



⑫ **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑳ Numéro de dépôt : **91870056.8**

⑤① Int. Cl.⁵ : **B22D 11/124**

㉔ Date de dépôt : **08.04.91**

③⑩ Priorité : **11.04.90 LU 87722**

④③ Date de publication de la demande :
16.10.91 Bulletin 91/42

⑧④ Etats contractants désignés :
AT BE DE ES FR GB IT NL SE

⑦① Demandeur : **CENTRE DE RECHERCHES
METALLURGIQUES CENTRUM VOOR
RESEARCH IN DE METALLURGIE Association
sans but lucratif
Vereniging zonder winstoogmerk Rue
Montoyer, 47
B-1040 Bruxelles (BE)**

⑦② Inventeur : **Naveau, Paul
47, Chaussée du Roi Albert
B-4432 Ailleur (BE)
Inventeur : Wilmotte, Stéphan
54, rue de la Loignerie
B-4930 Chaudfontaine (BE)**

⑦④ Mandataire : **Lacasse, Lucien Emile et al
CENTRE DE RECHERCHES
METALLURGIQUES Abbaye du Val-Benoît 11,
rue Ernest Solvay
B-4000 Liège (BE)**

⑤④ **Procédé et installation pour la coulée continue d'un métal.**

⑤⑦ Le présent procédé pour la coulée continue d'un métal comprend les opérations successives suivantes :

a) on abaisse la température du métal jusqu'à une valeur comprise entre T_f et $(T_f + 20^\circ\text{C})$ avant et/ou pendant la coulée dudit métal dans la lingotière, T_f étant la température de liquidus dudit métal, par exemple en formant un jet creux s'écoulant le long d'un conduit refroidi ;

b) on soumet le produit coulé à un refroidissement intense au moyen d'une couche continue de liquide de refroidissement sous pression formée à la surface dudit produit coulé ; et

c) on applique ensuite audit produit coulé un refroidissement modéré au moyen d'un liquide de refroidissement provenant de préférence du refroidissement intense qui précède.

On obtient ainsi des produits coulés en continu qui ne présentent pas de fissures internes ou superficielles.

