

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt: 82401769.3

(51) Int. Cl.³: B 22 D 11/16

(22) Date de dépôt: 29.09.82

(30) Priorité: 02.10.81 FR 8118587

(43) Date de publication de la demande:
13.04.83 Bulletin 83/15

(84) Etats contractants désignés:
BE DE

(71) Demandeur: 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 Baroeuil(FR)

(72) Inventeur: Benoît, Philippe
157, avenue Sainte Cécile
F-59130 Lambersart(FR)

(72) 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)

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

(57) Procédé de contrôle du refroidissement du produit coulé dans une installation de coulée continue suivant la demande de brevet européen No 81.400.212.7.

Pour déterminer avec plus de précision l'histoire thermique de chaque tranche du produit coulé lors de son passage dans la lingotière en tenant compte de l'évolution du flux de chaleur extrait du haut au bas de la lingotière, on détermine périodiquement la quantité de chaleur globale extraite de la lingotière (10), on répartit cette quantité de chaleur globale sur toute la hauteur utile de la lingotière suivant une loi prédéterminée, à partir des résultats obtenus on calcule pour chaque tranche, à sa sortie de la lingotière, la quantité de chaleur totale extraite en lingotière et on utilise la valeur obtenue pour la correction des courbes de variation de la quantité de chaleur extraite et de la température superficielle en fonction de l'âge des tranches comme décrit à la demande de brevet européen No 81.400.212.7.

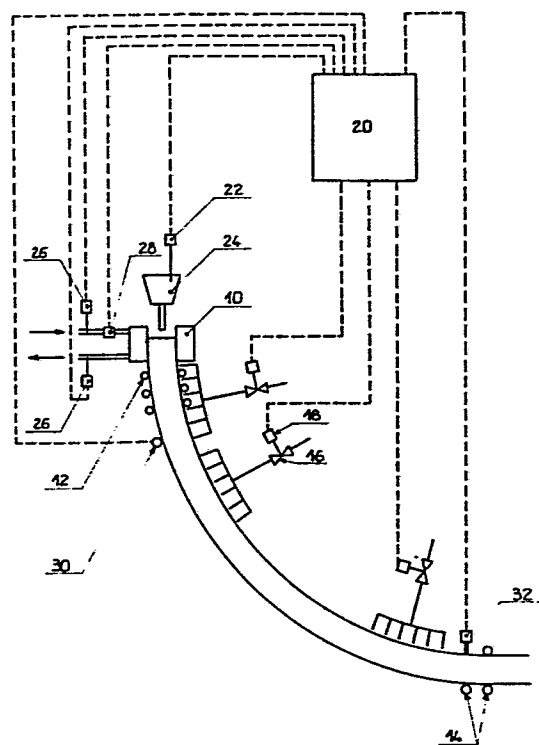


Fig : 1

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

La demande de brevet européen N° 81.400.212.7 a pour objet un procédé de contrôle du refroidissement du produit coulé dans une installation de coulée continue suivant lequel on divise fictivement le produit coulé en tranches élémentaires, 5 on calcule périodiquement les débits d'eau à projeter sur les différentes tranches en fonction de leur âge, on intègre les débits d'eau calculés pour toutes les tranches se trouvant dans chaque section de la zone de refroidissement secondaire pour déterminer les valeurs de consigne des débits d'eau des 10 différentes sections et on maintient, au moyen de régulateurs, les débits d'alimentation en eau des différentes sections égaux aux valeurs de consigne respectives. Pour calculer les débits d'eau à projeter sur chaque tranche on détermine la quantité de chaleur à extraire de la tranche considérée et 15 sa température superficielle, à partir de courbes $C = f(t)$ et $T = g(t)$ donnant les variations de ces grandeurs en fonction de l'âge des tranches, on calcule le coefficient d'échange thermique et on déduit de la valeur obtenue le débit d'eau spécifique relatif à cette tranche au moyen d'une courbe 20 liant ces deux grandeurs.

