière à forcer le liquide ségrégué à se répartir sur une zone plus étendue. Mais ce faisant, on corrige en fait les ef-

fets sans s'attaquer vraiment aux causes du phénomène. De plus, cette technique implique l'acquisition d'au moins un inducteur de brassage, ainsi que des coûts de fonctionnement non négligeables

Le but de la présente invention est de proposer une solution simple et économique pour réduire, voire éliminer les zones fortement ségrégées dans le coeur des produits coulés en continu, en s'attaquant à la cause même responsable de leur formation. Elle peut s'ajouter ou se substituer à un brassage électromagnétique dans la zone de fin de solidification pâteuse.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de refroidissement d'un produit métallique, notamment en acier, en cours de coulée continue, caractérisé en ce qu'on réalise un refroidissement forcé du produit, alors que le produit se trouve en phase de solidification pâteuse, ce refroidissement étant mené de manière que la contraction thermique différentielle entre le coeur pâteux et la croûte déjà complètement solidifiée qui l'enveloppe, provoque en permanence un effet de serrage du coeur par la croûte. Ce refroidissement est mis en oeuvre dans une zone qui s'étend au moins entre l'endroit où, en l'absence d'un tel refroidissement, la vitesse de refroidissement du coeur pâteux du produit dépasserait celle de la surface du produit, et un endroit où le comportement thermomécanique du coeur pâteux en cours de refroidissement est identique à celui de la croûte extérieure solidifiée.

Comme on l'aura compris, l'invention consiste en fait à se servir de la croûte extérieure solidifiée comme d'un étai qui accompagne la contraction du coeur lors du refroidissement. Autrement dit, le diamètre intérieur de l'anneau formé par la croûte solidifiée doit diminuer plus vite que ne diminuerait le diamètre du coeur pâteux si la croûte n'exerçait aucune action sur le coeur. Cet étai est mis en action, par la thermique, simplement au moyen d'un refroidissement accéléré de la surface du produit dans la partie basse de la machine, là où habituellement on laissait le produit se refroidir naturellement.

On a indiqué plus haut que les causes de formation des "vés" ségrégés dans la partie centrale du produit coulé n'étaient pas à ce jour parfaitement identifiées et expliquées.

Toutefois, l'hypothèse faite par les inventeurs comme étant la plus probable et qui sous-tend la présente invention, peut être schématiquement exposée de la façon suivante.

Lors de la traversée de la zone de refroidissement secondaire, la peau du produit se refroidit rapidement, alors que le coeur liquide demeure à une température presque constante. Au passage du produit dans la zone de refroidissement naturel, le refroidissement de la peau, qui n'est plus arrosée, devient beaucoup plus lent. D'autre part, compte tenu de la longueur habituelle de la zone de refroidissement secondaire, c'est seulement lorsque le produit est déjà largement engagé dans la zone de refroidissement

naturel que la température du coeur (qui se trouve alors dans l'état pâteux), tend à s'abaisser sensiblement.

La partie interne pâteuse du produit se refroidit alors plus rapidement que la couche solide qui l'enveloppe et subit une plus forte contraction thermique. Les contraintes mécaniques ainsi créées se libèrent par formation de fissures dans le bloc central préalablement "pâteux", fissures dans lesquelles peut pénétrer par aspiration, du liquide fortement ségrégué.

Ainsi, dans le produit complètement solidifié, les emplacements de ces fissures seront repérés par leur concentration élevée en éléments d'alliage, conduisant aux défauts cités plus haut.

Dans le cas des aciers fortement chargés en éléments d'alliage, tels que le carbone, comme le 100 C6 par exemple, l'écart entre les températures de début et de fin de solidification est relativement important, et la solidification pâteuse est donc susceptible de s'effectuer sur une zone plus étendue que dans le cas des nuances peu alliées. Ceci, joint à une plus grande sensibilité à la ségrégation des éléments entre les phases liquide et solide, explique pourquoi les nuances alliées sont à ce point sujettes à la formation de zones ségrégées dans la région axiale des produits coulés en continu. Dans certains cas extrêmes, de tels défauts rendent impossible l'obtention de produit finis d'une qualité suffisante, et imposent de devoir renoncer à les produire par coulée continue.