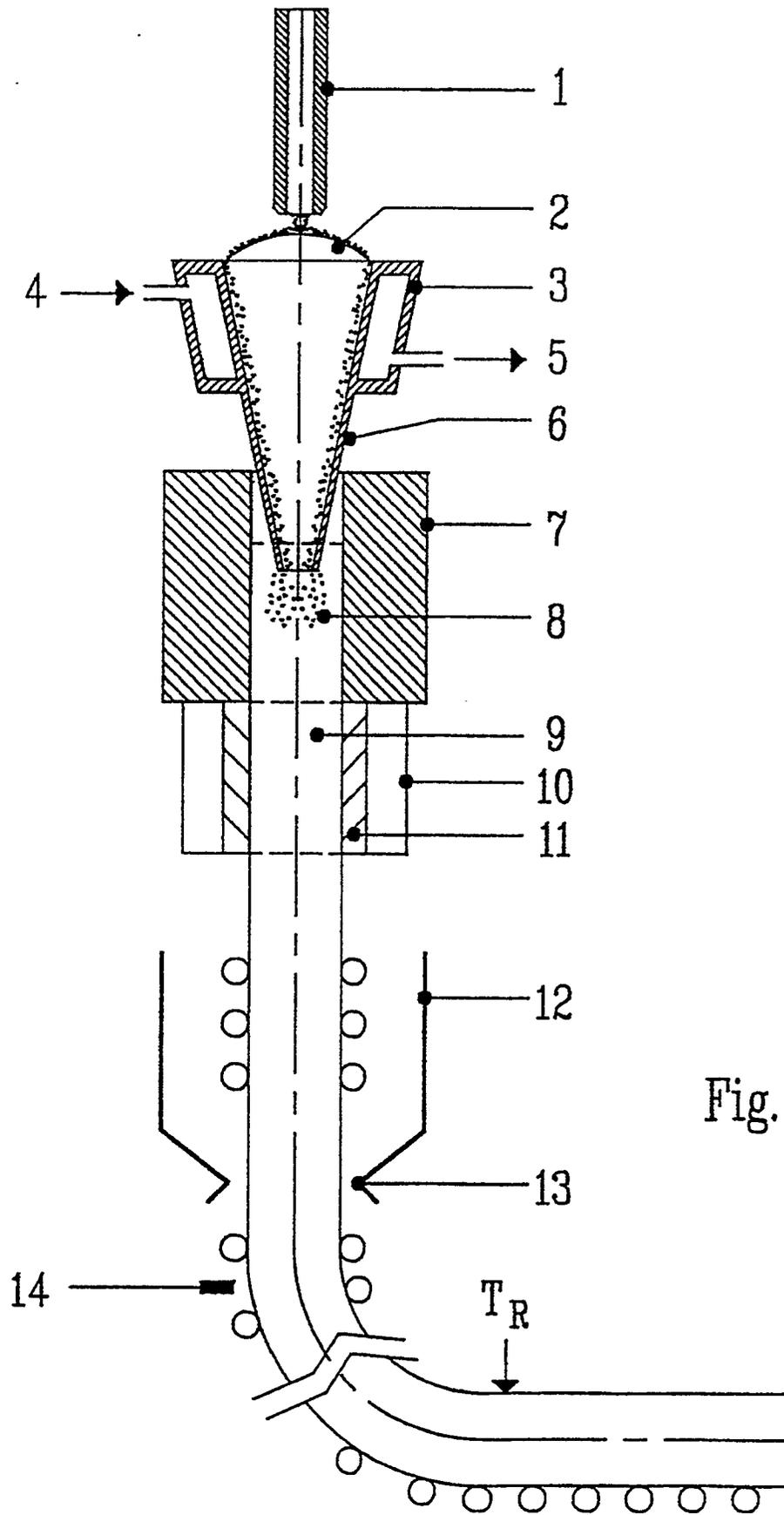


Fig.1

La présente invention concerne la coulée continue d'un métal, tel que l'acier liquide; elle porte d'une part sur un procédé et d'autre part sur une installation permettant d'effectuer la coulée continue avec une vitesse élevée.

La coulée continue est une méthode de coulée qui est à présent bien connue et largement utilisée dans la technique, et en particulier dans l'industrie sidérurgique. La description qui va suivre est spécialement consacrée à la coulée continue de l'acier, mais il va de soi que le présent procédé pourrait également trouver son application pour la coulée d'autres métaux ou alliages métalliques.

On sait que, selon son principe bien connu, la coulée continue consiste à couler l'acier à partir d'un récipient, tel qu'une poche de coulée ou un panier répartiteur, dans une lingotière sans fond dont les parois latérales sont énergiquement refroidies. L'acier subit un début de refroidissement dans cette lingotière, et il en est extrait par le fond sous la forme d'un lingot continu qui présente une peau solidifiée entourant un cœur liquide. A la sortie de la lingotière, le lingot subit un refroidissement par projection d'eau, dit refroidissement secondaire, tout en étant supporté mécaniquement pour éviter des percées, c'est-à-dire des écoulements d'acier liquide par déchirure de la peau solidifiée. Le refroidissement secondaire a pour effet d'augmenter l'épaisseur de la peau solidifiée jusqu'à une valeur où il n'existe plus de risque de percée. La longueur du lingot entre la sortie de la lingotière et le point où la solidification est totale est appelée longueur métallurgique.

Habituellement, l'acier est coulé verticalement et le lingot suit ensuite, au cours de sa solidification, une trajectoire courbe qui l'amène à l'horizontale. Le point de passage de la trajectoire courbe à la trajectoire horizontale rectiligne est généralement appelé point de redressement du lingot, parce que sa courbure y devient nulle.

Dans la pratique actuelle de la coulée continue, l'acier contenu dans le récipient de coulée présente une température supérieure à sa température de liquidus, afin d'éviter tout risque de figeage dû à un refroidissement localisé. Cette différence de température, appelée surchauffe, est typiquement de l'ordre de 25 à 35°C.

On a déjà proposé, en particulier par le brevet BE-A-08900414, un procédé de refroidissement secondaire d'un produit métallique coulé en continu, qui comprend une étape de refroidissement intense au moyen d'une couche d'eau continue sous pression, suivie d'une étape de refroidissement modéré au moyen de l'eau s'écoulant le long du produit coulé.

Ce procédé permet d'obtenir des produits qui présentent une ségrégation axiale très faible, ainsi qu'une surface pratiquement exempte de fissures. Il subsiste cependant dans ces produits des fissures internes, fermées, qui apparaissent au front de solidi-

fication.

L'objet de la présente invention est de proposer un procédé pour la coulée continue d'un métal, en particulier de l'acier, qui ne présente pas l'inconvénient précité et qui permet dès lors d'obtenir des produits coulés exempts de fissures, tant en surface qu'à l'intérieur du métal.

