

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 14037

(54) Procédé de coulée continue verticale à grande vitesse de l'aluminium et de ses alliages.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). B 22 D 11/04, 11/01.

(22) Date de dépôt..... 9 juillet 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 2 du 14-1-1983.

(71) Déposant : SOCIETE DE VENTE DE L'ALUMINIUM PECHINEY. — FR.

(72) Invention de : Yves Cans, Richard Gonda et Marc Tavernier.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Marcel Vanlaer, Pechiney Ugine-Kuhlmann,
28, rue de Bonnel, 69433 Lyon Cedex 3.

PROCEDE DE COULEE CONTINUE VERTICALE A GRANDE VITESSE DE
L'ALUMINIUM ET DE SES ALLIAGES

La présente invention est relative à un procédé de coulée continue ver-
5 ticale à grande vitesse de l'aluminium et de ses alliages, notamment
sous forme de billettes et de plaques dont la plus petite dimension
n'excède pas 150 mm.

L'homme de l'art connaît depuis longtemps le procédé de coulée verticale
10 dans lequel un métal à l'état liquide est moulé en continu par passage
de haut en bas dans une lingotière sans fond, refroidie, pour former des
billettes ou des plaques de longueur plus ou moins grande.

Au cours des décennies, cette technique a été perfectionnée en vue d'en
15 améliorer les performances à la fois sous l'angle capacité de production
et qualité.

Dans la recherche d'obtention de vitesses de coulée plus grandes, on
s'est heurté à des problèmes de défauts de surface physiques : peau ir-
20 régulière, et chimiques : ségrégations inverses qu'on a résolu d'abord
de façon peu satisfaisante en soumettant les produits coulés à des opé-
rations intermédiaires de scalpage. Puis, différents aménagements con-
cernant les matériaux des lingotières et leur lubrification, les dispo-
sitifs de refroidissement, le programme de coulée, ont permis de réduire
25 et même de supprimer, dans certains cas, ce scalpage.

Plus récemment, et en vue, notamment, d'obtenir des produits directe-
ment utilisables à la transformation, on a eu recours à des dispositifs
particuliers de mise en forme tels que, par exemple, le HOTTOP dans le-
30 quel la lingotière est surmontée d'une rehausse, sorte de réservoir de
métal liquide de section voisine de celle du produit coulé et de hau-
teur variable constituée par un matériau réfractaire et isolant.

Un tel dispositif conduit à l'obtention de produits ayant un état de
35 surface amélioré; toutefois, suivant le type d'alliage coulé, on cons-
tate qu'il y a une vitesse optimum à ne pas dépasser, sinon, il se pro-
duit un arrachement de la peau. Certes, en associant ces rehausses à

des lingotières de faible hauteur, on parvient à limiter ce défaut, mais un tel couplage n'est pas applicable à des plaques d'épaisseur voisines de 150 mm car, en raison de leur déformation au moment du démarrage, elles peuvent endormager la rehausse notamment lorsque celle-ci a un diamètre inférieur à celui de la lingotière.

Dans ces conditions, il apparaît que, si on veut couler des billettes de \varnothing 100 mm, de bonne qualité, même avec une lingotière de 1,5 cm de hauteur, on peut au mieux atteindre avec l'alliage le plus convenable une vitesse de 300 mm/mn, ce que confirme d'ailleurs le brevet français n° 2 249 728.

Une autre façon de réduire l'apparition de défauts à la surface des produits coulés consiste à effectuer le moulage en dehors de tout contact avec une lingotière. On y parvient en faisant passer le métal liquide au centre d'un inducteur qui crée un champ électromagnétique et engendre ainsi des forces qui contribuent à donner au liquide une forme définie. Cette forme est alors maintenue en solidifiant le métal par arrosage direct au moyen d'un fluide caloporteur.

Un tel procédé a, sans conteste, permis d'améliorer notablement l'état de surface des produits coulés et de réduire fortement l'apparition des ségrégations inverses, toutefois, il présente certains inconvénients. C'est ainsi que son application nécessite le maintien d'une hauteur constante de métal liquide au-dessus de l'interface avec le métal solidifié. Pour y parvenir, on met en oeuvre un ensemble busette-flotteur plus ou moins encombrant et dont la mise en place devient particulièrement gênante lorsqu'on a pour objectif de couler des pièces dont l'une des dimensions ne dépasse pas 150 mm. De plus, si l'on veut augmenter la vitesse de coulée au-delà de certaines valeurs, on provoque des turbulences au niveau de cet ensemble qui se traduisent par des déformations du ménisque du métal et l'apparition d'ondulations à la surface du produit coulé. En outre, ces déformations peuvent amener le niveau du métal en fusion sur la trajectoire du fluide caloporteur ou conduire à la formation d'une peau qui sera encore mince au moment où elle échappera à l'action du champ et, de ce fait, se déchirera sous l'effet de la pression métallostatique, ou encore provoquer la refusion de cette

peau, autant de conséquences qui auront pour effet d'accroître les défauts de surface sans parler des dangers encourus par le personnel à cause des risques d'explosion.

- 5 Ces difficultés font que, dans le cas de billettes de diamètre 150 mm, on parvient difficilement à des vitesses de coulée supérieures à 300 mm/minute.

- 10 La demanderesse, ayant pour but d'arriver à couler des billettes ou des plaques dont la plus petite dimension n'excède pas 150 mm à une vitesse supérieure à 500 mm/minute, a cherché et mis au point un procédé qui permet de surmonter les difficultés qui viennent d'être signalées.

- 15 Ce procédé de coulée verticale en continu combine l'utilisation d'une rehausse pour l'alimentation en métal liquide, d'un inducteur électromagnétique et d'un dispositif de refroidissement direct pour la mise en forme du produit à fabriquer. Il est caractérisé en ce que l'on règle la position de la rehausse par un mouvement vertical par rapport à l'inducteur qui crée le champ de manière à maintenir au cours de la coulée une
20 distance constante entre le plan de base de la rehausse et le plan passant par le front de solidification à la périphérie du produit coulé.

- Ainsi, la demanderesse utilise une rehausse classique de section voisine de celle du produit coulé, ouverte à ses deux extrémités et dans laquelle le métal liquide est amené jusqu'à une certaine hauteur au moyen d'un
25 système d'alimentation approprié. A l'extérieur de cette rehausse, et disposé à peu près à son niveau, se trouve un dispositif annulaire de refroidissement qui arrose le produit coulé sur toute sa périphérie à une distance du plan de base de la rehausse telle que la solidification
30 s'amorce en-dessous de ce plan, et qu'il subsiste sur toute la section du produit coulé une zone de liquide non confinée.

- C'est sur cette zone que s'exerce l'action du champ créé par l'inducteur et qui a pour effet de contrebalancer la pression métallostatique
35 du liquide contenu dans la rehausse et d'imposer au liquide non confiné un profil déterminé.

En fonctionnement, la solidification s'amorce à la périphérie du produit suivant une ligne contenue dans un plan généralement perpendiculaire à l'axe de la coulée si le dispositif de refroidissement est convenablement placé et elle se propage de manière à peu près symétrique et progressive vers l'intérieur et le bas du produit jusqu'à ce que le contact entre les phases liquide et solide se réduisent, à une distance plus ou moins grande de la rehausse, à un point ou à une portion de droite suivant la section du produit coulé. La limite entre les phases est appelée front de solidification.

10

Un tel système ne permet pas d'atteindre les vitesses de coulée souhaitées car le front de solidification n'est pas stable et se déplace d'autant plus vers le bas que la vitesse est grande. Il en résulte un allongement de la zone de liquide non confiné tel que l'action du champ s'avère insuffisante, ce qui conduit à la formation avant solidification d'un profil anormal ou même à des coulures de métal.

15

La demanderesse a résolu ce problème en réglant la position de la rehausse par un mouvement vertical par rapport à l'inducteur de manière à maintenir une distance constante entre le plan de base de la rehausse et le plan passant par le front de solidification à la périphérie du produit coulé. Un tel réglage permet, en effet, lorsque le front a tendance à s'éloigner de la rehausse, de maintenir la zone de liquide non confiné à une hauteur compatible avec une géométrie régulière du produit. Cette hauteur est maintenue inférieure à 15 mm et, de préférence, à 10 mm sans être jamais nulle, auquel cas la solidification s'effectuerait alors à l'intérieur de la rehausse et conduirait à l'apparition d'un mauvais état de surface.

20

25

La position de la rehausse étant ainsi liée à celle du front, il faut d'abord repérer cette dernière. On peut faire ce repérage avec tout moyen connu de l'homme de l'art comme, par exemple, des sondes, ou en se servant de relations mathématiques qui donnent la position du front par rapport au point d'impact de l'eau en fonction de la vitesse de coulée. Puis, on règle la position de la rehausse en la déplaçant verticalement à l'aide d'un système quelconque qui peut être asservi au moyen de repérage de la position du front.

35

La demanderesse a également trouvé que le déplacement de la rehausse pouvait être combiné avec un mouvement du dispositif de refroidissement.