Ce procédé permet de tenir compte dans le calcul des débits d'eau de la quantité de chaleur extraite en lingotière en décalant parallèlement à l'axe des temps la courbe $C = f(t)$ 25 de façon qu'elle passe par le point dont les coordonnées sont, d'une part, le temps de séjour total de la tranche considérée en lingotière et, d'autre part, la quantité de chaleur totale extraite de cette tranche pendant son séjour dans la lingotière. La correction de la courbe $T = g(t)$, selon le procédé 30 de la demande de brevet européen N° 81.400.212.7, prend aussi en compte la quantité de chaleur extraite en lingotière lorsque la température superficielle du produit coulé à la sortie de la lingotière est calculée à partir de cette grandeur au moyen d'une courbe établie à l'aide de calculs prévisionnels de simulation. Pour déterminer les quantités de 35

0076743

chaleur extraites en lingotière des différentes tranches du produit coulé, on mesure en continu le débit et l'échauffement de l'eau de refroidissement de la lingotière ; on peut aussi les déterminer à partir de données stockées dans la mémoire du calculateur et établies par des essais et des calculs prévisionnels.

On sait que pour différentes raisons (influence de la poudre de lubrification, retrait du métal solidifié, etc..) la densité de flux de chaleur extraite par la lingotière est plus élevée dans sa partie supérieure que dans sa partie inférieure et, par conséquent, la mesure de la quantité de chaleur globale extraite par la lingotière ne fournit une information exacte sur la quantité de chaleur extraite d'une tranche quelconque que si tous les paramètres de la coulée et notamment le débit et la température de l'eau de refroidissement de la lingotière et la vitesse d'extraction restent constants pendant tout le séjour de la tranche considérée dans la lingotière. S'il n'en est pas ainsi, ce qui est généralement le cas, on obtient par cette méthode des informations inexactes sur les quantités de chaleur extraites en lingotière des différentes tranches du produit coulé et sur les températures superficielles du produit coulé à la sortie de la lingotière lorsque celles-ci sont calculées à partir de ces quantités de chaleur.

Le but de la présente invention est d'apporter au procédé de la demande de brevet européen N° 81.400.212.7 un perfectionnement permettant de déterminer avec plus de précision l'histoire thermique de chaque tranche élémentaire du produit coulé lors de son passage dans la lingotière en tenant compte de l'évolution du flux de chaleur extrait du haut au bas de la lingotière.

Le procédé objet de la présente invention est caractérisé en ce qu'on répartit suivant une loi prédéterminée, depuis le haut jusqu'au bas de la lingotière, la quantité de chaleur globale extraite de la lingotière, on calcule périodiquement la quantité de chaleur extraite de chaque tranche élémentaire

du produit coulé se trouvant dans la lingotière en fonction 0076743

de sa position dans celle-ci, à partir des résultats obtenus on calcule pour chaque tranche, à sa sortie de la lingotière, la quantité de chaleur totale extraite en lingotière et on
5 utilise la valeur obtenue pour la correction de la courbe des variations de la quantité de chaleur extraite en fonction de l'âge des tranches dans le calcul des débits d'eau à projeter sur la tranche considérée, pendant tout son séjour dans la zone de refroidissement secondaire. La valeur de la quantité
0 de chaleur totale extraite en lingotière calculée pour chaque tranche selon ce procédé peut être utilisée pour déterminer la température superficielle du produit coulé à sa sortie de la lingotière à partir de résultats de calculs prévisionnels, la valeur ainsi obtenue étant utilisée pour corriger la courbe
5 des variations de la température superficielle en fonction de l'âge des tranches selon le procédé de la demande de brevet européen N° 81.400.212.7.

La loi de répartition de la quantité de chaleur globale extraite de la lingotière est déduite de mesures expérimentales.
10

On peut, en particulier, décomposer la partie utile de la lingotière en plusieurs zones et répartir le flux global de chaleur extrait par la lingotière entre ces différentes zones. Dans ce
15 cas le nombre de zones est compris par exemple entre 2 et 20. Le nombre et les longueurs de ces zones et la répartition du flux de chaleur global entre ces différentes zones sont définies en tenant compte de l'évolution de l'efficacité thermique du haut au bas de la lingotière et déduites des résultats de
20 mesures et d'essais effectués au préalable. A chaque calcul, on répartit le flux de chaleur extrait par une zone de la lingotière entre les différentes tranches élémentaires du produit coulé contenues dans cette zone ; cette répartition est effectuée, dans chaque zone, proportionnellement aux longueurs
25 des tranches.