Conformément à la présente invention, un procédé pour la coulée continue d'un métal, dans lequel on coule ledit métal dans une lingotière sans fond et on soumet ensuite le produit coulé à un refroidissement secondaire au moyen d'un liquide de refroidissement, est caractérisé en ce qu'il comprend les opérations suivantes, en combinaison :

a) on abaisse la température du métal jusqu'à une valeur comprise entre T_f et $(T_f + 20^\circ\text{C})$ avant et/ou pendant la coulée dudit métal dans la lingotière, T_f étant la température de liquidus dudit métal;

b) on soumet le produit coulé à une première étape de refroidissement secondaire consistant en un refroidissement intense au moyen d'une couche continue de liquide de refroidissement sous pression formée à la surface dudit produit coulé; et

c) on applique ensuite audit produit coulé une seconde étape de refroidissement secondaire consistant en un refroidissement modéré au moyen d'un liquide de refroidissement assurant un coefficient d'échange de chaleur inférieur ou égal à 50 % du coefficient d'échange de chaleur réalisé par le liquide de refroidissement utilisé dans ladite première étape de refroidissement secondaire.

Suivant une première mise en oeuvre du procédé de l'invention, on abaisse la température du métal dans le récipient de coulée jusqu'à une valeur située dans la gamme de températures précitée, et on maintient la température du métal à cette valeur pendant la coulée.

Cette mise en oeuvre peut nécessiter un réchauffage du métal pour compenser les pertes thermiques par rayonnement ou convection.

Une autre mise en oeuvre particulière du procédé de l'invention consiste à abaisser la température dudit métal par un refroidissement contrôlé pendant la coulée, c'est-à-dire entre le récipient de coulée et la lingotière.

A cet effet, on forme par exemple un jet creux de métal qui s'écoule en une couche continue le long d'une paroi refroidie avant de pénétrer dans la lingotière.

Il s'est cependant avéré intéressant d'opérer cet abaissement de la température en deux étapes, à savoir une diminution limitée dans le récipient de coulée et un refroidissement complémentaire pendant la coulée.

L'invention porte également sur une installation

pour la coulée continue d'un métal, en particulier de l'acier, qui, en plus d'un récipient de coulée et d'une lingotière sans fond, comporte en combinaison :

a) des premiers moyens pour abaisser la température du métal jusqu'à une valeur comprise entre T_f et $(T_f + 20^\circ\text{C})$ avant et/ou pendant la coulée dudit métal dans la lingotière, T_f étant la température de liquidus dudit métal;

b) des deuxièmes moyens pour soumettre le produit coulé à une première étape de refroidissement secondaire consistant en un refroidissement intense au moyen d'une couche continue de liquide de refroidissement sous pression formée à la surface dudit produit coulé; et

c) des troisièmes moyens pour appliquer audit produit coulé une deuxième étape de refroidissement secondaire consistant en un refroidissement modéré au moyen d'un liquide de refroidissement.

Les premiers moyens pour abaisser la température du métal peuvent consister en un dispositif limitant le refroidissement du métal provoqué par des pertes thermiques dans le récipient de coulée, poche de coulée ou panier répartiteur; un tel dispositif peut par exemple comprendre un couvercle thermo-isolant et/ou des brûleurs.

Une autre forme de réalisation desdits premiers moyens consiste en un conduit vertical disposé entre le récipient de coulée et la lingotière, comportant à son extrémité d'entrée un organe de distribution du métal qui s'étend transversalement jusqu'à proximité de la surface intérieure dudit conduit. Ce conduit vertical est de préférence refroidi extérieurement, par exemple par circulation d'eau, sur au moins une partie de sa longueur.

Les deux formes précitées de réalisation de ces premiers moyens, ainsi que d'autres formes équivalentes, peuvent évidemment être combinées sans sortir du cadre de l'invention.

Les deuxièmes moyens, qui assurent un refroidissement secondaire intense du produit coulé, comprennent avantageusement un caisson entourant au moins partiellement et à une certaine distance le produit coulé, et dont au moins une paroi tournée vers ledit produit est percée d'orifices de passage du liquide de refroidissement.

De tels moyens de refroidissement permettent d'établir une couche continue de liquide de refroidissement sous pression à la surface du produit coulé et ainsi non seulement de le refroidir rapidement mais aussi de le supporter uniformément.

On comprendra aisément que lesdits deuxièmes moyens pourraient également être constitués, totalement ou partiellement, par tout autre dispositif de refroidissement secondaire capable d'assurer le refroidissement désiré. Par exemple, ce dispositif peut être constitué par un ensemble classique de gicleurs à eau alternant avec des rouleaux de support

du produit coulé.

Une autre façon intéressante d'assurer le refroidissement rapide désiré consiste à utiliser une enceinte entourant le produit coulé sur une longueur appropriée, la paroi intérieure de cette enceinte étant percée d'orifices dirigés vers le produit à refroidir. Cette enceinte est alimentée en eau sous pression; celle-ci s'échappe par les orifices sous la forme de jets qui viennent frapper la surface du produit coulé à refroidir et assurent son refroidissement rapide.

Selon une réalisation particulière de l'installation de l'invention, lesdits troisièmes moyens pour le refroidissement modéré du produit coulé, comprennent une enceinte située sous les deuxièmes moyens précités, qui entoure le produit coulé en définissant à son extrémité inférieure une fente de largeur calibrée avec le produit coulé. Il peut également être prévu des moyens pour mesurer la température du produit coulé à la sortie de ladite enceinte et pour régler la largeur de ladite fente en fonction de la température mesurée.

On va maintenant décrire un mode de réalisation actuellement préféré du procédé et de l'installation de l'invention, en faisant référence aux dessins annexés, dans lesquels la

Figure 1 représente schématiquement une installation combinée conforme à la présente invention; et la

Figure 2 illustre graphiquement l'amélioration obtenue par le procédé de l'invention en ce qui concerne la fissuration interne des produits coulés; la

Figure 3 illustre graphiquement l'amélioration obtenue par le procédé de l'invention en ce qui concerne la ségrégation axiale dans les produits coulés.

L'installation de coulée continue, représentée schématiquement dans la Figure 1, est disposée essentiellement sous un récipient de coulée, par exemple un panier répartiteur symbolisé par sa busette de coulée 1.

Les différents dispositifs constituant ladite installation seront décrits dans l'ordre suivant lequel ils sont traversés par le métal coulé, depuis l'état liquide jusqu'à l'état solide. Dans le cas présent, l'installation illustrée est destinée à la coulée de l'acier.

Le premier dispositif rencontré par l'acier est un organe de distribution 2, en forme de dôme, disposé dans la portion d'entrée d'un conduit vertical 3, lequel est pourvu d'un circuit de refroidissement à l'eau 4,5. Ce conduit vertical 3 se prolonge vers le bas par un tube de coulée 6.

L'acier, dévié par le dôme 2, s'écoule en une couche mince le long de la surface intérieure du conduit vertical 3, et il subit de ce fait un premier refroidissement. Le trajet de l'acier liquide est indiqué en pointillé dans la Figure 1. Ce premier refroidissement élimine une partie de la surchauffe de l'acier.

Le tube de coulée 6 est introduit dans une lingo-

tière de coulée 7, de type conventionnel, et l'extrémité inférieure de ce tube est immergée dans l'acier liquide 8 présent dans la lingotière 7. L'acier subit un refroidissement et un début de solidification dans la lingotière 7, et il sort de celle-ci sous la forme d'un lingot continu 9 présentant une peau solidifiée d'une épaisseur relativement faible.

Le lingot 9 partiellement solidifié pénètre ensuite dans un dispositif de refroidissement intense 10; celui-ci est essentiellement constitué d'un caisson entourant le lingot 9 et dont la paroi tournée vers le lingot est percée de fentes 11 inclinées dans le sens de progression du lingot 9. Ces fentes livrent passage à un liquide de refroidissement sous pression, habituellement l'eau, qui forme une couche continue entre le lingot 9 et ladite paroi et qui refroidit et supporte uniformément ledit lingot 9.

Cette eau ruisselle ensuite le long du lingot 9 et est recueillie dans une enceinte 12 qui entoure le lingot sous le caisson 10. L'extrémité inférieure de cette enceinte 12 est étranglée de façon à former une fente de sortie 13 calibrée autour du lingot 9. Du fait de cet étranglement, l'eau recueillie dans l'enceinte 12 forme un bain relativement calme où le lingot subit un refroidissement modéré. Un pyromètre 14 mesure la température de surface du lingot 9 à la sortie de l'enceinte 12 et commande éventuellement un réglage de la largeur de la fente 13.

Le lingot est finalement guidé suivant une trajectoire courbe, de façon connue en soi, jusqu'au point de redressement où il prend une trajectoire horizontale. On mesure également sa température T_R au point de redressement, car c'est elle qui conditionne certaines opérations ultérieures, en particulier l'enfournement chaud des produits coulés.

Dans une installation du type représenté dans la Figure 1, on a coulé un acier à 0,8 % C en blooms carrés de 220 mm de côté, avec différentes valeurs de la surchauffe (ΔT). Celle-ci était comprise entre 31°C et 15°C; la température des blooms au point de redressement (T_R) était comprise entre 870°C et 910°C.

Pour le type de produit et la nuance d'acier précités, la vitesse de coulée est normalement de 0,85 m/min avec une température $T_R = 930^\circ\text{C}$. Dans les conditions de l'invention, la vitesse de coulée a pu être portée à des valeurs de 1,2 m/min à 1,6 m/min sans qu'il se produise de fissures superficielles, quelle que soit la surchauffe.