On vient de voir rapidement comment l'invention, en provoquant une contraction thermique de la croûte solide périphérique, contrecarre les velléités du produit à former ces fissures internes responsables des zones centrales fortement ségrégées. Toutefois l'invention sera bien comprise et d'autres caractéristiques et avantages ressortiront de la description détaillée suivante donnée en référence aux planches de dessins annexées, sur lesquelles :

- la figure 1 représente schématiquement une installation de coulée continue courbe de demi-produits en acier, de conception classique ;
- la figure 2 représente l'installation de la figure 1, modifiée selon l'invention par adjonction d'une rampe de refroidissement dans la zone de fin de solidification, du produit ;
- la figure 3 montre un cas d'évolution des vitesses de refroidissement de la surface et du coeur du produit au cours de son défilement dans la partie inférieure de la machine. Sont figurés les deux cas de l'absence et de la présence d'un dispositif de refroidissement dans la zone de fin de solidification du produit.

La figure 1 est une coupe schématique longitudinale d'une installation classique de coulée continue, et elle présente notamment le produit en cours de solidification. Une poche, non représentée, alimente en acier liquide 1 un panier répartiteur 2. L'acier liquide 1 s'écoule ensuite dans une ou plusieurs lingotières

3 aux parois en cuivre ou alliage de cuivre énergiquement refroidies par eau. C'est dans chacune de ces lingotières ou zones de refroidissement primaire (X) que s'amorce par sa périphérie la solidification d'un produit 4 qui prend ainsi sa section définitive. La lingotière montrée par la figure 1 présente une courbure, et celle-ci se retrouve sur le produit. Le cas de la lingotière droite donnant naissance à un produit droit est également rencontré dans la pratique industrielle. Juste en-dessous de la lingotière 3 débute la zone de refroidissement secondaire (Y) dans laquelle le produit 4 est arrosé sur une longueur variable selon les machines par une rampe d'injecteurs 5. Ceux-ci projettent sur tout le pourtour du produit un fluide refroidissant, généralement de l'eau pulvérisée ou atomisée. Vient ensuite la zone de refroidissement naturel (Z), où une machine classique telle que celle schématisée ne comporte pas de moyens de refroidissement du produit. Dans la partie inférieure de la machine se trouvent les moyens (non représentés) de décintrage du produit, chargés de lui donner une forme droite, et des moyens (non représentés) de tronçonnage du produit pour sa mise à longueur.

La figure 1 permet de distinguer plusieurs régions concentriques à l'intérieur du produit en cours de coulée, correspondant à l'état physique de la matière qu'elles renferment. Dans une section de produit située dans la partie supérieure de la machine (par exemple dans la zone Y), on rencontre successivement trois régions. A coeur (région 6) le métal se trouve entièrement à l'état liquide ; la section de cette zone diminue au fur et à mesure de la solidification du produit, et après le point de fermeture du puits liquide 7, on ne trouve plus de métal liquide seul. Autour du coeur liquide 6, une région pâteuse 8, correspondant au métal en cours de solidification, renferme à la fois du liquide et du solide. La proportion de ce dernier augmente à mesure que la température diminue. Autour de la région pâteuse, la croûte 9 n'est constituée que de métal solidifié. Au-delà du point de fermeture du puits de solidification finissante 10, cette région 9 recouvre l'ensemble du produit, dont la solidification est alors achevée. La zone de l'installation qui s'étend entre le ménisque et le niveau correspondant au point de fermeture du puits de solidification finissante 10 est appelée "longueur métallurgique".

La figure 2 présente la machine de coulée continue de la figure 1 modifiée selon l'invention. Les éléments communs avec la figure 1 sont repérés par les mêmes chiffres. La différence entre les deux configurations réside dans l'adjonction à la machine originale d'une deuxième rampe d'injecteurs 11, située dans la zone (Z) de la machine où le produit achève sa solidification.

La figure 3 montre des exemples d'évolution de la vitesse V de refroidissement du métal en surface et à coeur au fur et à mesure de l'avancement du produit dans la zone (Z) de la machine où il achève sa so-

lidification. Cet avancement est exprimée par la distance D au ménisque, c'est-à-dire la surface du métal liquide en lingotière. Les courbes ont été tracées à l'aide de modèles mathématiques similaires à ceux dont disposent les utilisateurs de machines de coulée continue. Elles sont valables pour les conditions de coulée suivantes :

- format du produit : billettes de section carrée, de 105 mm de côté,
- composition du produit : acier à 0,7 % de carbone,
- vitesse d'extraction du produit : 3,3 m/min.

