

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 81 12051**

(54) Procédé d'obtention de lingots en alliages légers par coulée continue et lingots obtenus par ledit procédé.

(51) Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). B 22 D 11/10, 27/00 // C 22 C 21/00.

(22) Date de dépôt..... 18 juin 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 51 du 24-12-1982.

(71) Déposant : DOBATKIN V. I., ESKIN G. I., BOROVIKOVA S. I., MALINOVSKY R. R., SILAEV P. N., JUNYSHEV V. K., MATVEEV A. I., MAKAROV G. S. et DANILKIN V. A., résidant en URSS.

(72) Invention de : V. I. Dobatkin, G. I. Eskin, S. I. Borovikova, R. R. Malinovsky, P. N. Silaev, V. K. Junyshev, A. I. Matveev, G. S. Makarov et V. A. Danilkin.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Z. Weinstein,  
20, av. de Friedland, 75008 Paris.

La présente invention concerne la métallurgie et a notamment pour objet un procédé d'obtention de lingots en alliages légers par coulée continue, ainsi que les lingots obtenus par ce procédé.

5 L'invention peut être appliquée avec succès à la coulée d'alliages légers destinés notamment à la fabrication de demi-produits par déformation, tels que, par exemple : plaques, ébauches forgées, divers profilés, etc.

10 Dans la fabrication des alliages légers, dont l'une des particularités distinctives est la haute activité chimique à l'état liquide, une grande attention est accordée à l'élimination des inclusions non métalliques se trouvant dans l'alliage en fusion. Les prescriptions de pureté du métal en ce qui concerne l'hydrogène et, surtout, les  
15 inclusions non métalliques solides d'oxydes, deviennent de plus en plus sévères. Ainsi, dans une série de produits en alliages d'aluminium, tels que, par exemple, les feuilles d'aluminium pour la fabrication de condensateurs, la présence d'inclusions d'oxydes de plus de 10  $\mu$ m est inadmissible.

20 Or les lingots en alliages à haute résistance mécanique, de section moyenne ou, surtout, de grande section (par exemple d'un diamètre de 650 mm ou plus ou d'une section de 400 x 1200 mm ou plus), sont caractérisés par une structure flabellée à grains grossiers, une concentration accrue  
25 d'hydrogène et une certaine porosité, même en cas de coulée d'un métal traité sous vide.

Les particularités de la formation de la structure des lingots de grandes dimensions et l'apparition de porosités lors de cette formation se traduisent par un  
30 abaissement de la plasticité du lingot et une augmentation de sa tendance à la fissuration lors de la coulée, ce qui limite les dimensions des lingots pouvant être obtenus par coulée et en abaisse la plasticité lors de leur usinage ultérieur par déformation.

35. Toutes ces particularités technologiques de la coulée continue des alliages légers ont entraîné l'application industrielle sur une grande échelle du traitement aux

ultrasons de l'alliage en fusion, visant à obtenir un raffinage efficace du métal et un affinement de la structure de la pièce coulée.

5 On connaît un procédé de coulée continue de lingots en alliages légers (cf. certificat d'auteur d'invention URSS n° 353 790, cl. B 06 b, publié en 1972) par admission de l'alliage en fusion et action d'ultrasons sur l'alliage en fusion à l'aide d'au moins un émetteur pour son raffinage et l'affinement de la structure du lingot en cours de  
10 solidification, avec extraction simultanée du lingot.

Dans ce procédé, la coulée est réalisée à grande vitesse (par exemple 30 cm/mn), et le traitement de l'alliage en fusion aux ultrasons est de courte durée, ce qui permet d'obtenir des lingots de petites sections. Mais quand il  
15 s'agit de lingots de sections moyennes et fortes, l'application du procédé connu est limitée par le fait que la vitesse de coulée est réduite (jusqu'à 1-2 cm/mn) et que la durée du traitement est par conséquent plus grande, ce qui entraîne une surchauffe notable du bain de fusion  
20 et provoque la sortie de la partie liquide du lingot en cours de solidification au-delà des limites de la lingotière.

En outre, quand les lingots à obtenir par ce procédé de coulée sont de grandes dimensions, l'uniformité de l'affinement de la structure en souffre.

25 De plus, dans le procédé considéré, l'action des ultrasons est exercée pendant un court laps de temps sur un bain de métal peu surchauffé, ce qui n'assure pas un raffinage efficace du bain en ce qui concerne l'élimination des inclusions gazeuses et des impuretés non métalliques solides.

30 On s'est donc proposé d'élaborer un procédé de coulée continue de lingots en alliages légers, dans lequel l'action des ultrasons sur l'alliage en fusion en vue de son raffinage et de l'affinement de la structure du lingot en cours de solidification, serait exercée de façon à assurer un  
35 accroissement de la plasticité des alliages légers pendant la coulée et au cours de leur déformation ultérieure.

La solution consiste en ce que, dans le procédé de

coulée continue de lingots en alliages légers par admission de l'alliage en fusion et action d'ultrasons sur l'alliage en fusion à l'aide d'au moins un émetteur pour son raffinage et l'affinement de la structure du lingot en cours de solidification, avec extraction simultanée du lingot, d'après l'invention l'action des ultrasons sur l'alliage en fusion pour son raffinage et l'affinement de la structure du lingot en cours de solidification est exercée uniformément dans toute la section de l'alliage en fusion avec une intensité de 2 à 60 W/cm<sup>2</sup> selon la valeur de la section du lingot en cours de solidification, et l'émetteur est plongé dans l'alliage en fusion à une profondeur comprise entre 1/12 et 1/4 de la longueur d'onde  $\lambda$  du son dans la matière de l'alliage en fusion, la température de l'alliage en fusion étant maintenue à une valeur de 10 à 150°C plus élevée que la température de liquidus (ou température de début de solidification) de la matière de l'alliage en fusion du bain.

Il est avantageux que le raffinage de l'alliage en fusion s'effectue à travers un matériau poreux, la distance entre l'émetteur et le matériau poreux étant maintenue à une valeur comprise entre 1/12 et 1/4 de la longueur d'onde  $\lambda$  du son dans la matière de l'alliage en fusion.

L'invention permet de diminuer de 2,0 fois la teneur en inclusions non métalliques solides et d'abaisser de 2 à 3 fois la teneur en hydrogène de l'alliage du lingot, ce qui accroît la plasticité des lingots obtenus en alliages légers, tant pendant la coulée qu'au cours de leur déformation ultérieure.

L'invention assure également l'obtention de lingots en alliage légers ayant une structure de type particulièrement affiné, dans laquelle la grosseur des grains de l'alliage coulé est égale ou inférieure à la "maille" dendritique, ce qui confère une haute plasticité au lingot d'alliage léger pendant la coulée et au cours de sa déformation ultérieure.

L'invention sera mieux comprise et d'autres buts, détails et avantages de celle-ci apparaîtront mieux à la

lumière de la description explicative qui va suivre de différents modes de réalisation donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs, avec références au dessin unique annexé dans lequel :

- 5        - la figure 1 représente un dispositif bien connu pour la coulée continue de lingots en alliage léger, mettant en oeuvre le procédé proposé (vue en élévation et en coupe);
- la figure 2 représente un dispositif pour la coulée continue de lingots en alliage léger mettant en oeuvre le
- 10        procédé proposé, avec raffinage à travers un matériau poreux (vue en élévation et en coupe) d'après l'invention ;
- la figure 3 représente la structure d'un lingot en alliage du système Al-Cu-Mg de 650 mm de diamètre à l'état recuit, à grains subdendritiques, obtenu par le procédé
- 15        proposé (grossissement x100).

         Le procédé de coulée continue de lingots en alliages légers consiste à admettre l'alliage en fusion et à faire agir sur lui des ultrasons au moyen d'au moins un émetteur pour son raffinage et l'affinement de la structure du

20        lingot en cours de solidification, uniformément dans toute la section du bain de fusion, avec une intensité de 2 à 60 W/cm<sup>2</sup> selon la valeur de la section du lingot en cours de solidification. L'émetteur est plongé dans le bain à une profondeur comprise entre 1/12 et 1/4 de la longueur d'onde

25        du son  $\lambda$  dans la matière du bain, et la température du bain est maintenue de 10 à 150°C plus élevée que la température de liquidus de la matière du bain. Au fur et à mesure que le lingot se solidifie, il est tiré hors de la lingotière.

         D'après l'invention, le raffinage s'effectue à travers

30        un matériau poreux, la distance entre l'émetteur et le matériau poreux étant maintenue à une valeur comprise entre 1/12 et 1/4 de la longueur d'onde  $\lambda$  du son dans la matière du bain.

         Le procédé de coulée continue de lingots en alliages

35        légers faisant l'objet de l'invention peut être mise en oeuvre à l'aide d'un dispositif connu quelconque, avec utilisation d'ultrasons agissant sur l'alliage en fusion

pour son raffinage et l'affinement de la structure du lingot en cours de solidification.

L'une des variantes connues du dispositif pour la coulée continue de lingots en alliages légers comprend une lingotière 1 (figure 1), qu'un chenal de distribution 2 alimente en alliage en fusion 3. Dans le bain de fusion 4 formant par la suite le lingot 5 est plongé un émetteur 6 d'ultrasons, la profondeur d'immersion de ce dernier étant égale par exemple à environ  $1/8$  de la longueur d'onde  $\lambda$  du son dans la matière du bain 4. La partie solidifiée 7 du lingot 5 est tirée hors de la lingotière 1.

D'après l'invention, on place dans ce dispositif connu, sur le chemin de l'alliage en fusion 3, un matériau poreux 8 (figure 2). La distance entre l'émetteur 6 et le matériau 8 est, dans le cas considéré, égale à environ  $1/8$  de la longueur d'onde  $\lambda$  du son dans la matière du bain 4.

La figure 3 représente la structure 9 de la partie solidifiée 7 (figures 1, 2) d'un lingot 5 de 650 mm de diamètre en alliage du système Al-Cu-Mg. La structure 9 (figure 3) est constituée de grains subdendritiques 10 affinés jusqu'à 0,1 mm, de grosseur inférieure ou égale à la maille dendritique (non représentées sur la figure).

Dans le dispositif connu pour la coulée de lingots en alliages légers, le procédé est mis en oeuvre de la façon suivante.

L'alliage 3 en fusion (figure 1) est admis dans la lingotière 1 en passant par le chenal 2. L'alliage 3 en fusion arrivant dans la lingotière 1 y est traité à l'aide d'un émetteur d'ultrasons 6 pour son raffinage et pour l'affinement de la structure 9 (figure 3) du lingot 5 (figure 1) en cours de solidification. L'action des ultrasons est exercée uniformément dans toute la section du bain 4, de préférence avec une intensité de 2 à 60 W/cm<sup>2</sup> et à une température de 10 à 150°C plus élevée que la température de liquidus de la matière du bain 4, selon l'aire de section transversale du lingot 5 en cours de solidification.

D'après l'invention, pour débarrasser l'alliage en fusion 3 des impuretés non métalliques, on le fait passer à travers un matériau poreux 8 (figure 2), soumis à l'action des ultrasons produits par l'émetteur 6.

5 Pour mieux fixer les idées, on décrit ci-après des exemples non limitatifs de réalisation de l'invention.

Exemple 1.

Dans une lingotière 1 (figure 1) de 650 mm de diamètre, on a coulé par le procédé conforme à l'invention un lingot  
10 5 en alliage léger du système Al-Cu-Mg, de composition suivante :

Cu = 3,84 %, