

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets

(11) Numéro de publication:

0 036 342

B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication du fascicule du brevet: **15.02.84**

(51) Int. Cl.³: **B 22 D 11/16**

(21) Numéro de dépôt: **81400212.7**

(22) Date de dépôt: **11.02.81**

(54) Procédé de contrôle du refroidissement du produit coulé dans une installation de coulée continue.

(30) Priorité: **13.03.80 FR 8005592**

(43) Date de publication de la demande:
23.09.81 Bulletin 81/38

(45) Mention de la délivrance du brevet:
15.02.84 Bulletin 84/7

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH DE GB LI

(56) Documents cités:
FR - A - 2 027 433
FR - A - 2 070 724
FR - A - 2 197 676
FR - A - 2 285 947
FR - A - 2 370 540

(73) Titulaire: **FIVES-CAIL BABCOCK, Société anonyme**
7 rue Montalivet
F-75383 Paris Cedex 08 (FR)

(72) Inventeur: **Chielens, Alain**
43, rue de la Haute Loge
F-59700 Marcq en Baroeul (FR)
Inventeur: **Benoit, Philippe**
157, avenue Sainte Cécile
F-59130 Lambersart (FR)
Inventeur: **Roggo, Bernard**
14, rue Nungesser
F-59130 Lambersart (FR)

(74) Mandataire: **Fontanié, Etienne**
FIVES-CAIL BABCOCK 7, rue Montalivet
F-75383 Paris Cedex 08 (FR)

EP 0 036 342 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).

Procédé de contrôle du refroidissement du produit coulé dans une installation de coulée continue

Dans une installation de coulée continue, le métal en fusion commence à se solidifier dans la lingotière, où il se forme une peau relativement mince, puis la solidification se poursuit dans la zone de refroidissement secondaire équipée de buses ou de rampes de pulvérisation ou d'atomisation d'eau.

La fonction de ce refroidissement secondaire par buses ou rampes est d'assurer une croissance régulière de la peau formée dans la lingotière pour arriver à la solidification complète du produit coulé sous forme de barre au bout d'un temps prédéterminé. Des débits d'eau suffisants doivent être projetés sur la barre pour maintenir la température de la peau du produit coulé à une valeur assez basse pour qu'elle présente une résistance mécanique convenable. D'autre part, si des débits d'eau trop importants sont utilisés, la température du produit coulé dans la zone de redressement de la barre de l'état courbe à l'état rectiligne sera trop basse; il s'en suivra une diminution de la ductilité de la surface du métal coulé telle que les déformations dues au redressement de la barre seront supérieures aux déformations limites acceptables par le métal dans cette zone. D'une manière générale, un refroidissement non contrôlé du produit coulé peut être la cause de défauts métallurgiques importants, notamment de criques internes et de surface.

Pour optimiser la production de l'installation et la qualité des produits coulés, il est donc essentiel de contrôler le refroidissement du produit coulé. Différents systèmes, plus ou moins évolués, ont été proposés dans ce but.

C'est ainsi qu'on a réalisé des installations où le débit total d'eau de refroidissement était maintenu proportionnel à la vitesse d'extraction du produit coulé, la répartition du débit entre les différentes zones étant prédéterminée. Il existe aussi des installations où le débit d'eau de refroidissement est réglé en fonction de la vitesse de coulée, de façon à maintenir le taux d'arrosage (débit d'eau/débit de métal) proportionnel à cette vitesse.

Suivant un autre procédé faisant l'objet du brevet français 2.197.676, on divise, dans une zone de refroidissement secondaire, le produit coulé en tranches élémentaires fictives et on détermine périodiquement, au moyen d'un calculateur, les valeurs de consigne des débits d'eau des différentes sections de la zone de refroidissement secondaire en fonction de l'âge des tranches se trouvant dans lesdites sections. Pour cela on utilise une ou plusieurs courbes de variation des débits d'eau en fonction de l'âge du produit qui sont préétablies à partir des résultats d'essais et de calculs, des données de contrôle telles que la température superficielle du produit coulé étant transmises au calculateur.

La mesure de la température superficielle du

produit coulé est très difficile sinon impossible dans la partie supérieure de la zone de refroidissement secondaire à cause du faible écartement des rouleaux de guidage et de la présence des buses ou rampes de pulvérisation. Par ailleurs, les mesures de température dans la majeure partie de la zone de refroidissement secondaire sont faussées par la présence de vapeur d'eau et de brouillard au voisinage des surfaces du produit coulé et de la couche de calamine recouvrant ces surfaces. C'est pourquoi on se contente en pratique de mesurer la température superficielle du produit coulé dans la dernière partie de la zone de refroidissement ou à la sortie de celle-ci.

Aucun des procédés connus ne permet donc en fait de prendre en compte les variations de certains paramètres notamment de la quantité de chaleur extraite en lingotière et du profil thermique du produit coulé.

La présente invention propose un procédé et un système permettant de tenir compte du comportement réel et de l'histoire thermique du produit coulé.

Le procédé objet de l'invention est caractérisé en ce que la détermination des valeurs de consigne des débits d'eau des différentes sections de la zone de refroidissement secondaire est en outre effectuée à l'aide d'une courbe théorique $C = f(t)$ donnant les variations en fonction du temps de la quantité de chaleur extraite d'une masse unitaire du produit coulé, au cours de son trajet depuis la surface libre du métal dans la lingotière jusqu'à la zone de solidification complète ou au-delà, en ce que, avant chaque calcul des valeurs de consigne des débits, on corrige la courbe $C = f(t)$ en fonction de la quantité de chaleur réelle extraite dans la lingotière, cette correction étant effectuée en décalant cette courbe $C = f(t)$ parallèlement à l'axe des temps de façon à la faire passer par le point dont les coordonnées sont, d'une part, le temps de séjour du produit coulé en lingotière et, d'autre part, la quantité de chaleur réelle extraite en lingotière, et enfin en ce que les variations de la température du produit coulé sont données en fonction du temps par une courbe $T = g(t)$. Les courbes $C = f(t)$ et $T = g(t)$ ont été définies préalablement à l'aide d'un modèle mathématique de simulation du comportement thermique du produit coulé étalonné par des résultats expérimentaux.

En divisant le produit coulé en tranches élémentaires fictives et en déterminant périodiquement l'âge de chaque tranche, on calcule, à partir des courbes, la quantité de chaleur à extraire de chaque tranche et sa température superficielle, puis le coefficient d'échange thermique pour chaque tranche. A l'aide d'une courbe donnant les variations des débits spécifiques d'eau de refroidissement en fonc-

tion du coefficient d'échange thermique, on détermine les débits d'eau à projeter sur chaque tranche, puis on calcule les valeurs de consigne des débits d'eau de chaque section de la zone de refroidissement en intégrant les débits d'eau pour toutes les tranches se trouvant à l'instant considéré dans chaque section et on maintient, au moyen de régulateurs, les débits d'eau d'alimentation des différentes sections égaux aux valeurs de consigne respectives.

Les équations à partir desquelles sont établies les courbes de la quantité de chaleur extraite et de la température superficielle comprennent des paramètres dont la valeur peut varier d'une coulée à l'autre: nature du métal coulé, format du produit coulé. Il est donc nécessaire de disposer d'un jeu de courbes pour chaque nuance d'acier et chaque format qu'il est prévu de couler.

Pour déterminer la quantité de chaleur extraite en lingotière, on peut mesurer le débit et l'échauffement de l'eau de refroidissement de la lingotière ou bien les débits et les échauffements de l'eau de refroidissement des quatre faces de la lingotière.

On peut aussi déterminer la quantité de chaleur extraite en lingotière à partir de données stockées dans la mémoire du calculateur et établies par des calculs prévisionnels de simulation et/ou par des essais.

Lorsque la température superficielle réelle du produit coulé à la sortie de la lingotière n'est pas égale à la température donnée par la courbe des températures superficielles, on corrige cette courbe en reliant par une droite ou une courbe du 2^{ème} ou 3^{ème} degré le point dont les coordonnées sont, d'une part, le temps de séjour en lingotière et, d'autre part, la température superficielle du produit à la sortie de la lingotière à un point de la courbe correspondant à une section supérieure de la zone de refroidissement, et on calcule les valeurs de consigne des débits d'eau à partir de la courbe corrigée.

La température superficielle du produit coulé à la sortie de la lingotière est mesurée au moyen d'un pyromètre optique ou calculée à partir de la quantité de chaleur extraite en lingotière au moyen d'une courbe établie à l'aide de calculs prévisionnels de simulation.

Normalement, le profil de température superficielle qui est imposé dans la zone de refroidissement secondaire permet d'atteindre la température souhaitée à la sortie de la zone, notamment au point de redressement de la barre dans une installation de coulée courbe. Cependant, l'efficacité du dispositif de refroidissement peut varier accidentellement, par exemple par encrassement ou usure des buses. Les revendications 2—12 concourent des développements du procédé selon la revendication 1.

La description qui suit se réfère aux dessins l'accompagnant qui illustrent le procédé de l'invention et sur lesquels;

La figure 1 est le schéma d'une machine de

coulée continue courbe et du système de contrôle du refroidissement de la barre coulée conforme à l'invention;

la figure 2 est une courbe représentant les variations en fonction du temps de la température superficielle de la barre pendant son déplacement dans la machine de coulée;

la figure 3 est une courbe représentant les variations en fonction du temps de la quantité de chaleur extraite d'une masse unitaire du produit coulé pendant son déplacement dans la machine de coulée depuis la surface libre du métal dans la lingotière;

la figure 4 montre plusieurs courbes de variation de la température superficielle en fonction du temps pour différentes vitesses d'extraction de la barre;

la figure 5 montre plusieurs courbes de variation de la quantité de chaleur extraite en fonction du temps pour différentes vitesses d'extraction de la barre; et

la figure 6 est une courbe formée de plusieurs segments valables dans les différentes sections de la zone de refroidissement et représentant les variations du coefficient d'échange thermique superficiel en fonction du débit d'eau spécifique.

La machine pour la coulée continue de l'acier représentée schématiquement sur la figure 1, comporte essentiellement une lingotière 10, un corset de rouleaux de guidage 12, des rouleaux redresseurs 14 et un dispositif de refroidissement comportant des buses ou des rampes de pulvérisation ou d'atomisation groupées par sections, toutes les buses ou rampes d'une même section étant branchées en parallèle sur une tuyauterie d'alimentation munie d'une vanne 16 dont l'ouverture est commandée par un régulateur 18 pour maintenir le débit d'alimentation égal à un débit de consigne fixé par un calculateur 20. Les buses ou rampes sont réparties tout autour de la barre coulée ou, s'il s'agit d'une barre à section rectangulaire, seulement sur ses grandes faces. Des moyens sont prévus pour régler manuellement la répartition entre les différentes buses ou rampes d'une section, suivant leur position, du débit total d'eau alimentant cette section.

La machine est équipée de différents dispositifs de mesure dont les informations sont transmises au calculateur 20: canne thermométrique 22 pour la mesure de la température du métal en fusion dans le répartiteur 24, sondes thermométriques 26 pour la mesure de la température de l'eau de refroidissement de la lingotière, à l'entrée et à la sortie de celle-ci, débitmètre 28 pour la mesure du débit de l'eau de refroidissement de la lingotière, générateur d'impulsions 30 pour la mesure de la vitesse d'extraction de la barre et le calcul de l'âge des éléments de la barre, pyromètre 32 pour la mesure de la température superficielle de la barre au voisinage du point de redressement, etc...

A partir de ces informations et de données

stockées en mémoire dans le calculateur, ce dernier détermine à intervalles réguliers les valeurs de consigne des débits d'alimentation en eau des différentes sections du dispositif de refroidissement. Cet intervalle régulier de temps est compris par exemple entre 1 et 50 secondes.

Le principe de contrôle du refroidissement conforme à l'invention est de maintenir dans le temps l'évolution de la solidification de la barre quel que soit le régime de fonctionnement de la machine de coulée. Pour cela, on impose une loi de variation de la quantité de chaleur C extraite par kilo d'acier en fonction du temps de séjour dans la machine (figure 3) à laquelle est associée une loi de variation de la température superficielle T de la barre en fonction du temps de séjour dans la machine (figure 2). Ces lois dépendent essentiellement de la nuance de l'acier, du format de la barre et de la vitesse d'extraction. En pratique, pour un format de barre donné, on groupera les nuances d'acier et les vitesses d'extraction en différentes classes. Pour les nuances d'acier, le nombre de classes dépendra du carnet de commandes de l'aciérie. Les vitesses d'extraction pourront par exemple être groupées en trois classes: élevées, moyennes et faibles. On devra donc disposer de trois jeux de courbes $C = f(t)$ et $T = g(t)$ pour chaque format de barre et chaque classe de nuance d'acier.

Les figures 4 et 5 montrent les familles de courbes $T = g(t)$ et $C = f(t)$ respectivement, correspondant aux différentes classes de vitesses V_1 , V_2 et V_3 pour un format de barre donné et une classe de nuance d'acier donnée avec $V_1 < V_2 < V_3$.

La température portée sur les courbes $T = g(t)$ peut être la température ponctuelle sur la ligne médiane d'une face de la barre, ou la moyenne des températures sur les lignes médianes des quatre faces de la barre, ou la température moyenne sur la largeur d'une face ou sur toute la périphérie de la barre; elle peut être aussi la température moyenne sur la partie médiane d'une face de la barre ou la moyenne des températures moyennes des parties médianes des quatre faces de la barre.

Toutes ces courbes sont définies par des équations paramétriques ou par des valeurs ponctuelles introduites en mémoire dans le calculateur. Les données sur la nuance d'acier et le format de la barre sont introduites dans le calculateur, avant chaque coulée, pour lui permettre de sélectionner le jeu de courbes correspondantes. La vitesse d'extraction est mesurée en permanence au moyen du générateur d'impulsions 30 et le calculateur choisit à chaque instant le jeu de courbes correspondant à la vitesse moyenne déduite de ces mesures.

A partir du jeu de courbes sélectionné, le calculateur peut, à chaque instant, calculer le coefficient d'échange thermique superficiel K pour chaque élément de la barre à partir de C et T et en déduire le débit d'eau spécifique q devant

être projeté sur l'unité de surface de l'élément considéré à l'aide d'une courbe $K = h(q)$ stockée dans la mémoire du calculateur et montrée par la figure 6; cette courbe peut être unique pour l'ensemble de la zone de refroidissement ou être formée de plusieurs segments de courbe distincts valables dans les différentes sections de la zone. Cette courbe $K = h(q)$ peut être relative à toute la périphérie de la barre; dans ce cas on considère le phénomène global. Elle peut aussi être relative aux parties médianes des quatre faces de la barre; dans ce cas on considère les phénomènes locaux sur la périphérie de la barre.