Dans ces conditions la solidification complète du produit est réalisée à une distance de 11,20 m du ménisque, marquée sur la figure par la ligne S.

Les courbes A et B correspondent au cas de la figure 1, où le produit, dans la partie terminale de la machine, n'est soumis à aucun refroidissement forcé. La courbe A représente la vitesse de refroidissement en surface du produit. Elle montre que cette vitesse reste sensiblement constante (soit une perte de 0,5°C/s) sur toute la longueur de la zone considérée. La courbe B représente la vitesse de refroidissement du coeur pâteux du produit. Elle montre que, au début de la zone considérée, la température du coeur pâteux reste pratiquement constante, comme la vitesse de refroidissement apparaît proche de 0°C/s. Ce n'est qu'à partir d'une distance au ménisque d'environ 8 m que le refroidissement du coeur pâteux s'accélère de façon notable. A une distance au ménisque de 9,5 m, la courbe B coupe la courbe A. Cela signifie qu'au-delà de ce point, le coeur pâteux commence à perdre plus de 0,5 °C/s, et donc que la vitesse de refroidissement du coeur pâteux commence à excéder la vitesse de refroidissement de la surface du produit. Cela entraîne une contraction thermique du coeur plus forte que celle de la surface, phénomène dont on a vu que, selon l'hypothèse faite par les inventeurs, il était à l'origine des défauts sur le produit que l'invention a pour but d'éviter.

Les courbes C et D correspondent au cas de la figure 2, où le produit, conformément à l'invention, est soumis à un refroidissement forcé dans la zone (Z) de fin de solidification au moyen de la rampe d'injecteurs 11. Ces courbes ont été tracées dans l'hypothèse où le produit est arrosé, entre les distances au ménisque 8,40 m et 11,20 m, par de l'eau à un débit de 12 m³ par heure et par m² de produit arrosé, ce débit étant réparti de façon homogène sur l'ensemble de la zone d'arrosage. La distance au ménisque de 8,40 m a été choisie d'après les courbes A et B de la Figure 3, c'est-à-dire une distance qui est inférieure à la distance de 9,50 m à laquelle, en l'absence d'une telle zone d'arrosage (cas de la figure 1), la vitesse de refroidissement du coeur pâteux commence à excéder la vitesse de refroidissement de la surface du produit. La courbe C représente, lorsque le produit est arrosé selon l'invention, la vitesse de refroidissement de la sur-

face du produit, et la courbe D représente dans les mêmes conditions la vitesse de refroidissement du coeur pâteux. En amont de la zone de refroidissement, ces courbes se confondent respectivement avec les courbes A et B. Dès le début de la zone de refroidissement forcé, le refroidissement de la surface s'accélère brusquement, pour atteindre 9°C/s à la distance au ménisque 9 m. Ensuite, le refroidissement devient de plus en plus lent, à cause de la détérioration progressive de la qualité des échanges thermiques entre l'eau de refroidissement (dont le débit et la température sont constants) et le produit (dont la température diminue au fur et à mesure qu'il progresse dans la zone de refroidissement). Simultanément, le refroidissement forcé a pour conséquence d'accélérer le refroidissement du coeur pâteux, mais cet effet ne se fait sentir que tardivement (à partir de la distance au ménisque 10 m), et progressivement. En fin de compte, ce n'est qu'à une distance au ménisque de 11 m, que la courbe D coupe la courbe C. Cela signifie qu'à cette distance, le refroidissement du coeur pâteux devient plus rapide que celui de la surface du produit. A ce niveau, le coeur pâteux a pratiquement achevé de se solidifier, et son comportement thermomécanique est suffisamment proche de celui de la croûte entièrement solidifiée pour que le phénomène de contraction thermique différentielle soit négligeable, et que les "vés" ségrégés ne puissent être formés.

L'exemple décrit ci-dessus n'est, bien sûr, pas limitatif. Une figure similaire à la figure 3 peut être tracée pour toute machine de coulée continue, sur laquelle serait coulé un produit donné dans des conditions définies.

On considère que, au-delà de l'endroit où la fraction solide du coeur pâteux du produit atteint 90 %, il est inutile de poursuivre l'arrosage. Dans certains cas, il est même suffisant de n'arroser que jusqu'à une fraction solide de 60 %.