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

La figure 1 est le schéma d'une installation de coulée continue courbe et du système de contrôle de refroidissement de la barre coulée conforme à l'invention ;

- 5 La figure 2 est une courbe $T = g(t)$ 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 $C = f(t)$ représentant les variations
10 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 ; et

- 15 La figure 4 est une courbe de répartition du flux de chaleur extrait en lingotière.

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 redresseur 14 et un dispositif de refroidissement comportant
20 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
25 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
30 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.

- 35 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

0076743

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...

10 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
15 1 et 50 secondes.

Le principe de contrôle du refroidissement selon le procédé de la demande de brevet européen N° 81.400.212.7 est de maintenir dans le temps l'évolution de la solidification de la barre quel
20 que soit le régime de fonctionnement de la machine de coulée. Pour cela, on impose une loi de variation $C = f(t)$ de la quantité de chaleur extraite par kilo d'acier en fonction du temps de séjour dans la machine (figure 3) à laquelle est associée une loi de variation $T = g(t)$ de la température superficielle
25 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
30 classes.

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
35 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,
5 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 ;
10 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.

Ce calcul est effectué périodiquement, par exemple toutes les
15 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.

20

Connaissant le débit d'eau spécifique q pour chaque tranche élémentaire on peut calculer le débit d'eau $Q = q \times S$ à projeter sur la surface latérale S de la tranche.

25 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
30 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
35 total de la zone de refroidissement secondaire 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 total du produit coulé en lingotière t_1 et à la quantité de chaleur C_1 effectivement extraite en lingotière ; cette nouvelle courbe de formule générale $C = f(t-a)$ est représentée en traits interrompus sur la figure 3.

La température superficielle de la barre à la sortie de la lingotière est calculée pour chaque tranche 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'_1 est différente de la température théorique T_1 fournie par la courbe $T = g(t)$ (en trait plein sur la figure 2) correspondant aux conditions de marche de la machine, le calculateur corrigera le débit de cette courbe en admettant, par exemple, une variation linéaire de la température depuis la sortie de la lingotière (point d'abscisse t_1) jusqu'à un point prédéterminé de la partie supérieure de la zone de refroidissement (courbe en trait interrompu sur la figure 2), de façon à retrouver en ce point la température théorique. C'est cette courbe corrigée que le calculateur utilisera pendant tout le séjour de la tranche considérée dans la zone de refroidissement secondaire pour déterminer la température superficielle entrant dans le calcul des valeurs de consigne des débits d'eau.

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 débimètre 28, ou à partir d'un fichier de valeurs établies à l'aide de calculs prévision-

5 nels de simulation, la quantité globale de chaleur extraite en lingotière pendant la période de temps séparant deux calculs. En utilisant une courbe de répartition des flux de chaleur extraits le long de la lingotière, on détermine ensuite la

10 quantité de chaleur extraite de chaque tranche élémentaire se trouvant dans la lingotière pendant la période considérée et on calcule la quantité de chaleur extraite d'une masse unitaire de chaque tranche. Sur la figure 4 on a représenté deux cour-

bes donnant les variations du flux de chaleur φ extrait du métal contenu dans une lingotière, à travers la paroi de celle-

15 ci, en fonction de la distance l à la surface libre du métal et pouvant être utilisées, comme décrit ci-dessus, pour la mise en oeuvre de l'invention. En réalité, le flux de chaleur extrait varie de façon continue d'une extrémité à l'autre de la partie utile de la lingotière, comme représenté par la

20 courbe en trait plein de la figure 4. En pratique, on peut utiliser une courbe donnant une représentation approchée de la loi de répartition du flux (courbe en tirets sur la figure 4) en décomposant la partie utile de la lingotière en plusieurs zones (quatre dans l'exemple illustré) et en admettant que le

25 flux de chaleur conserve une valeur constante dans chacune de ces zones.

A chaque pas de calcul, on étudie plus particulièrement la tranche élémentaire de barre située à la sortie de la lingo-

30 tière et on calcule pour cette tranche l'âge t_1 et la quantité de chaleur C_1 extraite d'une masse unitaire pendant son séjour dans la lingotière puis sa température superficielle T'_1 . Ce sont ces valeurs qui sont utilisées ensuite, à chaque calcul, pour décaler la courbe $C = f(t)$ et corriger la courbe $T = g(t)$

35 comme décrit ci-dessus.

Ce perfectionnement au procédé de la demande de brevet européen N° 81.400.212.7 permet de déterminer avec plus de

0076743

précision la quantité de chaleur extraite en lingotière de chaque tranche élémentaire et, par conséquent, d'améliorer le contrôle du refroidissement.

R E V E N D I C A T I O N S

1. Procédé de contrôle du refroidissement du produit coulé dans une installation de coulée continue suivant lequel on divise le produit coulé en tranches élémentaires fictives, on détermine périodiquement, au moyen d'un calculateur (20),
5 la quantité de chaleur à extraire de chaque tranche et sa température superficielle à l'aide de courbes ($C = f(t)$, $T = g(t)$) donnant les variations de ces grandeurs en fonction de l'âge des tranches, on calcule à partir des valeurs ainsi déterminées le coefficient d'échange thermique puis le débit d'eau spécifique pour la tranche considérée, on calcule le débit d'eau à
10 projeter sur la tranche considérée, on intègre les débits d'eau calculés 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),
15 les débits d'alimentation en eau des différentes sections égaux aux valeurs de consigne respectives, la courbe ($C = f(t)$) donnant les variations de la quantité de chaleur à extraire des tranches en fonction de leur âge étant décalée parallèlement à l'axe des temps, avant chaque calcul des débits d'eau
20 à projeter sur chaque tranche, de façon à la faire passer par le point dont les coordonnées sont, d'une part, le temps du séjour total de la tranche en lingotière (t_1) et, d'autre part, la quantité de chaleur (C_1) extraite de cette tranche pendant
25 tout son séjour en lingotière, caractérisé en ce que, pour déterminer la quantité de chaleur (C_1) extraite de chaque tranche en lingotière, on détermine périodiquement la quantité de chaleur globale extraite de la lingotière, on répartit cette quantité de chaleur globale sur toute la hauteur utile de la
30 lingotière, suivant une loi prédéterminée, on en déduit la quantité de chaleur extraite de chaque tranche se trouvant dans la lingotière à l'instant considéré et on calcule pour chaque tranche, à sa sortie de la lingotière, la quantité de chaleur totale extraite en lingotière en faisant la somme des quantités
35 de chaleur déterminées périodiquement pendant le séjour de la tranche dans la lingotière.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la valeur de la quantité de chaleur totale extraite en lingotière de chaque tranche est utilisée pour déterminer la température superficielle de cette tranche à sa sortie de la lingotière, la valeur ainsi obtenue étant utilisée pour corriger la courbe donnant les variations de la température superficielle en fonction de l'âge des tranches.