Ce calcul est effectué périodiquement, par exemple toutes les 10 s, et la barre est divisée en éléments dont la longueur est celle de la tranche coulée pendant l'intervalle de temps entre deux calculs successifs. Le numéro d'ordre affecté à chaque tranche dès sa production permet donc à tout instant de connaître son âge et sa position dans la machine. En supposant que, pour une tranche élémentaire fictive de la barre, les courbes $C = f(t)$ et $T = g(t)$ donnent les valeurs C_1 et T_1 pour un temps de séjour t_1 et C_2 et T_2 pour leur temps de séjour $t_2 = t_1 + \Delta t$, la quantité de chaleur extraite d'une masse unitaire de cette tranche, pendant la période de temps Δt sera $\Delta C = C_2 - C_1$.

Si L est la longueur de la tranche, l la largeur de la barre, e son épaisseur et ρ la masse spécifique du métal, le flux de chaleur extrait de cette tranche au cours de la période Δt sera:

$$\varphi = \Delta \frac{C \times L \times l \times e \times \rho}{\Delta t}$$

La densité de flux de chaleur extraite par la surface latérale S de la périphérie de la tranche sera:

$$\varphi = \frac{\varphi}{S} = \frac{\Delta C \times l \times e \times \rho}{2 \Delta t \times (1 + e)}$$

et le coefficient d'échange thermique sur la périphérie de la tranche sera:

$$K = \frac{\varphi}{T} = \frac{\Delta C \times l \times e \times \rho}{2 T \times \Delta t \times (1 + e)},$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

étant la température superficielle moyenne de la tranche.

La courbe $K = h(q)$ donne, à partir de la valeur calculée de K , le débit d'eau spécifique q pour cette tranche élémentaire qui permet de calculer le débit d'eau $Q = q \times S$ à projeter sur la surface latérale de la tranche.

Cette méthode est légèrement modifiée lorsque les faces de la barre ne sont pas refroidies par projection d'eau sur toute leur largeur. On considère alors seulement les parties médianes des faces de la tranche, c'est-à-dire que S ne représente que la surface totale de ces parties médianes et T est la température superficielle moyenne sur cette surface.

Après avoir calculé les débits d'eau à projeter sur chaque tranche de barre se trouvant à un instant donné dans la zone de refroidissement, on calcule par intégration les valeurs de consigne des débits d'eau d'alimentation des différentes sections de la zone de refroidissement et les valeurs calculées sont transmises aux régulateurs respectifs 18.

Dans le cas où on utilise des buses ou rampes d'atomisation dans lesquelles les jets d'eau sont divisés en très fines gouttelettes au moyen d'air comprimé, on calcule le débit d'eau total de la zone de refroidissement et on en déduit le débit d'air total à utiliser, à l'aide d'une équation ou une courbe établissant une relation entre ces deux débits. Des moyens sont prévus pour régler manuellement la répartition entre les différentes sections du débit total d'air alimentant la zone de refroidissement secondaire.

Pour déterminer la quantité de chaleur à extraire de chaque tranche élémentaire de la barre dans la zone de refroidissement secondaire, il faut tenir compte de la quantité de chaleur réellement extraite en lingotière. Pour cela on utilise une courbe de base $C = f(t)$ (en trait plein sur la figure 3) correspondant aux conditions de fonctionnement (nuance de l'acier, format de la barre, vitesse d'extraction) que l'on décale parallèlement à l'axe des temps pour la faire passer par le point A dont les coordonnées sont égales, respectivement, au temps de séjour du produit coulé en lingotière t_i et à la quantité de chaleur C_i effectivement extraite en lingotière; cette nouvelle courbe de formule générale $C = f(t-a)$ est représentée en traits interrompus sur la figure 3.

A chaque pas de calcul, le calculateur 20 détermine, à partir des valeurs du débit et des températures à l'entrée et à la sortie de l'eau de refroidissement de la lingotière, mesurées en continu par les sondes 26 et le débitmètre 28, ou à partir d'un fichier de valeurs établies à l'aide de calculs prévisionnels de simulation, la quantité de chaleur extraite en lingotière et en déduit le décalage dans le temps qui doit être pris en compte pour la détermination des quantités de chaleur à extraire dans la zone de refroidissement secondaire.

La température superficielle de la barre à la sortie de la lingotière est mesurée au moyen d'un pyromètre optique ou est calculée à partir d'une courbe établie à l'aide de calculs prévisionnels de simulation et donnant l'évolution de cette température en fonction de la quantité de chaleur extraite en lingotière; cette courbe est stockée dans la mémoire du calculateur. Si

cette température T_i est différente de la température théorique T_l fournie par la courbe $T = g(t)$ (en trait plein sur la figure 2) correspondant aux conditions de fonctionnement, le calculateur corrigera le début de cette courbe en admettant, par exemple, une variation linéaire de la température depuis la sortie de la lingotière jusqu'à un point prédéterminé de la partie supérieure de la zone de refroidissement secondaire (courbe en trait interrompu), de façon à retrouver en ce point la température théorique. C'est cette courbe corrigée que le calculateur utilisera pour déterminer la température superficielle pour le calcul des valeurs de consigne des débits d'eau.

La mesure de la température superficielle de la barre au voisinage du point de redressement est transmise en continu au calculateur 20 par le pyromètre 32. Si sa valeur s'écarte trop de la valeur souhaitée (par exemple si l'écart est supérieur à 50°C), le calculateur modifie en conséquence les valeurs de consigne calculées pour la ou les dernières sections de la zone de refroidissement secondaire. Le calculateur corrige tout d'abord la consigne du débit d'eau de la dernière section de refroidissement; l'importance de la correction est fonction de l'écart entre la température mesurée et la température souhaitée. Puis au bout d'un certain temps, qui dépend de la position de la dernière section de refroidissement par rapport au point de redressement, le calculateur corrige les valeurs de consigne des débits d'eau des deux dernières sections de refroidissement si l'écart des températures est encore trop important. Au bout d'une durée qui dépend de la position de l'avant dernière section de refroidissement par rapport au point de redressement, le calculateur maintient ou non, selon l'écart des températures, la correction des consignes des débits d'eau des deux dernières sections. Eventuellement, on pourrait corriger ainsi progressivement les consignes des débits d'eau des trois ou quatre dernières sections de la zone de refroidissement.

Lorsque la vitesse d'extraction varie, deux cas sont à considérer: si la vitesse est modifiée durant un court instant, de l'ordre de 2 à 4 minutes, et reprend ensuite sa valeur initiale, on impose durant ce régime transitoire les profils thermiques $C = f(t)$ et $T = g(t)$ correspondant à la vitesse initiale, c'est-à-dire que le calculateur continue à utiliser un jeu de courbes correspondant à la classe de vitesses dans laquelle entre la vitesse initiale; c'est ce qui se produit, par exemple, lors d'un changement de poche ou de répartiteur. Si, au contraire, la vitesse d'extraction prend une nouvelle valeur et la conserve pendant un temps supérieur à un délai prédéterminé, par exemple 5 minutes, on impose, après expiration de ce délai, les profils thermiques correspondant à la nouvelle vitesse d'extraction. En fait, on passe progressivement des profils thermiques correspondant à la vitesse initiale à ceux correspondant à la

nouvelle vitesse en suivant une loi déterminée par le calculateur et qui limite la vitesse de réchauffement ou de refroidissement superficiel à une valeur maximale comprise entre 10°C/minute et 200°C/minute.