Il est conseillé de poursuivre le refroidissement forcé du produit jusqu'à environ 1 m au-delà du point de fin de solidification déterminé par le calcul. C'est dans cet esprit que sur la figure 3, la rampe de refroidissement 11 est représentée comme se prolongeant au-delà du point 10. De même, l'incertitude de calcul sur la détermination du point d'intersection entre les courbes A et B de la figure 3 est de ± 1 m environ. Le choix du point où débute le refroidissement forcé doit tenir compte de cette incertitude. Il est donc conseillé de placer les premiers injecteurs de la rampe 11 à au moins 1 m en amont dudit point d'intersection, ce qui a été fait dans l'exemple numérique de la figure 3, comme expliqué précédemment. Mais il faut également s'assurer que cet avancement du début du refroidissement ne provoque pas un croisement prématuré des courbes C et D de la figure 3, c'est-à-dire qui aurait lieu en un point où la fraction solide du coeur pâteux serait inférieure à 60 % au moins.

Les débits d'eau de refroidissement recommandés sont de l'ordre de 8 à 15 m³/h et par m² de métal arrosé. Préférentiellement, on choisit un débit de 12 m³/m².h.

Ce procédé est aisément adaptable à toutes les machines de coulée continue destinées à la fabrication de produits en acier. Il est plus spécialement conçu pour la coulée de nuances d'acier contenant environ de 0,25 à 1,5 % de carbone.

Une variante de ce procédé consisterait à concevoir la rampe de refroidissement 11 de façon que le débit de fluide refroidissant varie entre le début et la fin de la zone de refroidissement. La valeur du débit global moyen sur l'ensemble de la zone serait inchangée par rapport à la configuration décrite précédemment. De cette façon, il serait possible de mieux contrôler le flux de chaleur extrait du produit le long de la zone de refroidissement, dans le but d'atténuer la diminution, visible sur la figure 3, de la vitesse de refroidissement en surface du produit. Ainsi, on augmenterait la probabilité d'avoir jusqu'à l'extrême fin de la solidification un refroidissement à coeur moins rapide qu'en peau.

D'autre part, on a remarqué qu'une bonne homogénéité du coeur du produit sur lequel on allait appliquer le procédé était favorable à la reproductibilité des bons résultats métallurgiques recherchés. On a pu constater que cette homogénéité pouvait avantageusement être obtenue par une mise en mouvement du coeur liquide dans la zone du refroidissement secondaire, ou même en lingotière. Cette mise en mouvement peut être favorablement obtenue à l'aide de moyens électromagnétiques de brassage, désormais largement connus dans le domaine de la coulée continue. Ces moyens peuvent être constitués par des inducteurs polyphasés annulaires disposés autour du produit coulé et produisant un champ magnétique tournant autour de l'axe de coulée, ou par des inducteurs polyphasés de structure plane produisant un champ glissant, parallèlement à l'axe de coulée ou perpendiculairement à ce dernier. La littérature abonde désormais à propos de ce type de brassage. Pour plus de détails, on pourra se reporter si on le souhaite aux documents suivants : le brevet français 2 315 344 pour le brassage par champ tournant en lingotière, le brevet français 2 211 304 concernant le brassage par champ tournant dans la zone du refroidissement secondaire, le brevet luxembourgeois 67 753 concernant le brassage à l'aide d'inducteurs produisant un champ glissant perpendiculairement à l'axe de coulée dans la zone du refroidissement secondaire. Les enseignements de ces différents documents sont inclus par référence dans la présente description.

Il va de soi que l'invention ne se limite pas aux exemples décrits, mais s'étend à de multiples variantes ou équivalents dans la mesure où sont respectées les caractéristiques évoquées dans les revendications jointes. En particulier, le procédé selon l'inven-

tion peut s'appliquer à des machines de coulée continue verticales, droites ou courbes, de même qu'aux machines de coulée continue horizontale, de même encore qu'aux installations existantes ou à venir pour la coulée continue directe de produits de faible épaisseur.

D'autre part l'invention ne s'applique pas limitativement aux demi-produits sidérurgiques, mais étend son domaine d'application à tout produit métallurgique coulé en continu, ou susceptible de l'être.

De même encore, l'invention s'applique indifféremment à tout produit métallurgique coulé en continu que que soit son format : blooms, billettes ou brames, notamment celles destinées au refendage pour former des blooms.

