



⑫ **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑲ Numéro de dépôt : **93400675.0**

⑤① Int. Cl.⁵ : **B22D 11/04, B22D 11/16**

⑳ Date de dépôt : **16.03.93**

③⑩ Priorité : **31.03.92 FR 9203906**

⑦② Inventeur : **Wolf, Manfred**
Dolderstrasse 40
CH-8032 Zurich (CH)

④③ Date de publication de la demande :
06.10.93 Bulletin 93/40

⑦④ Mandataire : **Michelet, Alain et al**
Cabinet Harlé et Phelip 21 rue de la
Rochefoucauld
F-75009 Paris (FR)

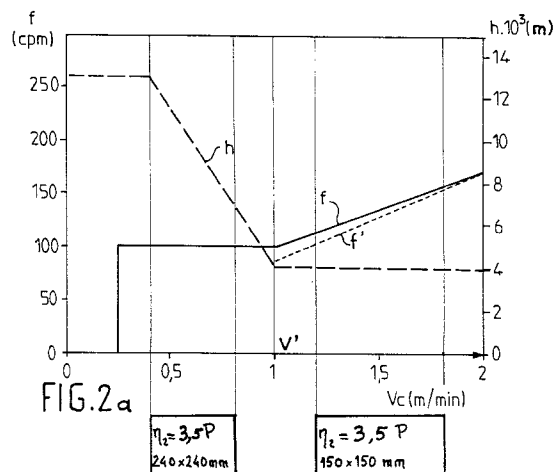
⑧④ Etats contractants désignés :
AT BE DE GB

⑦① Demandeur : **CLECIM**
10, avenue de l'Entreprise
F-95863 Cergy-Pontoise Cédex (FR)

⑤④ **Procédé de coulée continue.**

⑤⑦ L'invention s'applique à la coulée en continu de l'acier dans une lingotière à parois refroidies, animée de mouvements d'oscillation sur une course h et à une fréquence f , pour la réalisation d'un produit sortant du moule à une vitesse de coulée V_c , le métal étant surmonté d'un produit de lubrification formant un laitier liquide la vitesse de la lingotière vers le bas étant supérieure à la vitesse de coulée V_c pendant un temps de cicatrisation t_N .

Selon l'invention, sans modifier la nature du produit de lubrification, on peut régler la vitesse de coulée V_c sur une large plage pour s'adapter à des conditions de coulée déterminées, en agissant de façon conjuguée sur la course et sur la fréquence des oscillations en fonction de la vitesse de coulée choisie, de façon que, quelle que soit la vitesse de coulée V_c , le débit Q de consommation du produit de lubrification et le temps de cicatrisation t_N soient maintenus chacun à une valeur optimale sensiblement constante sur toute la plage de réglage de la vitesse.



L'invention a pour objet un procédé de coulée en continu d'un métal fondu permettant en particulier de faire varier la vitesse de coulée.

La technique de coulée en continu d'un métal ferreux, pour l'obtention d'un produit tel qu'une billette, un bloom ou une brame, est connue et utilisée depuis longtemps. D'une façon générale, une installation de coulée en continu comprend une lingotière ou coquille, constituée d'un moule sans fond limitant une cavité ouverte à ses deux extrémités et dont les parois sont refroidies énergiquement de façon que le métal fondu coulé dans l'orifice supérieur du moule forme, le long des parois refroidies, une croûte solidifiée suffisamment épaisse au niveau de l'orifice inférieur pour permettre l'évacuation en continu d'un produit limité par ladite croûte solidifiée et dont la partie centrale restée liquide se solidifie progressivement dans un dispositif dit de refroidissement secondaire placé au-dessous de la lingotière et dans lequel sont placés, en outre, des moyens d'extraction, par exemple, des rouleaux entraînés en rotation, qui permettent de tirer le produit vers le bas à une vitesse réglable qui dépend des conditions de coulée.

Généralement, la lingotière a un axe sensiblement vertical et le dispositif de refroidissement secondaire, qui forme un corset de guidage du produit, est courbé de façon à ramener à l'horizontale le produit coulé verticalement, ce qui facilite l'évacuation du produit et son découpage en tronçons d'une certaine longueur. Généralement, l'axe de la lingotière présente une courbure correspondant à celle du corset de guidage pour faciliter le changement de direction du produit.

Il est nécessaire d'éviter une adhérence du métal sur les parois refroidies de la lingotière qui pourrait provoquer des arrachements de la croûte solide et des percées.

C'est pourquoi, dès le début du développement de la technique de coulée continue, on a proposé de faire osciller la lingotière parallèlement à son axe rectiligne ou courbe. A cet effet, on utilise différents dispositifs bien connus. Généralement, la lingotière est fixée de façon amovible sur une table qui est guidée et animée de mouvements d'oscillation, par exemple au moyen de leviers reliés à un système d'oscillation. Ce dernier peut être, par exemple, un système à excentrique donnant à la lingotière un mouvement de type sinusoïdal. Plus récemment, cependant, on a proposé d'autres systèmes d'oscillation, par exemple à commande hydraulique, qui donnent de plus larges possibilités de réglage du mouvement d'oscillation et, par exemple, permettent de réaliser un diagramme de vitesses de type carré, en dents de scie ou autre.

Cependant, pour éviter le collage de la croûte solidifiée sur les parois refroidies, il est aussi nécessaire de lubrifier celles-ci au moyen d'un produit susceptible de s'interposer entre la croûte et la paroi, pour favoriser le glissement et améliorer la qualité de surfa-

ce.

Depuis un certain temps, on utilise comme lubrifiant des produits sous forme de poudre qui sont déversés sur le ménisque formé par le métal liquide à la partie supérieure de la lingotière et fondent au contact du métal. Il est avantageux d'utiliser des produits qui, outre leur pouvoir lubrifiant, remplissent les fonctions d'un laitier telles que l'absorption des inclusions.

Le laitier liquide constitué ainsi au contact du ménisque de métal descend le long des parois refroidies de la lingotière en formant un film de faible épaisseur entre la paroi et la croûte solidifiée.

Cette descente du laitier le long des parois est favorisée par le mouvement cyclique d'oscillation de la lingotière qui comprend, à chaque cycle, une phase de descente de la lingotière et une phase de remontée dans le sens inverse du produit qui continue à descendre. Depuis longtemps, on sait qu'il est nécessaire de régler le mouvement d'oscillation de la lingotière de telle sorte que celle-ci atteigne, à la fin de la descente, une vitesse plus grande que la vitesse d'extraction du produit, ce qui permet de créer un effet de glissement négatif pendant un certain temps appelé "temps de strippage négatif" ou bien "temps de cicatrization". On a observé, en effet, que le laitier liquide interposé entre la paroi refroidie et la croûte solidifiée est comprimé pendant la durée du glissement négatif puis se décompresse, ce qui favorise l'infiltration du lubrifiant.

Il en résulte, cependant, la formation sur les faces de produit coulé de rides ou marques d'oscillation dont la profondeur dépend de la nature du métal, mais aussi des conditions de coulée et, notamment, de la course et de la fréquence des oscillations ainsi que de la durée du glissement négatif.

Par ailleurs, la qualité de la lubrification dépend aussi de la nature du laitier, en particulier de sa viscosité, des dimensions du produit coulé et de la vitesse d'extraction.

Pour améliorer la qualité de surface du produit coulé, on cherche à minimiser autant que possible la profondeur des rides d'oscillation et l'on peut agir, pour cela, sur un grand nombre de paramètres dépendant, notamment, de la nature du métal et des conditions de coulée.

Il est admis, cependant, qu'il faut essentiellement réduire le temps de cicatrization et, dans ce but, on utilise habituellement des fréquences assez élevées conjointement avec une course réduite, ce qui permet, en outre, de minimiser les forces d'inertie et les risques de vibrations du mécanisme d'oscillation. Toutefois, on diminue ainsi l'infiltration du lubrifiant, ce qui augmente le danger de collage.

Pour chaque nature de métal, il est possible de déterminer, au moins empiriquement, la nature du laitier, en particulier sa viscosité et la consommation optimale qui permettront, pour une vitesse d'extraction normale, et jusqu'à la vitesse maximale souhaitée,

d'assurer une bonne lubrification de la lingotière.

Cependant, la vitesse d'extraction du produit ne peut pas être maintenue constante ni même limitée à une plage étroite. En effet, cette vitesse dépend déjà de la section transversale du produit, les produits de faible section tels que des billettes étant coulés à des vitesses supérieures à la vitesse de coulée de certains produits de plus grandes dimensions tels que les blooms ou les brames, le rapport pouvant être de l'ordre du double ou de triple.

Par ailleurs, pour un même produit, on peut être amené, dans les installations modernes, à faire varier largement la vitesse d'extraction. Par exemple, on sait que le métal fondu est amené de l'aciérie dans des poches qui sont placées à tour de rôle au-dessus de l'installation, la poche vide étant remplacée par une poche pleine. Pour éviter une discontinuité de la coulée pendant le temps de remplacement d'une poche, l'acier n'est pas déversé directement dans la lingotière, mais dans un récipient intermédiaire qui sert de tampon et, en outre, peut répartir l'acier dans plusieurs lignes voisines. Mais le remplacement d'une poche vide par une poche pleine peut s'effectuer avec un retard excédant les capacités du récipient intermédiaire et, dans ce cas, il est nécessaire de réduire le débit du métal coulé dans la lingotière et, par conséquent, la vitesse d'extraction.

Mais si l'on fait varier la vitesse d'extraction, il faut, cependant, maintenir une bonne lubrification des parois et conserver un taux de cicatrisation optimal. Pour cela, il est possible d'agir sur l'amplitude et/ou la fréquence des oscillations en fonction de la vitesse de coulée. Cependant, dans les machines classiques, dans lesquelles l'oscillation est produite par excentrique, il est, en général, difficile de régler l'amplitude des oscillations et, en tous cas, ce réglage ne peut se faire qu'à l'arrêt de la machine. En pratique, on avait donc l'habitude, jusqu'à présente d'agir seulement sur la fréquence des oscillations pour adapter la vitesse de la lingotière à la vitesse de coulée.

Souvent, la fréquence est simplement une fonction linéaire de la vitesse de coulée. Sur la Figure la ci-jointe, par exemple, on a représenté les variations de la fréquence en fonction de la vitesse de coulée qui permettent de déterminer, pour chaque vitesse, la fréquence qu'il convient de donner aux oscillations, la course d'oscillation étant maintenue constante sur toute la plage de réglage de la vitesse. Dans l'exemple représenté qui correspond à un cas classique, la course d'oscillation constante est de 6,5 millimètres et la fréquence est liée linéairement à la vitesse par la relation $f = 100 V_c$.

La vitesse moyenne de la lingotière au cours d'un cycle étant $V_m = 2 hf$, le rapport de strippage appelé couramment "N S R" et qui est égal à $V_m/V_c = 2 hf/V_c$ a donc, pour une course de 6,5 millimètres, une valeur de 1,3, ce qui correspond à un cas fréquemment trou-

vé dans l'industrie.

D'autre part, on sait que, pour un mouvement sinusoidal de la lingotière, le temps de cicatrisation ou temps de strippage négatif est de :

$$t_N = \frac{60}{\pi f} \cdot \text{Arc cos} \frac{V_c}{\pi fh}$$

La Figure 1b est un diagramme montrant les variations du temps de cicatrisation t_N en fonction des valeurs données à la vitesse de coulée et compte tenu de la fréquence correspondante indiquée sur la Figure 1a. On voit que, pour les vitesses de coulée relativement élevées, supérieures à 1 mètre/minute, le temps de cicatrisation est assez bas, autour de 0,1 seconde, ce qui permet de minimiser la profondeur des rides d'oscillation, en particulier pour les nuances d'acier caractérisées par un "potentiel ferritique" de l'ordre de 1 et qui ont tendance aux rides profondes avec comme conséquence un risque de formation de criques transversales.

On voit, cependant, que les valeurs t_N basses correspondent à des fréquences élevées, ce qui augmente le danger de collage par diminution de l'infiltration du lubrifiant avec tendance croissante au collage à des vitesses de coulée élevées. Il est donc nécessaire d'adapter la viscosité du laitier à la vitesse de coulée.