Il est toutefois apparu que des surchauffes supérieures à 20°C conduisaient à une fissuration interne au front de solidification, alors que ces fissures internes ne se produisaient plus pour des surchauffes inférieures à 20°C.

Ce résultat est clairement illustré dans la Figure 2, où les points noirs représentent les coulées ayant donné lieu à des fissures internes, tandis que les points blancs représentent les coulées sans fissura-

tion.

La Figure 3 illustre l'évolution de la ségrégation axiale en fonction de la surchauffe. La ségrégation axiale est exprimée par le rapport (C_{\max}/C_0) entre la teneur en carbone maximale, essentiellement dans l'axe, et la teneur en carbone moyenne dans la section transversale du produit coulé. La surchauffe (ΔT) est exprimée en degrés centigrades. Les produits considérés ici sont des billettes carrées de 220 mm de côté, ayant une teneur en carbone nominale de 0,8 %. La Figure montre une courbe (a) représentant la variation du rapport précité dans le cas de produits coulés avec un refroidissement conventionnel et une vitesse de coulée de 0,85 m/min. L'ensemble de points (b) correspond à des produits obtenus conformément à l'invention, coulés avec une vitesse de 1,5 m/min. On voit clairement que le rapport C_{\max}/C_0 est beaucoup plus proche de 1 pour ces derniers produits, ce qui traduit une nette diminution de la ségrégation axiale grâce au procédé de coulée à surchauffe faible et de refroidissement en deux étapes proposé par la présente invention.

Le procédé de l'invention permet d'obtenir des produits présentant des propriétés optimales, en particulier une structure de solidification très fine, une ségrégation centrale pratiquement nulle, une absence totale de fissures tant internes que superficielles et une très faible porosité. Un avantage supplémentaire est que ces propriétés sont obtenues avec une vitesse de coulée sensiblement accrue par rapport à la pratique conventionnelle; la productivité de l'installation et certaines opérations ultérieures comme l'enfournement chaud s'en trouvent favorisées.

Il convient de souligner le caractère inattendu des améliorations apportées par le procédé de l'invention; il n'existe en effet pas de relation prévisible entre la diminution de la surchauffe du métal avant la coulée et le comportement de ce même métal pendant sa solidification.

Bien que l'invention ait été décrite et illustrée en faisant référence à un produit et à un acier particuliers, il va de soi que son objet n'est pas limité à cette seule application. Au contraire, de nombreuses variantes peuvent être envisagées par un homme de métier, non seulement en ce qui concerne le type de métal mais aussi dans les moyens mis en oeuvre pour assurer les divers refroidissements requis par le procédé revendiqué.

Revendications

1. Procédé pour la coulée continue d'un métal, dans lequel on coule ledit métal dans une lingotière sans fond et on soumet ensuite le produit coulé à un refroidissement secondaire au moyen d'un liquide de refroidissement, caractérisé en ce qu'il

comprend les opérations suivantes, en combinaison :

- a) on abaisse la température du métal jusqu'à une valeur comprise entre T_f et $(T_f + 20^\circ\text{C})$ avant et/ou pendant la coulée dudit métal dans la lingotière, T_f étant la température de liquidus dudit métal;
- b) on soumet le produit coulé à une première étape de refroidissement secondaire consistant en un refroidissement intense au moyen d'une couche continue de liquide de refroidissement sous pression formée à la surface dudit produit coulé; et
- c) on applique ensuite audit produit coulé une seconde étape de refroidissement secondaire consistant en un refroidissement modéré au moyen d'un liquide de refroidissement assurant un coefficient d'échange de chaleur inférieur ou égal à 50 % du coefficient d'échange de chaleur réalisé par le liquide de refroidissement utilisé dans ladite première étape de refroidissement secondaire.
2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'on abaisse la température du métal avant la coulée jusqu'à une valeur située dans la gamme de températures précitée, et on maintient la température dudit métal à cette valeur pendant la coulée.
3. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'on abaisse la température dudit métal pendant la coulée en formant un jet creux dudit métal et en faisant s'écouler ledit jet creux en une couche continue le long d'une paroi refroidie avant de pénétrer dans la lingotière.
4. Installation pour la coulée continue d'un métal suivant le procédé qui fait l'objet des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'en plus d'un récipient de coulée (1) et d'une lingotière sans fond (7), elle comporte en combinaison :
- a) des premiers moyens (3) pour abaisser la température du métal jusqu'à une valeur comprise entre T_f et $(T_f + 20^\circ\text{C})$ avant et/ou pendant la coulée dudit métal dans la lingotière, T_f étant la température de liquidus dudit métal;
- b) des deuxièmes moyens (10) pour soumettre le produit coulé à une première étape de refroidissement secondaire consistant en un refroidissement intense au moyen d'une couche continue de liquide de refroidissement sous pression formée à la surface dudit produit coulé (9); et
- c) des troisièmes moyens (12) pour appliquer audit produit coulé (9) une deuxième étape de refroidissement secondaire consistant en un

refroidissement modéré au moyen d'un liquide de refroidissement.