Revendications

1. Procédé de refroidissement d'un produit métallique (4), notamment en acier, en cours de coulée continue, caractérisé en ce qu'on réalise un refroidissement forcé du produit (4) lorsque celui-ci se trouve à coeur en phase de solidification pâteuse, ledit refroidissement étant mené de manière que la contraction thermique différentielle entre le coeur pâteux (8) et la croûte extérieure déjà complètement solidifiée (9) provoque en permanence un effet de serrage du coeur (8) par la croûte (9), et étant mis en oeuvre dans une zone qui s'étend le long de la machine de coulée au moins entre l'endroit où, en l'absence d'un tel refroidissement, la vitesse de refroidissement du coeur pâteux (8) du produit (4) dépasserait celle de la surface du produit (4), et un endroit où le comportement thermomécanique du coeur pâteux (8) en cours de refroidissement est identique à celui de la croûte extérieure solidifiée (9). 20
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on maintient le refroidissement de façon que l'effet de serrage du coeur pâteux (8) par la croûte solidifiée (9) se poursuive jusqu'à un point où la proportion de matière solide au sein du coeur pâteux (8) est au moins de 60 %. 40
3. Procédé selon les revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'on effectue le refroidissement forcé par projection d'un fluide refroidissant sur la surface du produit coulé (4), tel que de l'eau. 50
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'on effectue le refroidissement avec de l'eau sous un débit moyen compris entre 8 et 15 m³ par heure et par m² de produit arrosé. 55
5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'on choisit pour ledit débit moyen une va-

leur d'environ 12 m³ par heure et par m² de produit arrosé.

6. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le débit de fluide refroidissant varie entre le début et la fin de la zone de refroidissement. 5
7. Procédé selon les revendications 1, 2, ou 3, caractérisé en ce que l'on applique à la coulée de produits en acier dont la teneur pondérale en carbone est de l'ordre de 0,25 à 1,5 %. 10
8. Procédé selon les revendications 1, 2, ou 3, caractérisé en ce que, simultanément, on réalise une mise en mouvement du coeur liquide (6) du produit (4) à l'aide de moyens de brassage. 15
9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que lesdits moyens de brassage sont constitués par au moins un inducteur à champ électromagnétique mobile.
10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'on utilise un inducteur entourant le produit coulé (4) et générant un champ magnétique tournant autour de l'axe de coulée.
11. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'on utilise un inducteur de structure plane produisant un champ glissant au sein du produit coulé.
12. Installation de coulée continue de produits métalliques (4), notamment en acier, telle que, des moyens (11) de refroidissement du produit sont disposés dans la portion terminale de la longueur métallurgique, dans une zone qui s'étend le long de la machine de coulée au moins entre l'endroit où, en l'absence de tels moyens de refroidissement, la vitesse de refroidissement du coeur pâteux (8) du produit (4) dépasserait celle de la surface du produit (4), et un endroit où le comportement thermomécanique du coeur pâteux (8) en cours de refroidissement est identique à celui de la croûte extérieure solidifiée (9). 30
13. Installation de coulée continue selon la revendication 12, caractérisée en ce que lesdits moyens (11) de refroidissement sont constitués par des rampes d'arrosage projetant sur la surface du produit coulé (4) un fluide de refroidissement. 35