C'est ainsi que, dans l'exemple représenté sur les Figures 1a et 1b, on utilise avantageusement une poudre formant par fusion un laitier dont la viscosité à 1300° est : $\eta_1 = 1,5$ poise.

Comme on l'a indiqué sur le diagramme, on peut ainsi couler dans de bonnes conditions des produits d'assez faibles dimensions, par exemple des billettes de section 150 x 150 millimètres à des vitesses pouvant varier entre 1,2 et 1,8 m/min.

En revanche, pour des vitesses plus basses, il faudra utiliser une autre poudre permettant d'obtenir à 1300°, par exemple, un laitier de viscosité $\eta_1 = 6,0$ poises. On peut ainsi couler des produits de dimensions relativement élevées, par exemple des blooms de section 240 x 240 mm à des vitesses pouvant aller de 0,4 à 0,8 m/min. On voit cependant sur le diagramme que le temps de strippage peut alors varier de 0,25 à 0,5 sec environ.

Un tel résultat n'est donc pas entièrement satisfaisant et, pourtant, il a été obtenu en faisant varier la qualité du laitier pour deux gammes de vitesse qui, en outre, sont assez limitées.

L'invention a donc pour objet de remédier à de tels inconvénients grâce à un nouveau procédé de coulée continue permettant de faire varier la vitesse de coulée sur une plage beaucoup plus large avec le même laitier.

Conformément à l'invention, on détermine tout d'abord la nature du produit de lubrification et son débit de consommation optimal en fonction de la nature du métal et des conditions de coulée normales et,

sans modifier la nature du produit de lubrification, on règle la vitesse de coulée V_c sur une large plage pour s'adapter à des conditions de coulée déterminées, en agissant de façon conjuguée sur la course et sur la fréquence des oscillations en fonction de la vitesse de coulée choisie, de telle façon que, pour chaque vitesse de coulée V_c , le débit Q de consommation du produit de lubrification et le temps de cicatrisation t_n ne s'écartent pas sensiblement chacun d'une valeur optimale valable sur toute la plage de réglage de la vitesse.

Selon une caractéristique essentielle de l'invention, la course et la fréquence des oscillations sont réglées différemment sur deux gammes de vitesse couvrant la large plage de réglage souhaitée, respectivement une gamme de vitesses hautes qui descend depuis la vitesse maximale de coulée jusqu'à une vitesse critique V' et dans laquelle la course d'oscillation est maintenue constante alors que la fréquence d'oscillation est une fonction croissante de la vitesse de coulée, et une gamme de vitesses basses qui va de la vitesse critique jusqu'à une vitesse minimale et dans laquelle la fréquence d'oscillation est maintenue sensiblement constante alors que la course d'oscillations est une fonction inverse de la vitesse de coulée, ladite vitesse critique étant la vitesse jusqu'à laquelle on peut descendre en maintenant la fréquence constante et en conservant un rapport de glissement V_m/V_c acceptable, V_c étant la vitesse de coulée à un instant considéré et V_m étant la vitesse moyenne de la lingotière au cours du cycle correspondant à cet instant.

De préférence, dans la gamme des vitesses basses, l'amplitude des oscillations est une fonction linéaire inverse de la vitesse de coulée et dans la gamme des vitesses hautes, la fréquence des oscillations est une fonction linéaire directe de la vitesse de coulée.

Selon une autre caractéristique essentielle de l'invention, sur une plage de réglage de la vitesse de coulée V_c pouvant aller de 0,3 m/min environ à 7 m/min ou plus, la course et la fréquence des oscillations sont liées à la nature et au débit de consommation du produit de lubrification par la relation :

$$Q = A (h.f.V_c.\eta)^{-m}$$

Q étant le débit de consommation de laitier en kg par m² de section de la lingotière,
 h la course des oscillations en mètres
 f la fréquence des oscillations en nombre de cycles par minute (cpm)
 V_c la vitesse de coulée en m/min
 η la viscosité du laitier en poises, à 1300°C environ
 A une constante
 m un nombre compris entre 0 et 1.

De façon particulièrement avantageuse, les constantes A et m de la relation précédentes ont des valeurs de l'ordre de 0,5.

Selon une autre caractéristique, dans la gamme de vitesses basses, la course d'oscillation est reliée à la vitesse de coulée V_c par la relation :

$$h = - D V_c^a + C$$

dans laquelle D , C et a sont des valeurs constantes dépendant de la nature du métal et des conditions de coulée.

Par ailleurs, il est préférable que dans la gamme des vitesses hautes, la fréquence des oscillations soit réglée en fonction de la vitesse de coulée V_c de façon à rester toujours supérieure à une fréquence minimale $f' = 680 V_c/2h$.

Dans un mode de réalisation particulièrement avantageux, la lingotière est animée d'oscillations de type triangulaire et le temps de cicatrisation t_n est maintenu à une valeur optimale constante sur toute la plage de réglage de la vitesse de coulée.

De préférence, le débit de consommation du produit de lubrification est maintenu, sur toute la plage de réglage de la vitesse de coulée, à une valeur sensiblement constante de l'ordre de 0,3 kg par m² de section de la lingotière.

Dans un mode de réalisation particulièrement avantageux d'une installation de coulée continue pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention, la lingotière est associée à des capteurs de mesure des efforts émettant un signal utilisé pour une optimisation instantanée des paramètres dans une boucle de contrôle fermée et auto-régulante.

Mais l'invention sera mieux comprise par la description suivante d'un exemple pratique illustrée par les dessins annexés.

Les Figures 1a et 1b sont, comme on l'a déjà indiqué, des diagrammes illustrant des exemples de coulée classiques et indiquant respectivement, en fonction de la vitesse de coulée, la course et la fréquence d'oscillation sur la Figure 1a et, sur la Figure 1b, le temps de cicatrisation ainsi que le débit de consommation de laitier.

Les Figures 2a et 2b sont des diagrammes illustrant un exemple pratique de réalisation de l'invention, et indiquant respectivement, en fonction de la vitesse de coulée, les valeurs de la course et de la fréquence d'oscillation sur la Figure 2a et, sur la Figure 2b, les valeurs du temps de cicatrisation et du débit de consommation de laitier.

Après évaluation d'un grand nombre d'évaluations industrielles, on a pu établir une fonction approximative et empirique entre la consommation Q en produit de lubrification, exprimée en kg par m² de section transversale et les paramètres essentiels de coulée, cette fonction étant de la forme :

$$Q = A (h.f.V_c.\eta)^{-m}$$

h étant la course d'oscillation en mètres, f la fréquence en cycles par minute, V_c la vitesse de coulée en mètre par minute et η la viscosité à 1300°C en poise.

La température de 1300°C correspond à la température caractéristique de surface des aciers doux,

c'est-à-dire environ 200°C au-dessous du Solidus. Pour des nuances plus alliées, une adaptation de la valeur de la viscosité à une température caractéristique plus basse serait nécessaire.

Cette fonction est essentiellement empirique mais on a établi qu'elle pouvait, en pratique, s'appliquer sur la gamme suivante des différents paramètres :

- . h entre 0,002 et 0,020 m
- . f entre 20 et 400 cpm et, de préférence, 25 à 200 cpm
- . V_c entre 0,3 et 7,0 m/min
- . η entre 0,1 et 20 poises.

Dans les cas les plus classiques, les constantes A et m sont de l'ordre de 0,5.

Sur la Figure 1b qui correspond, comme on l'a vu, à des exemples de coulée classiques, avec course constante et augmentation linéaire de la fréquence en fonction de la vitesse, on a indiqué, d'une part, la variation du temps de strippage négatif t_N et, d'autre part, les valeurs du débit de consommation Q, pour deux sortes de laitier employées présentant, respectivement, une viscosité de 1,5 poise pour les vitesses relativement élevées correspondant à la coulée de billettes de dimensions 150 x 150 millimètres et une viscosité de 6 poises pour les vitesses relativement basses correspondant à la coulée de blooms de dimensions 240 x 240 millimètres.

On constate que, pour la coulée de billettes à des vitesses allant de 1,2 à 1,8 m/min, le temps de strippage négatif reste compris entre 0,1 et 0,2 sec et la consommation de laitier varie entre 0,4 et 0,3 kg/m².

Or, on a pu observer que la valeur optimale pour la consommation de poudre de laitier était de l'ordre de 0,3 kg/m², le temps de cicatrisation optimal étant de 0,1 sec. pour des nuances d'acier ayant un "potentiel ferritique" de l'ordre de 1.

Par conséquent, pour des produits de faibles sections et des vitesses de coulée élevées, la qualité de surface peut être maintenue satisfaisante, le temps du strippage et la consommation de laitier étant proches des valeurs optimales.

En revanche, on voit que, même en utilisant un laitier de viscosité élevée, par exemple, de l'ordre de 6 poises, le temps de cicatrisation et la consommation de laitier varient plus fortement et s'écartent sensiblement des valeurs optimales pour les vitesses basses. On risque donc d'obtenir une qualité de surface très douteuse en vitesses basses, malgré l'utilisation d'une poudre de laitier à viscosité élevée.

On va voir, en revanche, que le procédé selon l'invention donne une très grande souplesse de fonctionnement à une installation de coulée continue car il permet de régler la vitesse de coulée sur une large plage sans changer la nature du produit de lubrification et en conservant un temps de cicatrisation et une consommation de ce produit proches des valeurs optimales, même aux vitesses basses.

Sur la Figure 2a, on a représenté les variations de la course d'oscillation h et de la fréquence d'oscillation f en fonction de la vitesse de coulée choisie, celle-ci pouvant varier, dans l'exemple représenté, entre 0,3 et 2 m/min.

On a choisi, dans l'exemple représenté, un laitier de viscosité $\eta_2 = 3,5$ poises.

Dans une première gamme de vitesses hautes, on maintient, comme précédemment, la course d'oscillation à une valeur constante, par exemple 4 mm. En revanche, la fréquence est modifiée de façon linéaire en fonction de la vitesse, suivant la relation :

$$f = 70 V_c + 30.$$

Pour une telle course d'oscillation, cette loi de variation de la fréquence conduit, pour une vitesse maximale de coulée de 2 m/min, à un rapport de glissement "N S R" = 0,68 qui permet d'assurer le strippage négatif nécessaire pour une bonne action du lubrifiant, cette action pouvant, par exemple, être surveillée au moyen de capteurs qui indiquent les efforts appliqués sur la lingotière, par exemple des pesons ou des jauges de contrôle.

Comme on l'indique sur la Figure 2a, la fréquence d'oscillation est une fonction directe de la vitesse et croît, donc, avec celle-ci mais, dans la loi de variations choisie, la fréquence reste toujours supérieure à la valeur conduisant à un rapport "N S R" minimal de 0,68, la droite représentative des variations de la fréquence f étant au-dessus de la droite f' représentée en pointillés et qui correspond à l'équation $f = 680 V_c/2h$.

D'une façon générale, la fréquence d'oscillation peut être réglée sur une large plage allant, par exemple, de 20 à 400 cycles par minute. Toutefois, il est préférable de ne pas dépasser 200 cpm pour favoriser la longévité du système d'oscillation.

Selon l'une des caractéristiques de l'invention, on peut diminuer la vitesse de coulée en conservant une course d'oscillation constante et en abaissant la fréquence proportionnellement à la vitesse sur toute une gamme de vitesses hautes allant depuis la vitesse maximale jusqu'à une vitesse critique V' qui est la vitesse jusqu'à laquelle on peut descendre en maintenant la course d'oscillation constante et en conservant un rapport de glissement "N S R" = V_m/V_c acceptable et, dans le cas représenté, de 0,68, la vitesse critique V' étant de l'ordre de 1 m/min.

En revanche, si l'on veut descendre dans une gamme de vitesses plus basses que la vitesse critique V', on maintient alors la fréquence d'oscillations à une valeur constante qui correspond à la vitesse critique V' et qui est de l'ordre de 100 cycles par minute et l'on règle la course d'oscillation h selon une fonction linéaire inverse de la vitesse, ce qui signifie que la course d'oscillation h augmente proportionnellement à l'abaissement de la vitesse de coulée V_c .

De préférence, la course d'oscillation h est liée à la vitesse de coulée V_c , dans la gamme basse, par

une relation de la forme :

$$h = \pm D V_c^a + C$$

dans laquelle D, C et a sont des valeurs constantes dépendant de la nature du métal et des conditions de coulée.

Dans le cas de coulée représenté sur la Figure 2a, on a vu que h est une fonction linéaire de V_c , a étant donc égal à 1.

Ainsi, en utilisant un même laitier de viscosité 3,5 poises, on a pu couler des produits de sections différentes et dans deux gammes de vitesse, respectivement des billettes de section 150 x 150 millimètres sur une gamme de vitesses allant de 1,2 à 1,8 m/min et des blooms de section 240 x 240 millimètres sur une gamme de vitesses allant de 0,4 à 0,8 m/min.

On peut ainsi comparer les avantages apportés par l'invention par rapport à l'exemple classique représenté sur les Figures 1a et 1b.

On a déjà indiqué qu'un avantage essentiel réside dans l'utilisation d'un même laitier de viscosité moyenne alors que, dans le cas précédent, on utilisait un laitier de viscosité faible pour les billettes et un laitier de viscosité forte pour les blooms. Cet avantage est particulièrement important lorsque l'on désire faire varier la section du produit coulé, en cours de coulée, un changement de laitier étant alors très difficile.

Par ailleurs, on a indiqué sur la Figure 2b la courbe représentative des variations du temps de cicatrisation t_N et l'on voit que celui-ci reste inférieur à la valeur optimale 0,1 sec sur toute la gamme de vitesses hautes et que, s'il atteint des valeurs supérieures pour les vitesses basses, ces valeurs restent cependant de l'ordre de 0,25 sec, ce qui est très acceptable et bien inférieur au temps de cicatrisation observé sur la Figure 1b.

Mais, sur la Figure 2b qui montre aussi les courbes représentatives de la consommation de Laitier Q, on voit, en outre, que, dans les deux cas, les courbes sont sensiblement horizontales et que la consommation Q se maintient sur toute la plage de vitesse à une valeur pratiquement constante et de l'ordre de la consommation optimale de 0,3 kg par m². Cette possibilité de maintien de la consommation est également un avantage important de l'invention.

On voit donc que, sans changer la nature du laitier, l'invention permet faire varier la vitesse sur une très large plage tout en maintenant le temps de stripage négatif et la consommation de laitier à des valeurs proches de leur valeur optimale, ce qui permet d'assurer une excellente qualité de surface.

Pour réaliser, selon l'invention, le réglage de la course d'oscillation en fonction de la vitesse, il est avantageux de commander les oscillations de la lingotière au moyen d'un système d'entraînement hydraulique décrit, par exemple, dans le brevet français 86.03282 déposé le 7 Mars 1986 par la même Société ou bien dans le document EP-A-0325.931. Un tel système permet, en effet, de réaliser très facilement un

changement de course en cours de coulée.

Par ailleurs, la courbe t_N indiqué précédemment et représenté sur la Figure 2b correspond au cas classique d'oscillations sinusoïdales, mais un système de commande hydraulique des oscillations permet de modifier facilement la forme du diagramme de variation de la vitesse et de réaliser des oscillations rectangulaires ou triangulaires.

Dans ce cas, le temps de cicatrisation peut être réglé, sur toute la plage de réglage de la vitesse, à une valeur constante t'_N égale à la valeur optimale de 0,1/sec comme on l'a représenté sur la Figure 2b.

On voit que cet avantage est particulièrement significatif dans le cas des vitesses basses puisqu'il permet d'abaisser encore le temps de cicatrisation jusqu'à la valeur optimale. Toutefois, l'utilisation d'oscillations triangulaires est également intéressante dans le cas des vitesses hautes. En effet, dans l'exemple représenté où l'on part, pour la vitesse critique $V' = 1$ m/min d'une fréquence d'oscillation de 100 cpm, qui correspond à une durée totale du cycle de 0,6 sec, le temps de remontée de la lingotière qui est égal à $t_p = t_c - t_N$ et qui est de 0,5 sec pour la vitesse critique de 1 m/min, peut être réduit graduellement en fonction de l'augmentation de la vitesse et de l'augmentation concomitante de la fréquence selon la loi $F = 70 V_c + 30$, puisque t_N reste égal à la valeur optimale 0,1 sec.

Ainsi, sur la gamme de vitesses hautes, le temps de remontée de la lingotière par rapport au produit peut descendre de 0,5 à 0,25 sec lorsque la vitesse de coulée passe de 1 à 2 m/min.

On voit que l'on peut adapter parfaitement les paramètres d'oscillation aux besoins de qualité de surface et cette façon d'opérer diminue les vibrations et augmente la longévité du système d'oscillation.

L'invention peut donc s'appliquer, d'une façon générale, à toute installation de coulée continue permettant un réglage de la course d'oscillation en cours de coulée et elle est particulièrement intéressante dans le cas d'oscillations triangulaires permettant de réaliser un temps de cicatrisation constant et optimale.

Une telle installation de coulée sera équipée, de préférence, avec des capteurs permettant de mesurer les efforts appliqués sur la lingotière et dont le signal pourra être utilisé pour une optimisation instantanée des paramètres dans une boucle de contrôle fermée et auto-régulante.

Bien entendu, l'invention n'est pas seulement limitée au seul exemple de réalisation qui vient d'être décrit en détail et, selon la nature de l'acier et les conditions de coulée, il serait possible de couvrir d'autres plages de vitesse de coulée, en utilisant un laitier de viscosité différente.

Par ailleurs, on a prévu la coulée de billettes pour la gamme de vitesses hautes et de blooms pour la gamme de vitesses basses, mais les principes de l'invention sont applicables à toutes sections de produit,

par exemple à la coulée de brames dont on peut faire varier la section en cours de coulée.

Les signes de référence, insérés après les caractéristiques techniques mentionnées dans les revendications, ont pour seul but de faciliter la compréhension de ces dernières et n'en limitent aucunement la portée.

Revendications

1. Procédé de coulée en continu d'un métal fondu dans une lingotière constituée d'un moule sans fond à parois refroidies et à axe sensiblement vertical, animée de mouvements d'oscillation sur une course (h), parallèlement à l'axe et à une fréquence (f), pour la réalisation d'un produit sortant du moule à une vitesse de coulée (V_c), le métal étant surmonté, dans la lingotière, d'un produit fusible à son contact pour la formation d'un laitier liquide susceptible de lubrifier les parois refroidies, les oscillations de la lingotière étant réglées de façon que, au cours de chaque cycle d'oscillation de durée (t_c), la vitesse de la lingotière vers le bas soit supérieure à la vitesse de coulée (V_c) pendant un temps de cicatrisation (t_N), ladite vitesse de coulée (V_c) pouvant être modifiée pour s'adapter aux conditions de coulée,

caractérisé par le fait que l'on détermine tout d'abord la nature du produit de lubrification et son débit de consommation optimal en fonction de la nature du métal et des conditions de coulée normales et que, sans modifier la nature du produit de lubrification, on règle la vitesse de coulée (V_c) sur une large plage pour s'adapter à des conditions de coulée déterminées, en agissant de façon conjuguée sur la course et sur la fréquence des oscillations en fonction de la vitesse de coulée choisie, de telle façon que, pour chaque vitesse de coulée (V_c), le débit (Q) de consommation du produit de lubrification et le temps de cicatrisation (t_N) ne s'écartent pas sensiblement, chacun d'une valeur optimale valable sur toute la plage de réglage de la vitesse.

2. Procédé de coulée continue selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la course et la fréquence des oscillations sont réglées différemment sur deux gammes de vitesse couvrant la large plage de réglage souhaitée, respectivement une gamme de vitesses hautes qui descend depuis la vitesse maximale jusqu'à une vitesse critique (V') et dans laquelle la course d'oscillation est maintenue constante alors que la fréquence d'oscillation est une fonction croissante de la vitesse de coulée, et une gamme de vitesses basses qui va de la vitesse critique jusqu'à une vitesse minimale et dans laquelle la fréquence d'oscil-

lation est maintenue sensiblement constante alors que l'amplitude des oscillations est une fonction décroissante de la vitesse de coulée, ladite vitesse critique étant la vitesse jusqu'à laquelle on peut descendre en maintenant l'amplitude d'oscillations constante et en conservant un rapport de glissement (V_m/V_c) acceptable, (V_c) étant la vitesse de coulée à un instant considéré et (V_m) la vitesse moyenne de la lingotière au cours du cycle correspondant à cet instant.

3. Procédé de coulée continue selon la revendication 2, caractérisé par le fait que, dans la gamme des vitesses basses, la course d'oscillation est une fonction linéaire inverse de la vitesse de coulée.

4. Procédé de coulée continue selon la revendication 2, caractérisé par le fait que, dans la gamme des vitesses hautes, la fréquence des oscillations est une fonction linéaire directe de la vitesse de coulée.

5. Procédé de coulée continue selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que, sur une plage de réglage de la vitesse de coulée (V_c) pouvant aller de 0,3 m/min environ à 7 m/min ou plus, la course et la fréquence d'oscillation sont liées à la nature et au débit de consommation du produit de lubrification par la relation :

$$Q = (A) (h \cdot f \cdot V_c \cdot \eta)^{-m}$$

Q étant le débit de consommation de laitier en kg par m² de section de la lingotière

h la course d'oscillation en mètres

f la fréquence des oscillations en nombre de cycles par minute (cpm)

V_c la vitesse de coulée en m/min

η la viscosité du laitier en poises, à 1300°C environ

A une constante

m un nombre compris entre 0 et 1.

6. Procédé de coulée continue selon la revendication 5, caractérisé par le fait que (A) et (m) ont des valeurs de l'ordre de 0,5.

7. Procédé de coulée continue selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que, dans la gamme des vitesses basses, la course d'oscillation (h) est reliée à la vitesse de coulée (V_c) par une relation :

$$(h) = \pm D \cdot (V_c)^a + C$$

dans laquelle (D), (C) et (a) sont des valeurs constantes dépendant de la nature du métal et des conditions de coulée.

8. Procédé de coulée continue selon l'une des re-

- vendications précédentes, caractérisé par le fait que, dans la gamme des vitesses hautes, la fréquence des oscillations est réglée en fonction de la vitesse de coulée V_c de façon à rester toujours supérieure à une fréquence minimale $f' = 680 (V_c/2h)$. 5
9. Procédé de coulée continue selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la lingotière est animée d'oscillations de type triangulaire et que le temps de cicatrisation t_N est maintenu à une valeur optimale constante sur toute la plage de réglage de la vitesse de coulée. 10
10. Procédé de coulée continue selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le débit de consommation du produit de lubrification est maintenu, sur toute la plage de réglage de la vitesse de coulée V_c à une vitesse sensiblement constante de l'ordre de 0,3 kg par m² de section de la lingotière. 15
11. Procédé de coulée continue selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la fréquence d'oscillation peut aller de 20 à 400 cycles par minute. 20
12. Procédé de coulée continue selon la revendication 11, caractérisé par le fait que la fréquence d'oscillation ne dépasse pas 200 cycles par minute. 25
13. Procédé de coulée continue selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le temps de cicatrisation est maintenu sur toute la plage de réglage de la vitesse à une valeur sensiblement constante de l'ordre de 0,1 sec. pour des nuances d'acier ayant un potentiel ferritique de l'ordre de 1. 30
14. Procédé de coulée continue selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la lingotière est associée à des capteurs de mesure des efforts émettant un signal utilisé pour une optimisation instantanée des paramètres dans une bande de contrôle fermée et auto-régulante. 35