5. Installation suivant la revendication 4, dans laquelle lesdits premiers moyens (3) pour abaisser la température du métal consistent en un conduit vertical (3) disposé entre le récipient de coulée (1) et la lingotière sans fond (7) et comportant à son extrémité d'entrée un organe (2) de distribution du métal qui s'étend transversalement jusqu'à proximité de la surface intérieure dudit conduit (3), ledit conduit vertical (3) étant de préférence refroidi extérieurement.
6. Installation suivant l'une ou l'autre des revendications 4 et 5, dans laquelle lesdits deuxièmes moyens (10) comprennent un caisson (10) entourant au moins partiellement et à une certaine distance le produit coulé, et dont au moins une paroi tournée vers ledit produit est percée d'orifices (11) de passage du liquide de refroidissement.
7. Installation suivant l'une ou l'autre des revendications 4 à 6, dans laquelle lesdits troisièmes moyens (12) comprennent une enceinte (12) entourant le produit coulé (9) et située sous lesdits deuxièmes moyens de refroidissement (10).
8. Installation suivant la revendication 7, dans laquelle ladite enceinte (12) présente une extrémité inférieure qui définit une fente (13) de largeur réglable avec le produit coulé (9).
9. Installation suivant l'une ou l'autre des revendications 4 à 8, dans laquelle le conduit vertical (3) est pourvu d'un tube de coulée (6) qui le prolonge verticalement vers le bas et qui pénètre dans la lingotière sans fond (7).
10. Installation suivant l'une ou l'autre des revendications 6 à 9, dans laquelle lesdits orifices sont des fentes (11) de largeur réglable, inclinées dans le sens de progression dudit produit coulé (9).

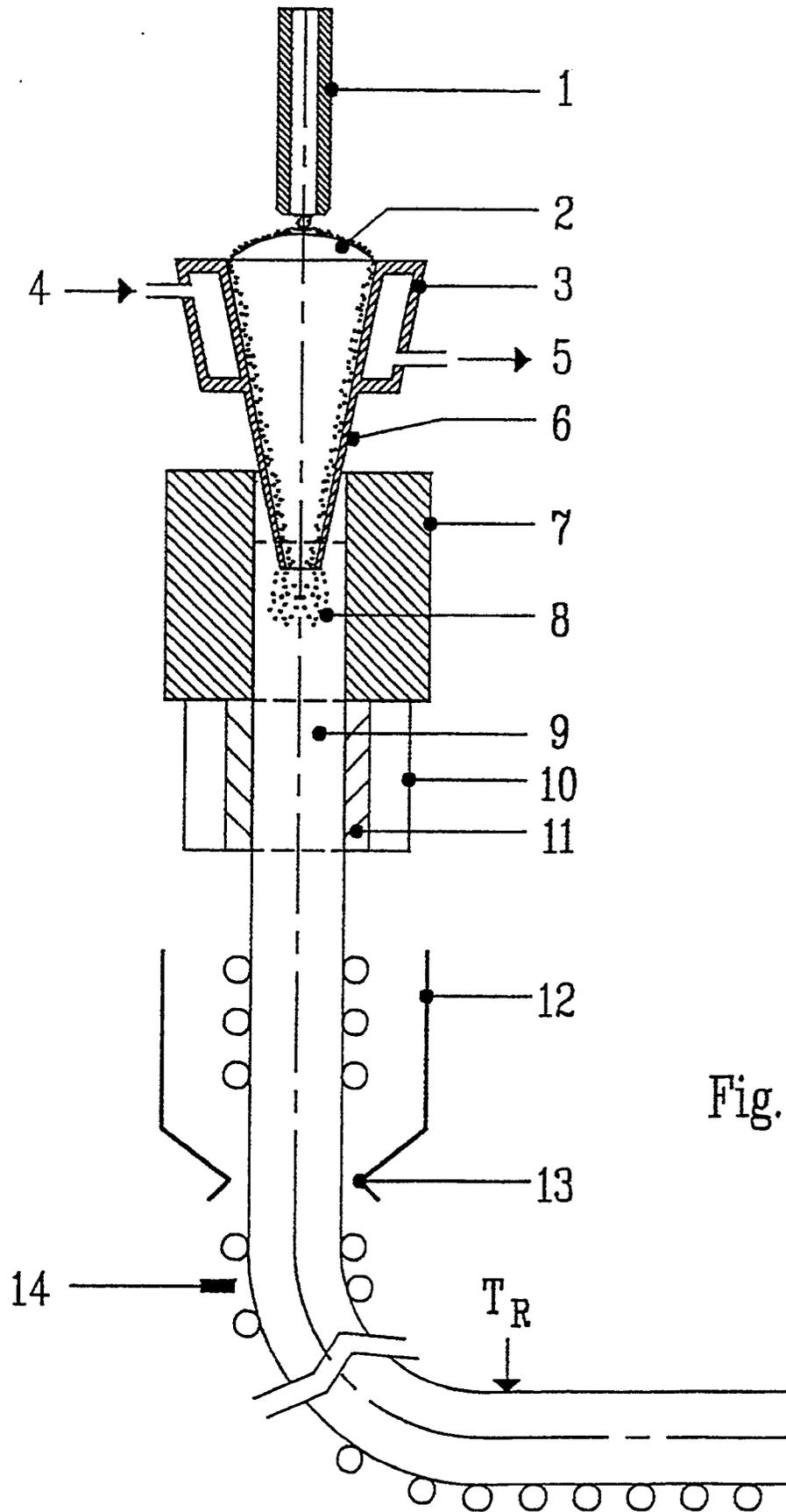


Fig.1

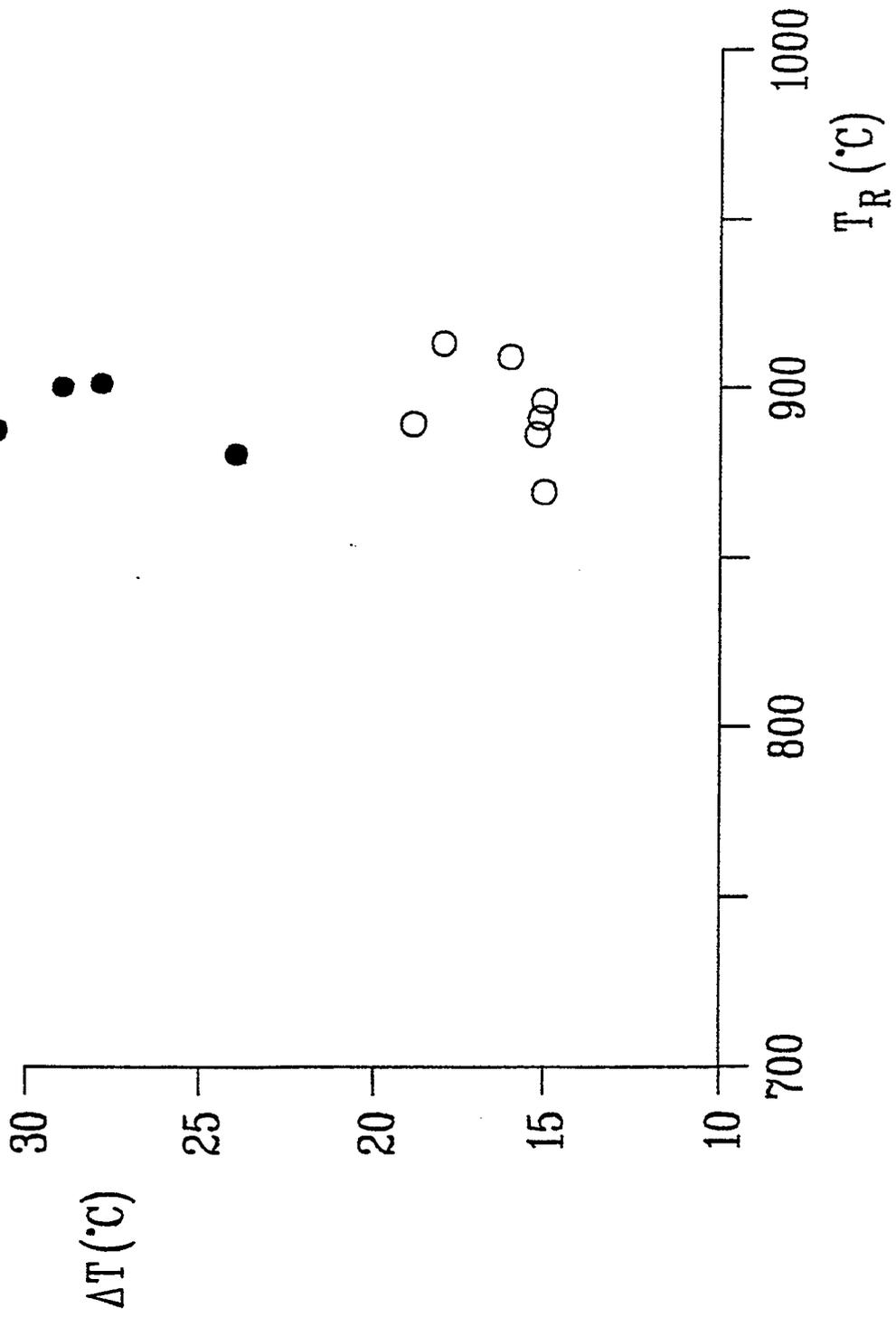