Patentansprüche

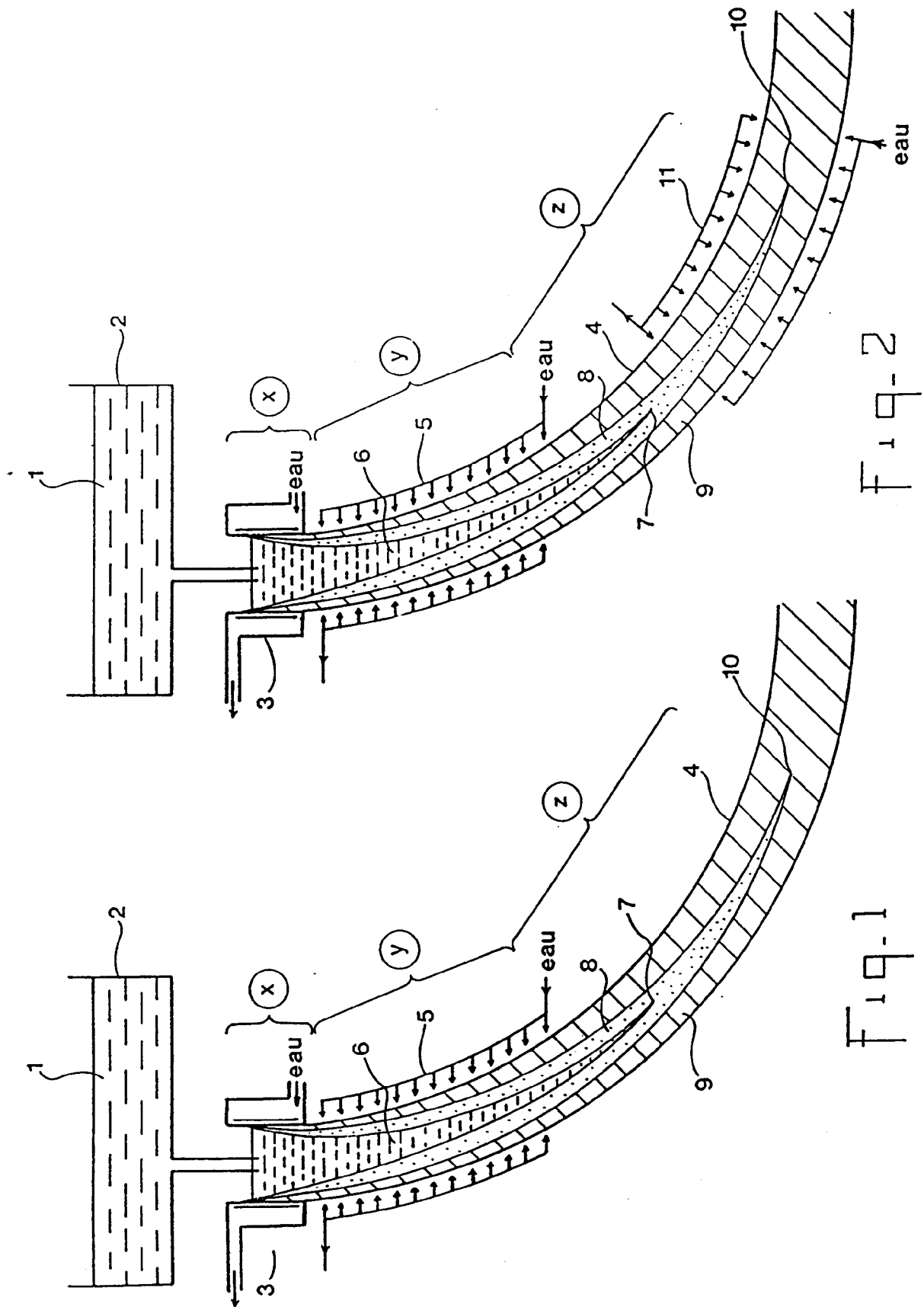
1. Verfahren zur Kühlung eines metallischen Produktes (4), insbesondere aus Stahl, während des Stranggießens, dadurch gekennzeichnet, daß ei-