40

45

50

55

8

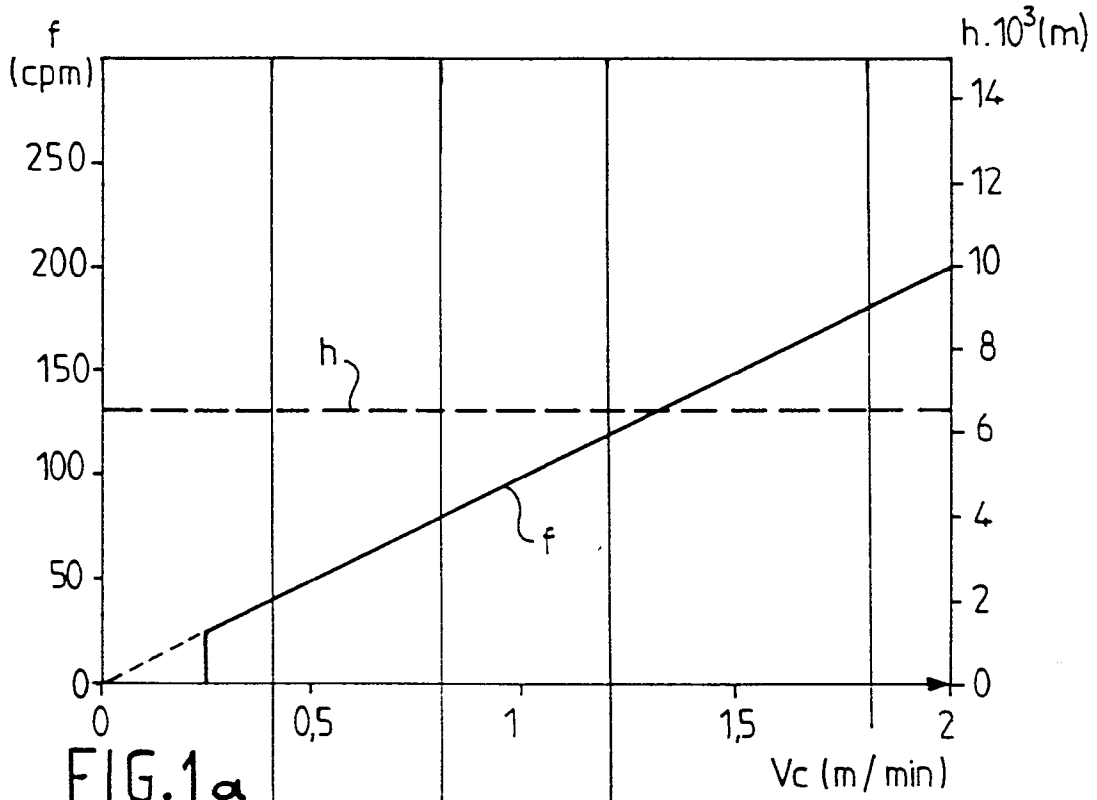


FIG.1a

$\eta'_1 = 6 P$
240x240 mm

$\eta_1 = 1,5 P$
150x150 mm

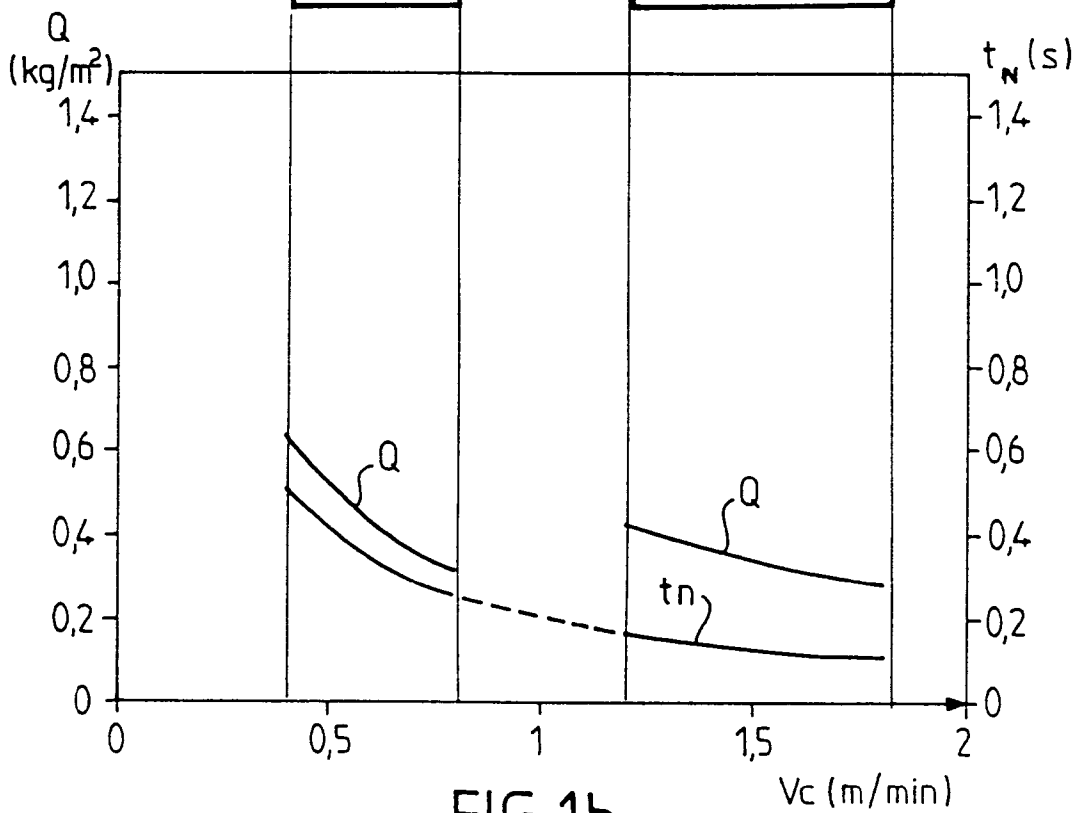


FIG.1b

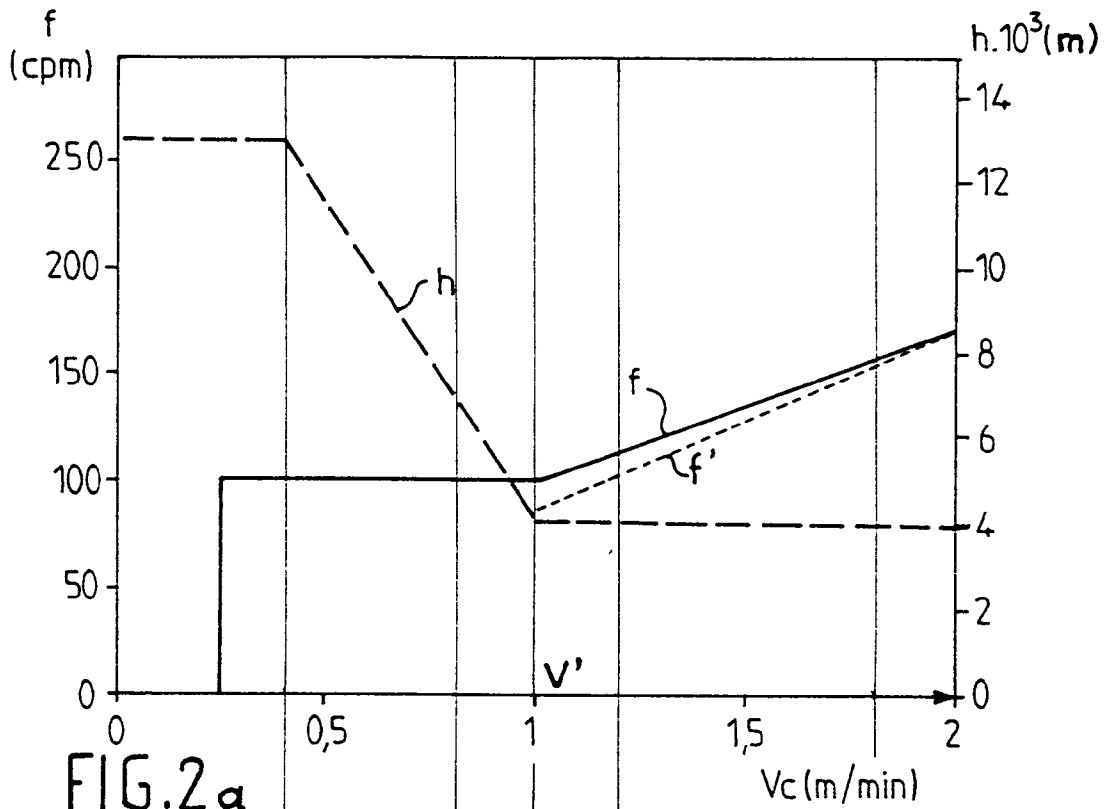


FIG. 2a

$\eta_2 = 3,5 P$
240 x 240 mm

$\eta_2 = 3,5 P$
150 x 150 mm

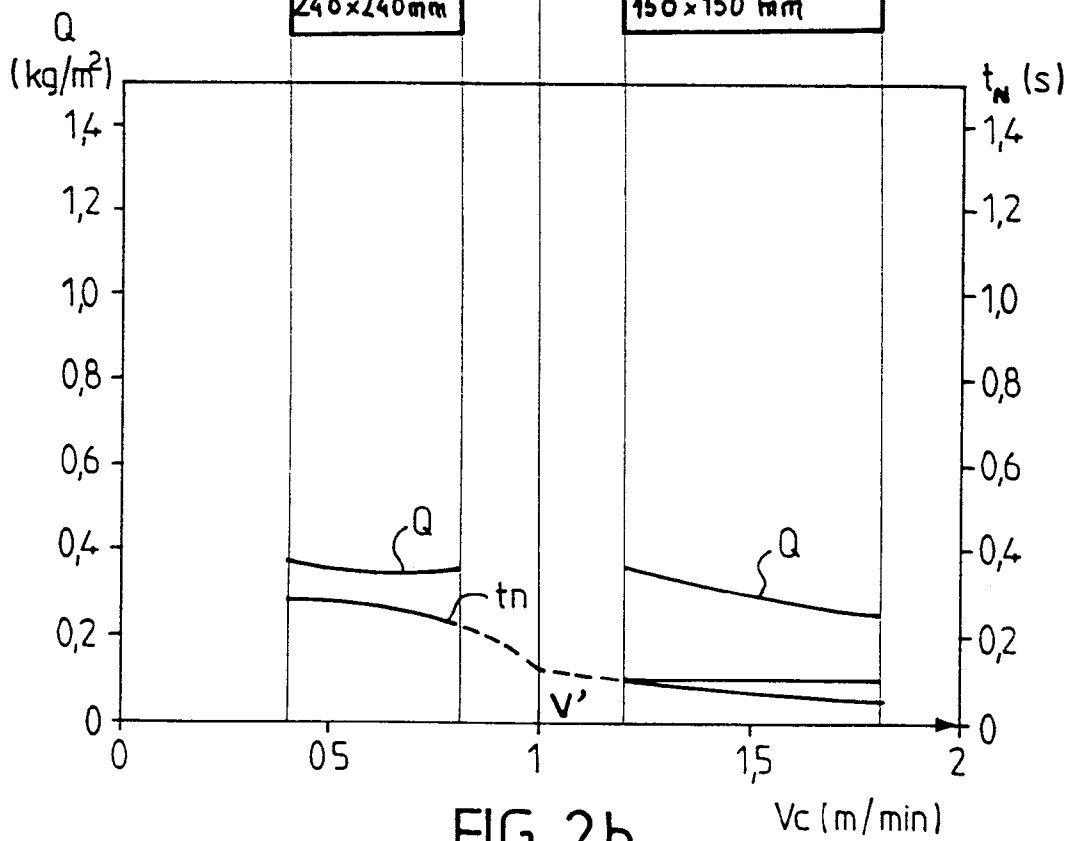


FIG. 2b



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 93 40 0675

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.5)
D,A	EP-A-0 325 931 (CLECIM) * page 3, ligne 20 - page 4, ligne 15; figures 1-5 *	1, 12, 13, 14	B22D11/04 B22D11/16
A	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 15, no. 325 (M-1148)19 Août 1991 & JP-A-31 24 353 (SUMITOMO METAL IND LTD) 27 Mai 1991 * abrégé *	1	
A	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 7, no. 141 (M-223)(1286) 21 Juin 1983 & JP-A-58 053 354 (NIPPON KOKAN KK) 29 Mars 1983 * abrégé *	1	
A	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 15, no. 244 (M-1127)24 Juin 1991 & JP-A-30 77 756 (KAWASAKI STEEL CORP) 3 Avril 1991 * abrégé *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
			B22D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lien de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 18 JUIN 1993	Examinateur MAILLIARD A.M.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			

EPO FORM 1503 01.92 (P0402)