- Il faut d'abord savoir que la zone d'impact du fluide caloporteur, particulièrement quand ce dernier est de l'eau, doit être située en dehors de la zone de liquide non confiné, sinon il y a réaction chimique avec l'aluminium et risque d'explosion. Aussi, le jet de fluide est-il dirigé vers la partie solide du produit.
- 10 En régime équilibré, le front de solidification s'établit à une distance constante au-dessus de la zone d'impact ; on peut donc régler la position du front en jouant sur le déplacement du dispositif de refroidissement.
- 15 Lorsqu'on augmente la vitesse de coulée, on a vu que le front descendait; si l'accélération est faible, on reste proche des conditions d'équilibre et le front de solidification peut être maintenu en laissant le dispositif de refroidissement immobile ; par contre, si l'accélération est grande, on déséquilibre le système et on est obligé de déplacer vers le bas le dispositif de refroidissement pour éviter d'arroser la zone liquide. De préférence, la limite supérieure de la zone arrosée par le fluide du dispositif est située à une distance du front comprise entre 1 et 6 mm.
- 20
- 25 Le régime de croisière étant atteint, on peut remonter progressivement le dispositif pour faire remonter le front à une position voisine du milieu de l'inducteur qui est la plus favorable à la coulée. La rehausse ayant été descendue, comme on l'a vu plus haut, pour maintenir la zone de liquide non confiné à une hauteur constante, on peut maintenant la remonter en suivant le déplacement du front vers le haut. On retrouve ainsi progressivement les positions initiales de la rehausse et du dispositif de refroidissement et on peut à nouveau procéder à une nouvelle accélération.
- 30
- 35 Ainsi, la combinaison des deux mouvements permet une augmentation plus grande de la vitesse.

Le mouvement du dispositif peut ici aussi être obtenu par tout moyen convenable.

5 Les réglages de distance indiqués plus haut sont assez précis et nécessitent donc d'avoir des zones d'impact bien délimitées. Ceci est réalisé au moyen de dispositif délivrant des lames d'eau périphériques, d'épaisseur inférieure au millimètre, faisant un angle faible avec la verticale et compris entre 10 et 30°. Il faut aussi propulser le fluide à une grande vitesse de manière à éviter les phénomènes de caléfaction ;
10 on applique, en général, une pression suffisante pour avoir au moins 1 m/sec.

Néanmoins, on ne peut débiter en cet endroit une quantité de fluide suffisante pour atteindre une solidification complète. C'est pourquoi, on
15 complète le refroidissement au moyen d'un étage supplémentaire.

Cet étage peut comprendre tout dispositif distributeur de lames et de gouttelettes. Toutefois, les exigences sur la précision de l'impact sont moins grandes. On peut, par exemple, utiliser des lames de 2 mm d'épaisseur dirigées vers le bas suivant un angle supérieur à 45° et se propageant à une vitesse supérieure à 3 m/sec.
20

Au cours de la coulée, le niveau de liquide dans la rehausse peut varier de façon à avoir au-dessus du front de solidification, à la périphérie du produit, une hauteur comprise entre 20 et 80 mm.
25

L'invention sera mieux comprise à l'aide du dessin accompagnant la présente demande et qui représente un ensemble de coulée pour mise en oeuvre du procédé selon l'invention.
30

On y voit :

- la rehausse (1) mobile, présentant une partie supérieure élargie de manière à faciliter le montage du système d'alimentation busette-floteur (2) et une partie inférieure de section voisine de celle du produit coulé,
35
- l'inducteur (3), générateur du champ électromagnétique qui agit sur la zone du métal liquide (4) située en-dessous de la rehausse,

- le dispositif de refroidissement (5) mobile placé autour de la rehausse qui envoie une lame d'eau (6) périphérique au-dessous du front de solidification (7),
 - un étage complémentaire de refroidissement (8) placé en-dessous
- 5 de l'inducteur et qui délivre un jet de fluide (9).

En fonctionnement, le système busette-flotteur maintient le niveau de métal liquide (10) à une hauteur convenable tandis que l'on commande le déplacement de la rehausse et du dispositif de refroidissement, de manière à arroser le produit coulé immédiatement en-dessous du front, et à faire remonter ce dernier quelle que soit la vitesse de coulée au niveau du milieu de l'inducteur et à maintenir une distance constante entre le plan de base de la rehausse et ledit front.