Le passage progressif des anciens profils thermiques aux nouveaux peut aussi s'effectuer de la façon suivante: à chaque pas de calcul, le calculateur attribue à chaque tranche élémentaire de la barre une vitesse moyenne fonction de sa position dans la machine et de son âge et calcule le débit d'eau à projeter sur la tranche considérée en utilisant le jeu de courbes $C = f(t)$ et $T = g(t)$ correspondant à la classe de vitesses dans laquelle entre cette vitesse moyenne. Les valeurs de consigne des débits d'eau d'alimentation de chaque section de la zone de refroidissement sont calculées en intégrant les débits d'eau calculés pour chaque tranche élémentaire se trouvant dans la section considérée. Comme cette vitesse moyenne varie progressivement pour finalement devenir égale à la nouvelle vitesse, si celle-ci est stable, les valeurs de consigne des débits d'eau pour chaque section de la zone de refroidissement vont évoluer graduellement depuis les valeurs qu'elles avaient à la vitesse initiale jusqu'aux valeurs qui correspondent à la nouvelle vitesse.

En plus des valeurs de consigne du débit d'eau pour les différentes sections de la zone de refroidissement secondaire et, le cas échéant, du débit total d'air utilisé pour l'atomisation de l'eau, le calculateur peut délivrer d'autres informations: proposition d'une vitesse d'extraction optimale en régime permanent qui dépend de la nature du métal, du format du produit et de la température du métal dans le répartiteur, alarmes dans le cas où la température de l'acier dans le répartiteur sort des limites imposées, si les débits d'eau calculés sont supérieurs à des valeurs maximales prédéterminées, si l'écart entre les débits d'eau mesurés et calculés est supérieur à 10%, si la vitesse réelle d'extraction est supérieure à la vitesse optimale, si la température superficielle au point de redressement est trop basse, etc. . .

Le calculateur pourra aussi être avantageusement utilisé pour contrôler l'état du dispositif de refroidissement secondaire entre deux coulées. Pour cela, on alimentera les différentes sections du dispositif de refroidissement; après avoir fixé des valeurs de consigne des débits au moyen du calculateur on mesurera les débits réels et les pressions réelles et on comparera les valeurs mesurées aux valeurs calculées. Si le dispositif est en bon état (pas d'usure, pas d'encrassement, pas de fuite), il ne doit pas y avoir d'écarts importants entre ces valeurs; en particulier pour un débit donné, la pression mesurée doit être conforme à la pression calculée. Les pressions calculées sont déterminées par le calculateur à l'aide des courbes pression-débit qui sont stockées dans la mémoire du calculateur et qui sont préétablies à partir de résultats d'essais et de calculs.

Pour que le procédé de contrôle automatique du refroidissement secondaire objet de l'invention ait une efficacité maximale, il faut que les conditions suivantes soient remplies:

— La zone de refroidissement secondaire doit avoir une longueur importante pour permettre un meilleur contrôle de la solidification de la barre; en particulier, l'extrémité aval de cette zone doit se trouver le plus près possible du point de redressement afin d'obtenir en ce point une température superficielle de la barre la plus proche possible de la température imposée par les contraintes métallurgiques.

— La zone de refroidissement doit être divisée en un nombre aussi grand que possible de sections alimentées séparément de manière à réaliser un contrôle précis du refroidissement et suivre au plus près les lois d'échange thermique imposées.

— Les dispositifs d'arrosage utilisés dans la zone de refroidissement secondaire doivent avoir une large plage de réglage des débits d'eau. Les profils thermiques imposés dépendent en effet du format de la barre, de la nuance de l'acier et de la vitesse d'extraction et doivent être obtenus par des réglages différents des dispositifs d'arrosage pour couvrir une large gamme de nuances et de vitesses, en régime permanent et en régime transitoire, il faut donc disposer pour chaque section de la zone de refroidissement d'une large plage de réglage du refroidissement, donc d'une large plage de réglage des débits d'eau.

Revendications

1. Procédé de commande du refroidissement du produit coulé dans une installation de coulée continue suivant lequel on divise dans une zone de refroidissement secondaire le produit coulé en tranches élémentaires fictives et on détermine périodiquement, au moyen d'un calculateur (20), les valeurs de consigne des débits d'eau des différentes sections de la zone de refroidissement secondaire en fonction de l'âge des tranches se trouvant dans lesdites sections en utilisant une courbe donnant les variations de la température superficielle du produit coulé dans la zone de refroidissement secondaire caractérisé en ce que la détermination des valeurs de consigne des débits d'eau des différentes sections de la zone de refroidissement secondaire est en outre effectuée à l'aide d'une courbe théorique $C = f(t)$ donnant les variations en fonction du temps de la quantité de chaleur extraite d'une masse unitaire du produit coulé, au cours de son trajet depuis la surface libre du métal dans la lingotière (10) jusqu'à la zone de solidification complète ou au-delà, en ce que, avant chaque calcul des valeurs de consigne des débits, on corrige la courbe $C = f(t)$ en fonction de la quantité de chaleur réelle extraite dans la lingotière, cette correction étant effectuée en décalant cette courbe $C = f(t)$ parallèlement à

l'axe des temps de façon à la faire passer par le point dont les coordonnées sont, d'une part, le temps de séjour du produit coulé en lingotière et, d'autre part, la quantité de chaleur réelle extraite en lingotière, et enfin en ce que les variations de la température du produit coulé sont données en fonction du temps par une courbe $T = g(t)$.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on détermine périodiquement, au moyen du calculateur (20), la quantité de chaleur à extraire de chaque tranche, à l'aide de la courbe $C = f(t)$, qui est corrigée avant chaque calcul, en fonction de la quantité de chaleur extraite en lingotière, on détermine la température superficielle de la tranche considérée à l'aide de la courbe $T = g(t)$, on calcule à partir des valeurs ainsi déterminées le coefficient d'échange thermique (K) pour la tranche considérée, on détermine le débit d'eau spécifique (q) pour la tranche considérée à l'aide d'une autre courbe $K = h(q)$ donnant les variations des débits d'eau spécifiques en fonction du coefficient d'échange thermique, on calcule le débit d'eau (Q) à projeter sur la tranche considérée, on intègre les débits d'eau pour toutes les tranches se trouvant à l'instant considéré dans chaque section de la zone de refroidissement pour déterminer les valeurs de consigne des débits d'eau des différentes sections, et on maintient, au moyen de régulateurs (18), les débits d'alimentation en eau des différentes sections égaux aux valeurs de consigne respectives.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'on détermine à partir de mesures ou de résultats de calculs prévisionnels la température superficielle du produit coulé à la sortie de la lingotière et si cette température diffère de la température correspondante donnée par la courbe $T = g(t)$, on corrige cette courbe avant chaque calcul des valeurs de consigne des débits, en reliant par une droite ou une courbe du 2ème ou 3ème degré le point dont les coordonnées sont, d'une part, le temps de séjour en lingotière et, d'autre part, ladite température superficielle déterminée à partir de mesures ou à partir de résultats de calculs prévisionnels à un point de cette seconde courbe correspondant à une section supérieure de la zone de refroidissement secondaire.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on compare périodiquement la température superficielle du produit coulé mesurée à la sortie de la zone de refroidissement et la température souhaitée et, si l'écart entre ces deux valeurs est supérieur à une valeur prédéterminée, on corrige les valeurs de consigne des débits d'eau de la ou des dernières sections de la zone de refroidissement.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce

que, pour un format de barre et une nuance d'acier donnés, on groupe les vitesses d'extraction du produit coulé en plusieurs classes, on établit un jeu de courbes $C = f(t)$ et $T = g(t)$ pour chaque classe de vitesses, on mesure la vitesse d'extraction et on calcule les valeurs de consigne des débits en utilisant le jeu de courbes correspondant à la classe des vitesses dans laquelle entre la vitesse mesurée.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que lorsque la vitesse d'extraction du produit coulé varie, la substitution du jeu de courbes correspondant à la nouvelle vitesse au jeu de courbes correspondant à la vitesse initiale n'est effectuée qu'à l'expiration d'un délai prédéterminé, si la vitesse d'extraction n'a pas repris sa valeur initiale.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que la substitution d'un jeu de courbes à un autre est effectué progressivement de façon que la vitesse des variations de la température superficielle du produit coulé soit comprise entre 10°C et 200°C par minute.

8. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'on détermine périodiquement l'âge de chaque tranche élémentaire, on calcule la vitesse d'extraction moyenne de chaque tranche, on calcule le débit d'eau spécifique pour la tranche considérée à l'aide du jeu de courbes correspondant à cette vitesse d'extraction moyenne, on calcule le débit d'eau à projeter sur la tranche considérée et on intègre les débits d'eau de toutes les tranches se trouvant dans chaque section de la zone de refroidissement pour déterminer les valeurs de consigne des débits d'eau des différentes sections.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on calcule le débit d'air total alimentant des buses ou des rampes d'atomisation de la zone de refroidissement à l'aide d'une équation établissant une relation entre les débits d'air et d'eau dans la zone de refroidissement.

10. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la courbe $T = g(t)$ donne les variations, en fonction du temps de séjour, de la température superficielle sur la ligne médiane d'une face du produit coulé ou la moyenne des températures superficielles sur les lignes médianes des quatre faces.

11. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la courbe $T = g(t)$ donne les variations, en fonction du temps de séjour, de la température superficielle moyenne sur au moins une partie médiane d'une face du produit coulé.

12. Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la courbe $T = g(t)$ donne les variations, en fonction du temps de séjour, de la température moyenne sur toute la largeur d'une ou plusieurs faces du produit coulé.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kontrolle der Strangkühlung beim Stranggiessen, nach welchem man den Strang in einer Sekundärkühlzone in fiktive elementare Scheiben unterteilt und man mit einem Rechner (20) die Sollwerte der Wassermengen der verschiedenen Querschnitte der Sekundärkühlzone in Abhängigkeit vom Alter der in diesen Querschnitten befindlichen Scheiben periodisch bestimmt unter Verwendung einer die Änderungen der Oberflächentemperatur des Stranges in der Sekundärkühlzone gebenden Kurve, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung des Sollwerts der Wassermengen der verschiedenen Querschnitte der Sekundärkühlzone ausserdem anhand einer theoretischen Kurve $C = f(t)$ erfolgt, die die zeitabhängigen Änderungen der aus einer Einheitsmasse des Stranges abgezogenen Wärmemenge während seines Weges von der freien Oberfläche des Metalls in der Kokille (10) bis zur Zone der vollständigen Erstarrung oder darüber hinaus gibt, dass man vor jeder Berechnung der Wassermengensollwerte die Kurve $C = f(t)$ in Abhängigkeit von der tatsächlichen in der Kokille abgezogenen Wärmemenge berichtigt, wobei diese Berichtigung durch Versetzung dieser Kurve $C = f(t)$ parallel zu der Zeitachse erfolgt, so dass die Kurve durch den Punkt mit einerseits der Aufenthaltszeit des Stranges in der Kokille und andererseits der tatsächlichen in der Kokille abgezogenen Wärmemenge als Koordinaten geht, und schliesslich dass die Temperaturänderungen des Stranges in Abhängigkeit von der Zeit durch eine Kurve $T = g(t)$ gegeben werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass man mit dem Rechner (20) die aus jeder Scheibe abzuziehende Wärmemenge anhand der vor jeder Berechnung in Abhängigkeit von der in der Kokille abgezogenen Wärmemenge berichtigten Kurve $C = f(t)$ periodisch bestimmt, man die Oberflächentemperatur der betrachteten Scheibe anhand der Kurve $T = g(t)$ bestimmt, man aus den so ermittelten Werten die Wärmeaustauschzahl (K) für die betrachtete Scheibe berechnet, die spezifische Wassermenge (q) für die betrachtete Scheibe anhand einer anderen Kurve $K = h(q)$ bestimmt, die die Änderungen der spezifischen Wassermengen in Abhängigkeit von der Wärmeaustauschzahl gibt, dass man die auf die betrachtete Scheibe zu spritzende Wassermenge (Q) berechnet, man die Wassermengen für alle im betrachteten Zeitpunkt in jedem Querschnitt der Kühlzone befindlichen Scheiben integriert, um die Wassermengensollwerte der verschiedenen Querschnitte zu bestimmen, und dass man mittels Regler (18) die den verschiedenen Querschnitten zugeführten Wassermengen gleich den entsprechenden Sollwerten hält.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, da-

durch gekennzeichnet, dass man aus Messungen oder Ergebnissen von Vorausberechnung die Oberflächentemperatur des Stranges am Kokillenaustritt bestimmt und dass man, falls diese Temperatur von der entsprechenden durch die Kurve $T = g(t)$ gegebenen Temperatur abweicht, diese Kurve vor jeder Berechnung der Wassermengensollwerte berichtigt, indem man durch eine Gerade oder eine Kurve 2 oder 3. Grades den Punkt mit einerseits der Aufenthaltszeit in der Kokille und andererseits der aus Messungen oder Ergebnissen von Vorausberechnungen ermittelten Oberflächentemperatur als Koordinaten mit einem Punkt dieser zweiten Kurve verbindet, der einem oberen Querschnitt der Sekundärkühlzone entspricht.

4. Verfahren nach irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass man die am Austritt der Kühlzone gemessene Oberflächentemperatur mit der gewünschten Temperatur vergleicht und dass man, falls der Abstand zwischen diesen beiden Werten grösser ist als ein vorgegebener Wert, die Sollwerte der Wassermengen des letzten Querschnittes oder der letzten Querschnitte der Kühlzone berichtigt.

5. Verfahren nach irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass man für ein gegebenes Strangformat oder eine gegebene Stahlsorte die Absenkgeschwindigkeiten des Stranges in mehreren Klassen gruppiert, dass man einen Satz Kurven $C = f(t)$ und $T = g(t)$ für jede Geschwindigkeitsklasse erstellt, man die Absenkgeschwindigkeit misst und die Wassermengensollwerte berechnet unter Verwendung des Kurvensatzes, der der Geschwindigkeitsklasse entspricht, zu der die gemessene Geschwindigkeit gehört.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass bei Änderung der Absenkgeschwindigkeit des Stranges die Substitution des der ursprünglichen Absenkgeschwindigkeit entsprechenden Kurvensatzes durch den der neuen Geschwindigkeit entsprechenden Kurvensatz erst nach Ablauf einer vorgegebenen Zeit erfolgt, falls die Absenkgeschwindigkeit ihren ursprünglichen Wert nicht wieder eingenommen hat.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Substitution eines Kurvensatzes durch einen anderen allmählich erfolgt, so dass die Geschwindigkeit der Änderungen der Strangoberflächentemperatur zwischen 10°C und 200°C pro Minute beträgt.

8. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass man das Alter jeder elementaren Scheibe periodisch bestimmt, man die durchschnittliche Absenkgeschwindigkeit jeder Scheibe berechnet, man die spezifische Wassermenge für die betrachtete Scheibe mit Hilfe von dem dieser durchschnittlichen Absenkgeschwindigkeit entsprechenden Kurvensatz berechnet, man die auf die betrachtete Scheibe zu spritzende Wassermenge berechnet und die Wassermengen aller in jedem Querschnitt der

Kühlzone befindlichen Scheiben integriert, um die Sollwerte der Wassermengen der verschiedenen Querschnitte zu bestimmen.

9. Verfahren nach irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass man die Düsen oder Nebelrampen zugeführte Gesamtluftmenge anhand einer Gleichung berechnet, die eine Beziehung zwischen den Luft und Wassermengen in der Kühlzone herstellt.

10. Verfahren zur Kontrolle der Strangkühlung nach irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kurve $T = g(t)$ die aufenthaltszeitabhängigen Änderungen der Oberflächentemperatur auf der Mittellinie einer Strangseite oder den Durchschnitt der Oberflächentemperaturen auf den Mittellinien der vier Strangseiten gibt.

11. Verfahren zur Kontrolle der Strangkühlung nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Kurve $T = g(t)$ die aufenthaltszeitabhängigen Änderungen der durchschnittlichen Oberflächentemperatur über mindestens einen Mittelteil einer Strangseite gibt.

12. Verfahren zur Kontrolle der Strangkühlung nach irgendeinem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kurve $T = g(t)$ die aufenthaltszeitabhängigen Änderungen der durchschnittlichen Temperatur über die gesamte Breite einer oder mehrerer Strangseiten gibt.

Claims

1. Process for controlling the cooling of an ingot in a continuous casting plant according to which the ingot is divided, in a secondary cooling zone, into fictitious elements and according to which the set point values of the water flowrates of the various sections of the secondary cooling zone are periodically determined by a computer (20) as a function of the age of the elements in the aforesaid sections by using a curve giving the surface temperature variations of the ingot in the secondary cooling zone, characterized by the fact that the determination of the set point values of the water flow-rates of the various sections in the secondary cooling zone is moreover carried out by means of a theoretical curve $C = f(t)$ giving the variations as a function of the time of the quantity of heat extracted from a unit mass of the ingot, in the course of its journey from the free surface of the metal in the mould (10) to the complete solidification zone or beyond, by the fact that before each calculation of the flow-rates set point values the curve $C = f(t)$ is corrected as a function of the actual quantity of heat extracted in the mould, this correction being carried out by shifting this curve $C = f(t)$ parallel to the time axis so that it passes through the point the coordinates of which are, on the one hand, the dwell time of the ingot in the mould and, on the other hand, the actual

quantity of heat extracted in the mould, and finally by the fact that the temperature variations of the ingot are given as a function of time by a curve $T = g(t)$.

2. Process according to claim 1, characterized by the fact that the quantity of heat to be extracted from each element is determined periodically by a computer (20), using the curve $C = f(t)$, which is corrected before each calculation as a function of the quantity of heat extracted in the mould, the surface temperature of the element considered is determined by means of the curve $T = g(t)$, the heat exchange coefficient (K) for the element considered is calculated from the values thus determined, the specific water flowrate (q) for the element considered is determined using another curve $K = h(q)$ which gives the specific water flow-rate variations as a function of the heat exchange coefficient, the water flow-rate (Q) to be directed onto the element considered is calculated, the water flow-rates for all the elements which are at this moment being considered in each section of the cooling zone are integrated to determine the set point values of the water flow-rates of the various sections, and the water supply flow-rates to the various sections are maintained equal to the respective set point values by regulators (18).

3. Process according to claim 1 or 2, characterized by the fact that the surface temperature of the ingot at the outlet of the mould is determined from measurements or from results of anticipation calculations, and if this temperature differs from the corresponding temperature given on the curve $T = g(t)$, this curve is corrected before each calculation of the flow-rate set values, by joining with a straight line or a curve of the 2nd or 3rd degree the point whose coordinates are, on the one hand, the dwell time in the mould, and, on the other hand, the above mentioned surface temperature determined from measurements or from the anticipation calculation results, to a point on this second curve corresponding to an upper section of the secondary cooling zone.

4. Process according to any one of the preceding claims, characterized by the fact that the surface temperature of the ingot measured at the outlet of the cooling zone and the desired temperature are periodically compared to each other and if the difference between these two temperatures exceeds a predetermined value, the water flow-rate set point values in the last section or sections of the cooling zone are corrected.

5. Process according to any one of the preceding claims, characterized by the fact that, for a given bar size and grade of steel, the extraction speeds of the ingot are grouped into several classes, a set of curves $C = f(t)$ and $T = g(t)$ is plotted for each class of speeds, the extraction speed is measured and the flow-rate set point values are calculated by using the set of curves corresponding to the class of speeds

to which the measured speed belongs.

6. Process according to claim 5, characterized by the fact that when the extraction speed of the ingot varies, the substitution of the set of curves corresponding to the new speed for the set of curves corresponding to the initial speed is only carried out when a predetermined time-limit expires, if the extraction speed has not regained its initial value.

7. Process according to claim 6, characterized by the fact that the substitution of a set of curves for another is carried out progressively, so that the rate of the ingot surface temperature variations is between 10°C and 200°C per minute.

8. Process according to claim 5, characterized by the fact that the age of each element is determined periodically, the average extraction speed of each element is calculated, the specific water flow-rate for the element considered is calculated by means of a set of curves corresponding to this average extraction speed, the water flow-rate to be directed onto the element considered is calculated, and the water flow-rates of all the elements in each section of the cooling zone are integrated to determine the set point values of the water flow-rates of

the various sections.

9. Process according to any one of the preceding claims, characterized by the fact that the total air flow-rate through the spray nozzles or manifolds of the cooling zone is calculated using an equation relating the air and water flow-rates in the cooling zone.

10. Monitoring process according to any one of the preceding claims, characterized by the fact that the curve $T = g(t)$ gives the variations as a function of the dwell time, of the surface temperature, on the median line of one face of the ingot or the average of the surface temperatures on the median lines of the four faces.

11. Monitoring process according to any one of claims 1 to 10, characterized by the fact that the curve $T = g(t)$ gives the variations, as a function of the dwell time, of the average surface temperature on at least one median portion of one face of the ingot.

12. Monitoring process according to any one of claims 1 to 10, characterized by the fact that the curve $T = g(t)$ gives the variations, as a function of the dwell time, of the average temperature over all the width of one or several faces of the ingot.