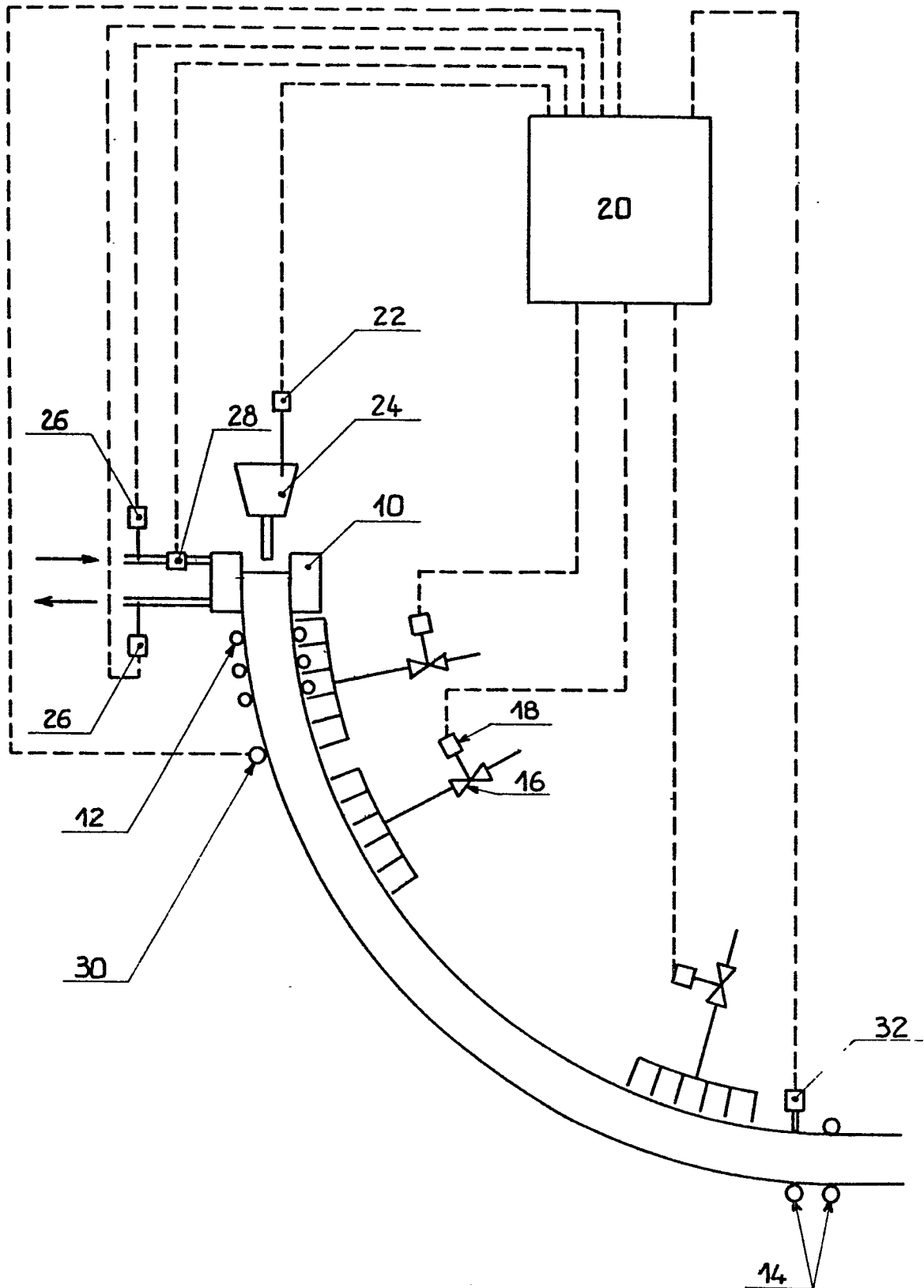


Fig : 1

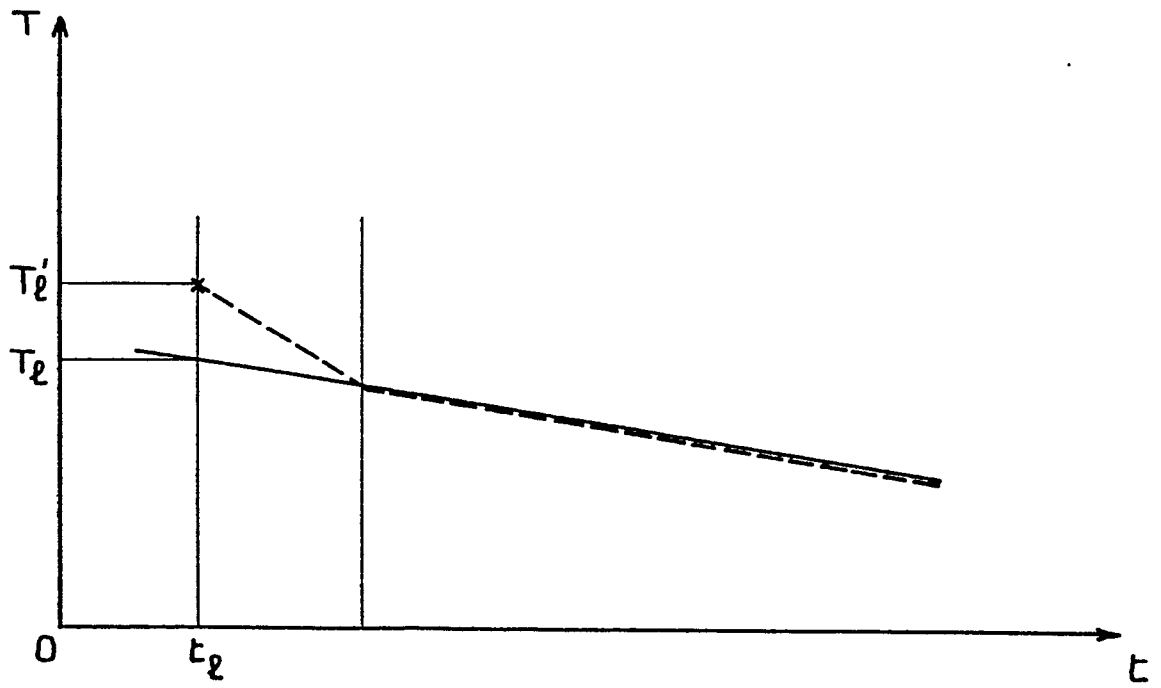


Fig:2

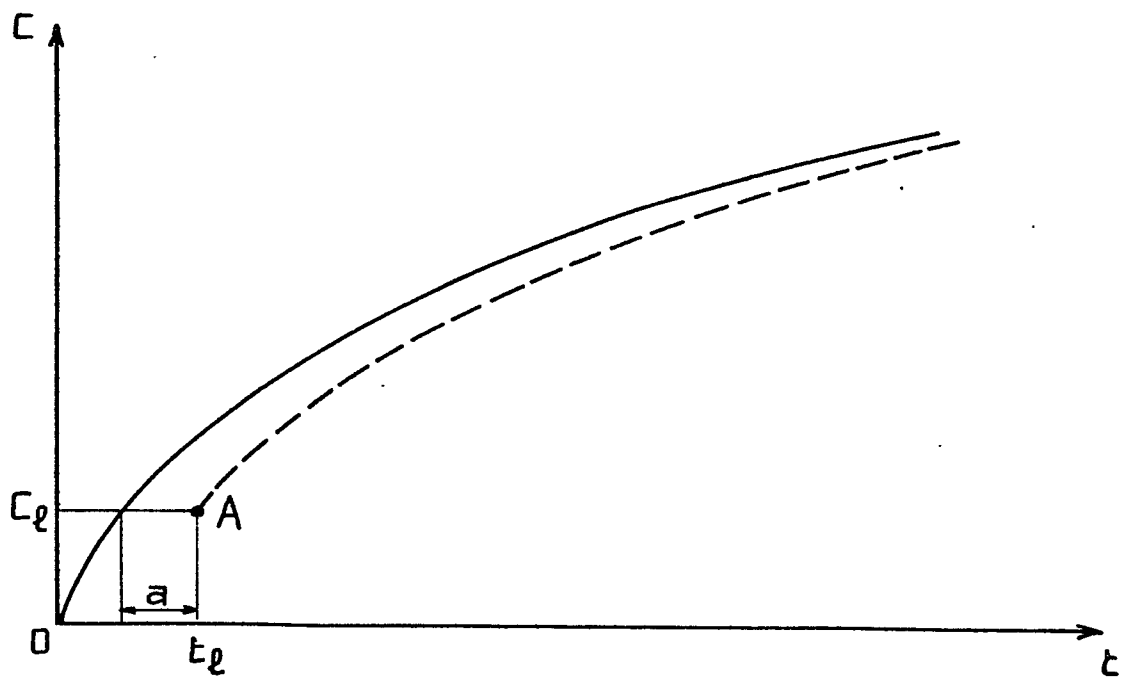


Fig:3

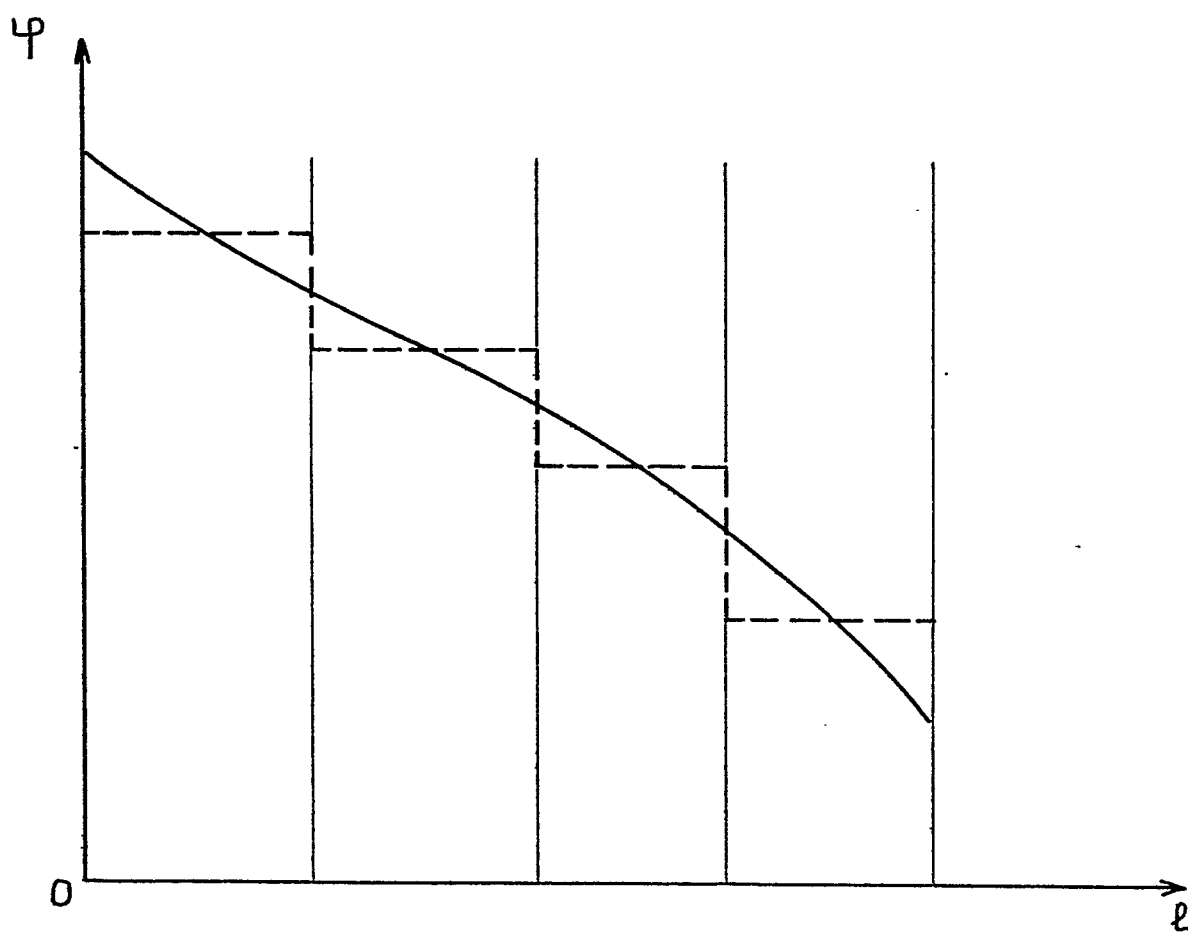


Fig:4



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0076743
Numéro de la demande

EP 82 40 1769

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 3)
A	FR-A-2 180 902 (CONCAST) ---		B 22 D 11/16
A	US-A-4 235 276 (BETHLEHEM STEEL) --- -----		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 3)
			B 22 D 11/16
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 07-01-1983	Examineur SCHIMBERG J.F.M.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			