- ne verstärkte Kühlung des Produktes (4) durchgeführt wird, während sich dessen Kern in einem pastösen Erstarrungszustand befindet, wobei die Kühlung derart erfolgt, daß die differentielle thermische Kontraktion zwischen dem pastösen Kern (8) und der äußeren bereits vollständig erstarrten Gußhaut (9) einen permanenten Einklemmeffekt des Kerns (8) durch die Gußhaut (9) bewirkt und wobei sie in einem Bereich erfolgt, der sich entlang der Stranggußanlage erstreckt wenigstens zwischen der Stelle, an der in Abwesenheit einer derartigen Kühlung die Abkühlgeschwindigkeit des Kerns (8) des Produktes (4) diejenige der Oberfläche des Produktes (4) übersteigt und einer Stelle, an der das thermomechanische Verhalten des pastösen Kerns (8) während des Abkühlens identisch ist mit demjenigen der erstarrten äußeren Gußhaut (9).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlung derart aufrechterhalten wird, daß der Einklemmeffekt des pastösen Kerns (8) durch die erstarrte Gußhaut (9) andauert bis zu einem Punkt, an dem der Anteil von erstarrter Materie innerhalb des pastösen Kerns (8) wenigstens 60 % beträgt. 20
 3. Verfahren nach Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die verstärkte Kühlung durch Aufsprühen eines Kühlfluids, wie z.B. Wasser, auf die Oberfläche des gegossenen Produktes (4) erfolgt. 30
 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlung mit einer mittleren Wasserleistung erfolgt zwischen 8 und 15 m³ pro Stunde und pro m² besprühten Produkts. 35
 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Wert der mittleren Leistung zu ungefähr 12 m³ pro Stunde und pro m² besprühten Produkts gewählt wird. 40
 6. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlfluidleistung zwischen dem Beginn und dem Ende der Kühlzone variiert. 45
 7. Verfahren nach Ansprüchen 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß es auf das Gießen von Stahlprodukten angewandt wird, dessen Gewichtsanteil an Kohlenstoff in der Größenordnung von 0,25 bis 1,5 % liegt. 50
 8. Verfahren nach Ansprüchen 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß gleichzeitig eine Bewegung des flüssigen Kerns (6) des Produktes (4) mittels einer Rühranordnung bewirkt wird. 55
 9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Rühranordnung aus wenigstens einem Induktor mit beweglichem elektromagnetischen Feld besteht. 5
 10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein Induktor verwendet wird, welcher das gegossene Produkt (4) umgibt und ein sich um die Gießachse drehendes magnetisches Feld erzeugt. 10
 11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein Induktor mit ebenem Aufbau verwendet wird, der innerhalb des gegossenen Produktes ein Gleitfeld erzeugt. 15
 12. Vorrichtung zum Stranggießen metallischer Produkte (4), insbesondere aus Stahl, bei der eine Kühlanordnung (11) für das Produkt im Endbereich der metallurgischen Länge angeordnet ist in einer Zone, welche sich entlang der Gießvorrichtung erstreckt, wenigstens zwischen einer Stelle, an der bei Abwesenheit einer derartigen Kühlanordnung die Abkühlgeschwindigkeit des pastösen Kerns (8) des Produktes (4) diejenige der Oberfläche des Produkts (4) übersteigen würde und einer Stelle, an der das thermomechanische Verhalten des pastösen Kerns (8) während des Abkühlens identisch ist mit demjenigen der erstarrten äußeren Gußhaut (9).
 13. Vorrichtung zur Stranggießen nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlanordnung (11) aus Sprühdüsen besteht, welche auf die Oberfläche des gegossenen Produktes (4) ein Kühlfluid aufsprühen.

Claims

1. Process for cooling a metal product (4), in particular made of steel, during continuous casting, characterised in that forced cooling of the product (4) is performed when, at the core, the product is in a phase of pasty solidification, the said cooling being conducted so that the differential thermal contraction between the pasty core (8) and the already completely solidified shell (9) surrounding it permanently gives rise to a squeezing effect of the core (8) by the shell (9) and being implemented in a zone extending along the casting machine at least between the point where, in the absence of such cooling, the speed of cooling of the pasty core (8) of the product (4) would exceed that of the surface of the product (4) and a point where the thermomechanical behaviour of the pasty core (8) during cooling is identical to that of the solidified outer shell (9).

2. Process according to Claim 1, characterised in that the cooling is maintained so that the effect of squeezing the pasty core (8) by the solidified shell (9) is continued up to a point where the proportion of solid material within the pasty core (8) is at least 60%. 5
3. Process according to Claims 1 or 2, characterised in that the forced cooling is performed by spraying a cooling fluid, such as water, onto the surface of the cast product (4). 10
4. Process according to Claim 3, characterised in that the cooling is performed with water at a mean flow rate of between 8 and 15 m³ per hour and per m² of sprayed product. 15
5. Process according to Claim 4, characterised in that a value of approximately 12 m³ per hour and per m² of sprayed product is chosen for the said mean flow rate. 20
6. Process according to Claim 3, characterised in that the flow rate of cooling fluid varies between the start and the finish of the cooling zone. 25
7. Process according to Claims 1, 2, or 3, characterised in that it is applied to the casting of products made of steel whose content of carbon by weight is of the order of 0.25 to 1.5%. 30
8. Process according to Claims 1, 2, or 3, characterised in that, simultaneously, the liquid core (6) of the product (4) is stirred with the aid of agitation means. 35
9. Process according to Claim 8, characterised in that the said agitation means consist of at least one inductor with a movable electromagnetic field. 40
10. Process according to Claim 9, characterised in that use is made of an inductor surrounding the cast product (4) and generating a magnetic field rotating about the casting axis. 45
11. Process according to Claim 9, characterised in that use is made of an inductor of plane structure producing a sliding field within the cast product. 50
12. Installation for the continuous casting of metallic products (4), particularly made of steel, such that means (11) for cooling the product are arranged in the end portion of the metallurgical length, in a zone extending along the casting machine at least between the location where, in the absence of such cooling means, the speed of cooling of the pasty core (8) of the product (4) would exceed that of the surface of the product (4), and a location where the thermomechanical behaviour of the pasty core (8) during cooling is identical to that of the solidified shell (9). 55
13. Installation for continuous casting according to Claim 12, characterised in that the said cooling means (11) consist of spraying ramps spraying a cooling fluid onto the surface of the cast product (4).