Fig.2

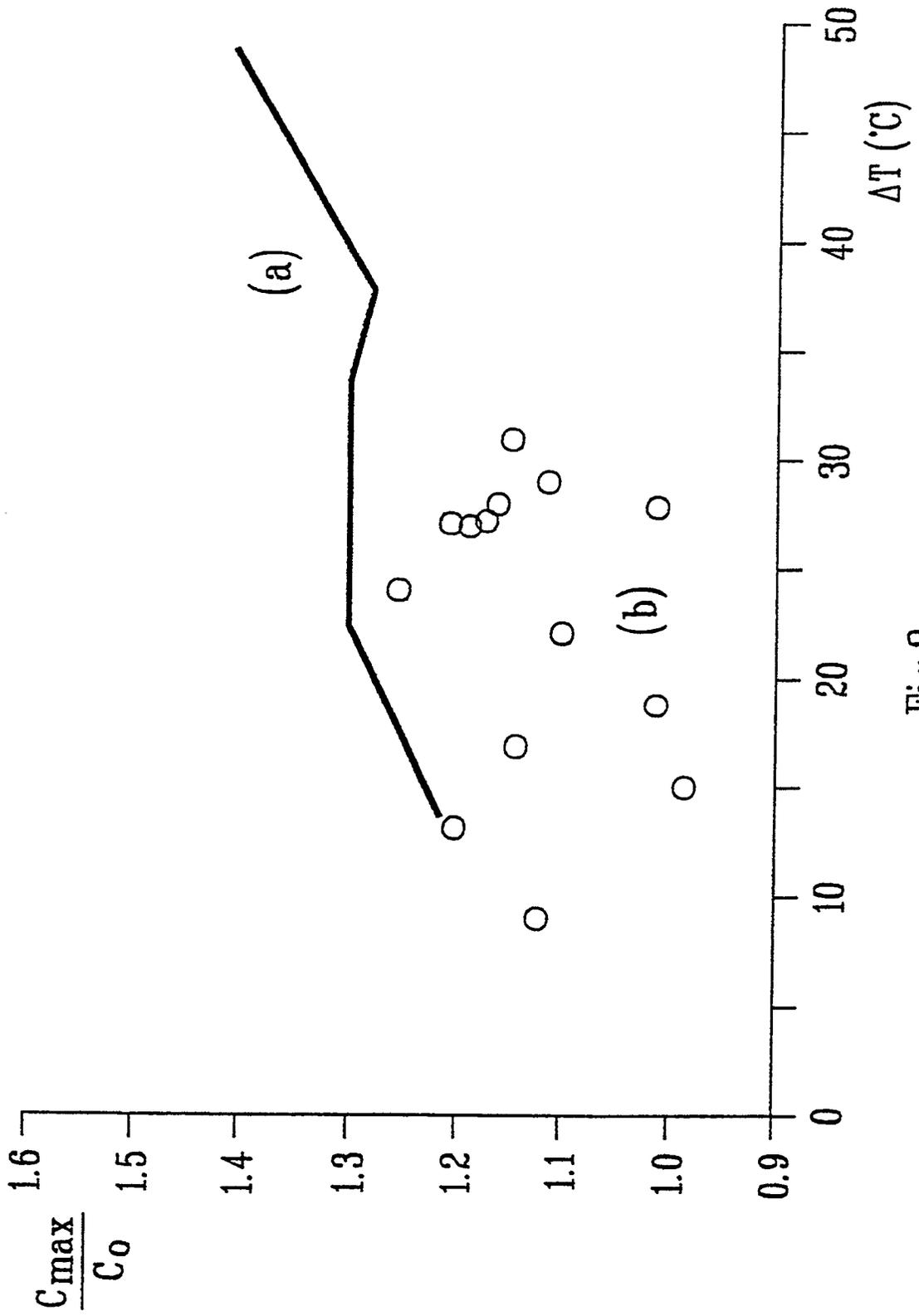


Fig. 3