30

35

40

45

50

55

60

65

10

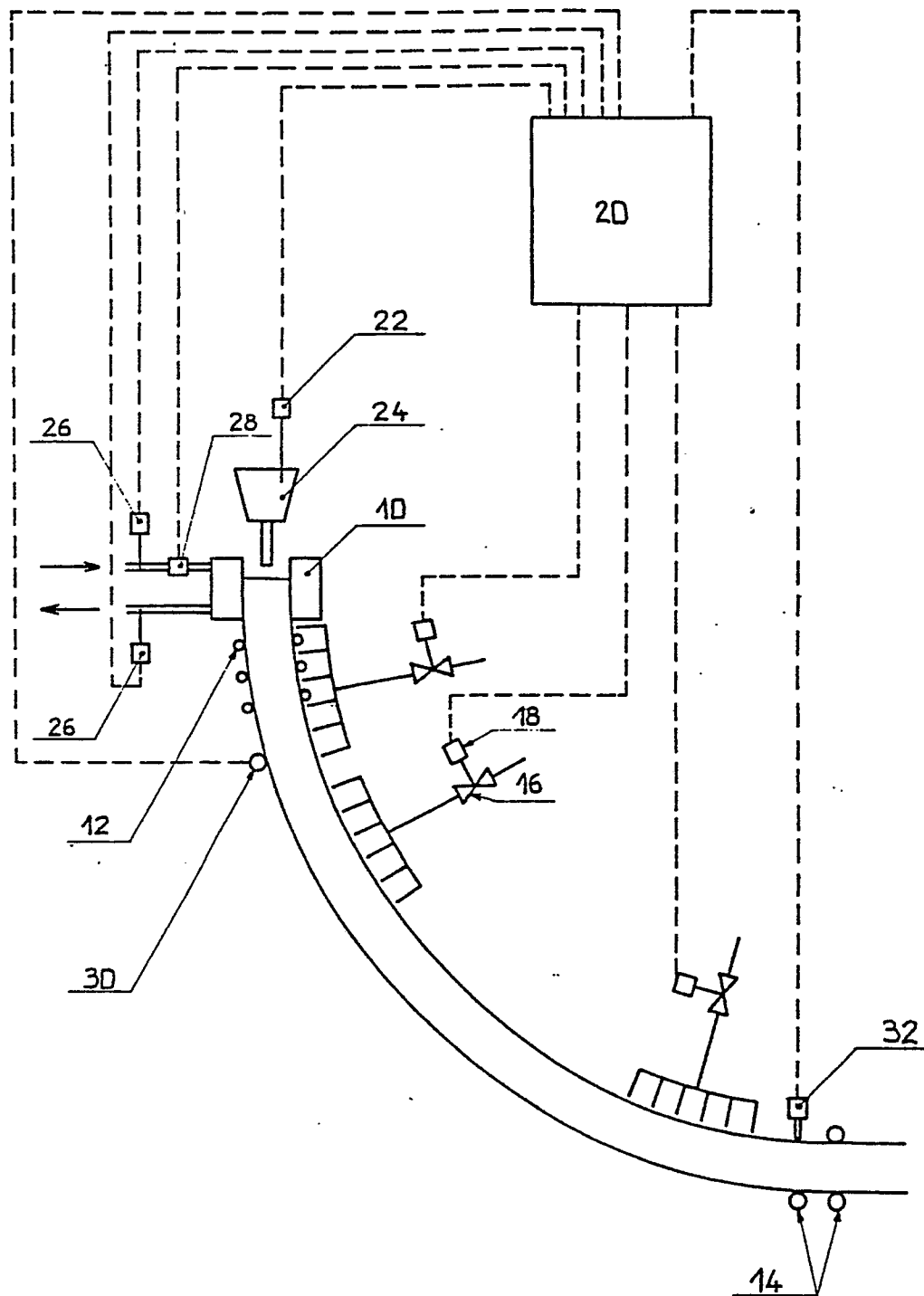


Fig. 1

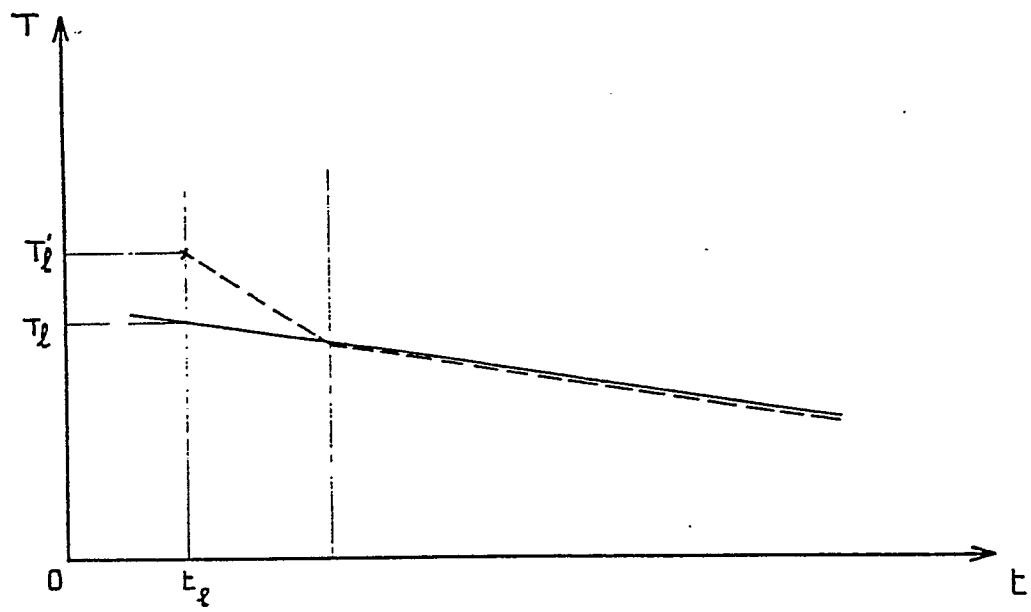


Fig. 2

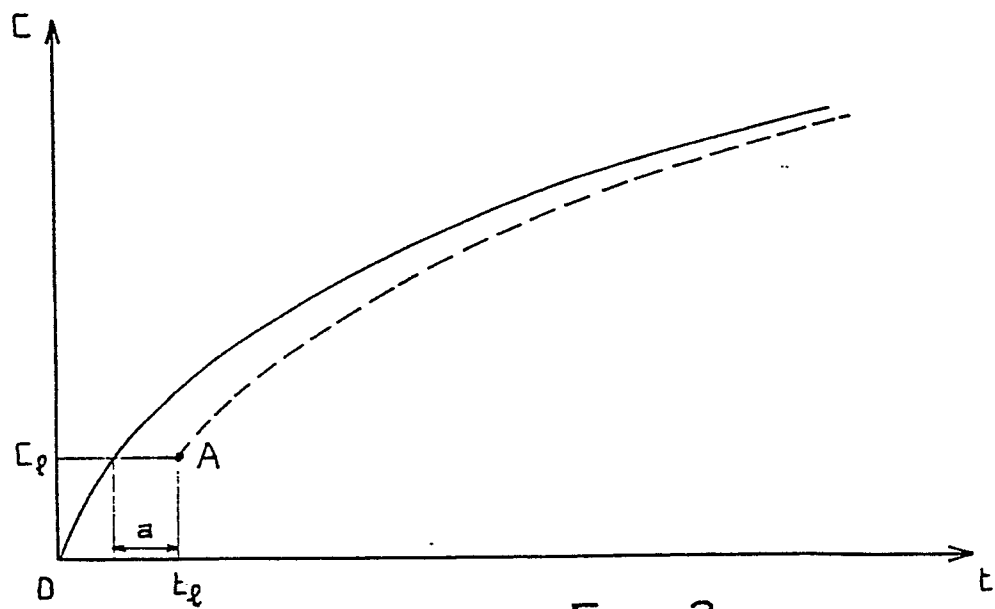


Fig. 3

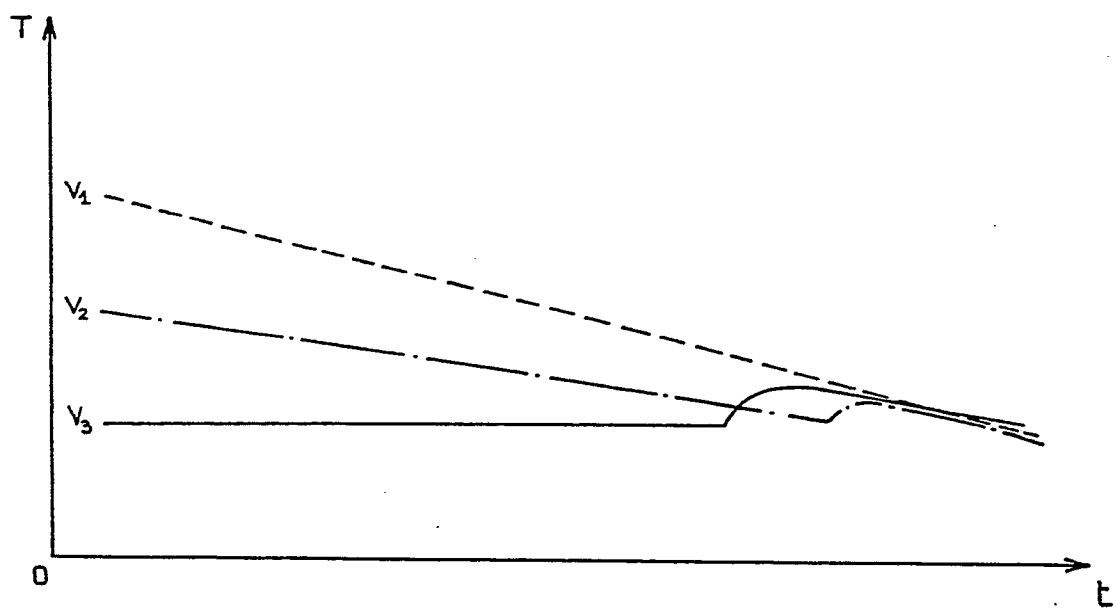


Fig. 4

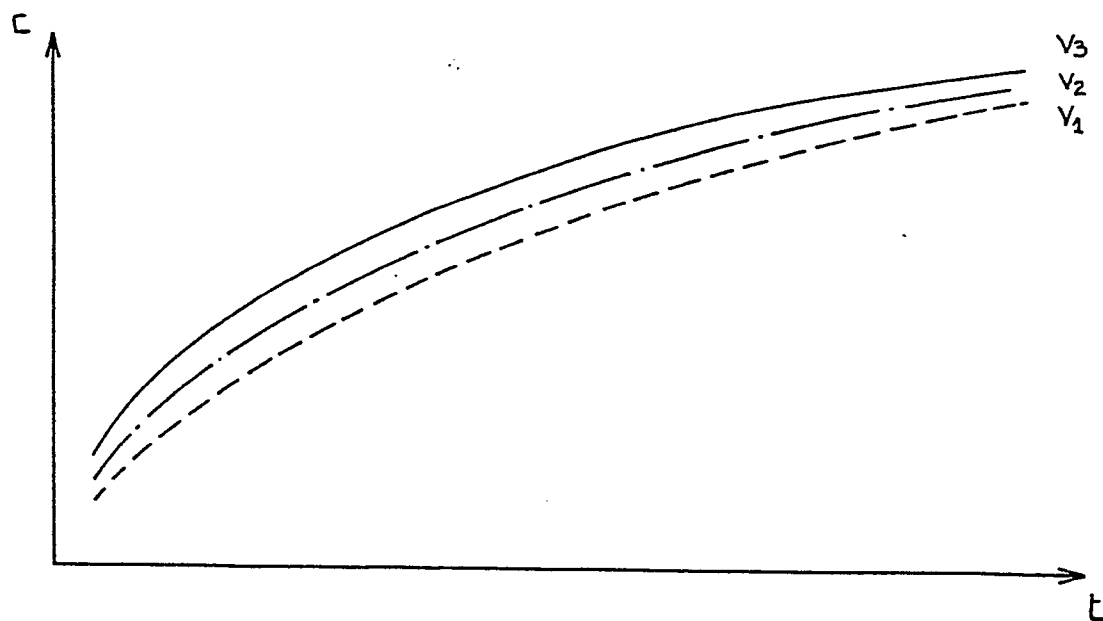


Fig. 5

0 036 342

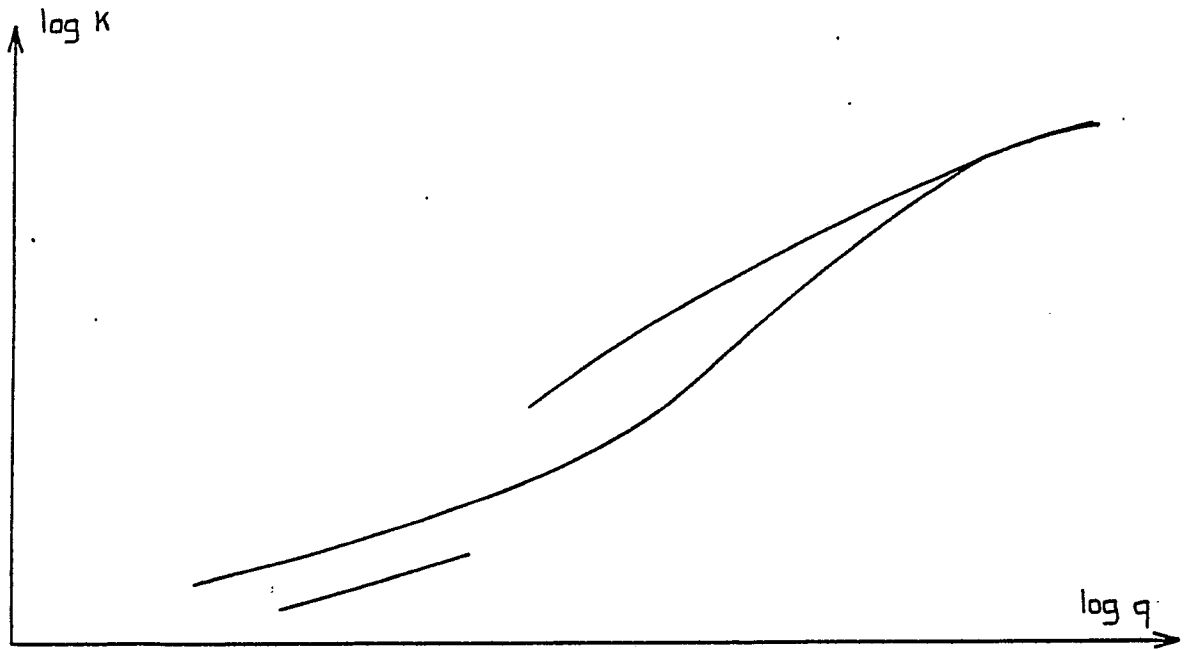


Fig. 6