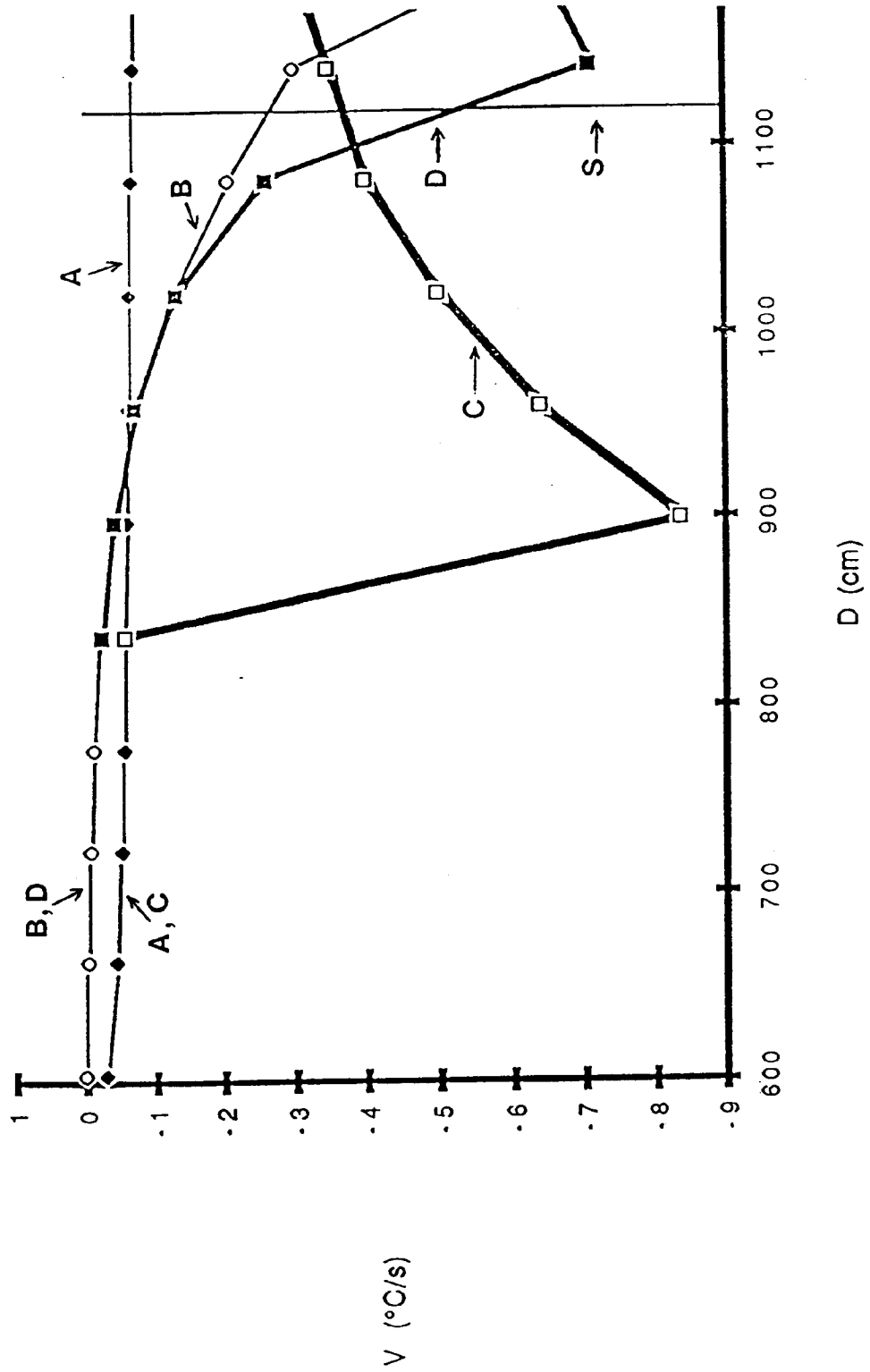


Fig. 3