15 L'invention est illustrée à l'aide des exemples suivants :

EXEMPLE 1

Au moyen d'une installation comprenant une rehausse de diamètre intérieur de 120 mm, de hauteur 80 mm, un dispositif de refroidissement

20 débitant 3 m³/heure d'eau sous forme d'une lame d'épaisseur de 0,8 mm inclinée à 30 degrés par rapport à la verticale, circulant à une vitesse de 2,5 m/sec, un inducteur alimenté sous une tension de 10 V avec une intensité de 4200 A ayant une fréquence de 2 000 Hz, un dispositif de refroidissement complémentaire débitant 6 m³/heure d'eau sous forme

25 d'une lame d'épaisseur de 1 mm inclinée à 45 degrés par rapport à la verticale, circulant à une vitesse de 3,5 m/sec, on a coulé une billette de 120 mm diamètre d'un alliage d'aluminium 5754 à la vitesse de 900 mm/min en maintenant, entre le plan de base de la rehausse et le plan passant par le front de solidification, une distance de 13 mm et

30 entre la limite supérieure de la zone arrosée et le front de solidification, une distance de 1 mm.

La hauteur du métal liquide au-dessus du front de solidification repéré à la périphérie du produit a varié entre 30 et 50 mm.

35

EXEMPLE 2

Au moyen d'une installation comprenant une rehausse de section inté-

rieure de 100 x 200 mm, de hauteur 80 mm, un système de refroidissement débitant 4 m³/heure d'eau sous forme d'une lame d'épaisseur 0,7 mm inclinée à 15 degrés par rapport à la verticale, circulant à une vitesse de 2,5 m/sec, un inducteur alimenté sous une tension de 18 V avec une intensité de 6 300 A ayant une fréquence de 2 000 Hz, un dispositif de refroidissement complémentaire débitant 15 m³/heure d'eau sous forme de deux lames d'épaisseur 1 mm inclinées à 45 degrés par rapport à la verticale, circulant à une vitesse de 3,2 m/sec, on a coulé une plaque de 100 x 200 mm d'un alliage d'aluminium 1050 à la vitesse de 960 mm/minute en maintenant, entre le plan de base de la rehausse et le plan passant par le front de solidification, une distance de 8 mm et entre la limite supérieure de la zone arrosée et le front de solidification, une distance de 2 à 3 mm.

15 EXEMPLE 3

Au moyen d'une installation comprenant une rehausse de section intérieure de 100 x 1 300 mm, de hauteur 80 mm, un dispositif de refroidissement débitant 17 m³/heure d'eau sous forme d'une lame d'épaisseur 0,7 mm inclinée à 15 degrés par rapport à la verticale, circulant à une vitesse de 2,4 m/sec, un inducteur alimenté sous une tension de 19 V avec une intensité de 5 900 A ayant une fréquence de 2 000 Hz, un dispositif de refroidissement complémentaire débitant 80 m³/heure sous forme de quatre lames d'épaisseur 1 mm inclinées à 45 degrés par rapport à la verticale, circulant à une vitesse de 2,0 m/sec, on a coulé une plaque de 100 x 1 300 mm d'un alliage d'aluminium 1050 à la vitesse de 780 mm par minute en maintenant, entre le plan de base de la rehausse et la plan passant par le front de solidification, une distance de 14 mm et entre la limite supérieure de la zone arrosée et le front de solidification, une distance de 4 mm.

30

La présente invention permet de couler en continu l'aluminium et ses alliages à des vitesses supérieures à 500 mm/minute, sous forme de billettes ou de plaques dont la plus petite dimension n'excède pas 150 mm et qui présentent une surface ne nécessitant aucun traitement de scalpage.

35

REVENDEICATIONS

- 1°/ - Procédé de coulée verticale en continu de l'aluminium et de ses alliages sous forme de billettes et de plaques dont la plus petite dimension n'excède pas 150 mm, à une vitesse supérieure à 500 mm/minute, en combinant l'utilisation d'une rehausse pour l'alimentation en métal liquide, d'un inducteur électromagnétique et d'un dispositif de refroidissement direct pour la mise en forme du produit à fabriquer, caractérisé en ce que l'on règle la position de la rehausse par un mouvement vertical par rapport à la position de l'inducteur qui crée le champ de manière à maintenir au cours de la coulée une distance constante entre le plan de base de la rehausse et le plan passant par le front de solidification à la périphérie du produit coulé.
- 2°/ - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on maintient une distance constante inférieure à 15 mm.
- 3°/ - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on règle la position du dispositif de refroidissement par un mouvement vertical par rapport à la position de l'inducteur.
- 4°/ - Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la limite supérieure de la zone arrosée par le fluide du dispositif de refroidissement est située à une distance du front comprise entre 1 et 6 mm.
- 5°/ - Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le dispositif de refroidissement émet une lame d'eau périphérique, d'épaisseur inférieure à 1 millimètre, faisant un angle inférieur à 30 degrés par rapport à la verticale et se propageant à une vitesse supérieure à 1 m/sec.
- 6°/ - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on place un étage complémentaire de refroidissement en-dessous de l'inducteur.

I-1

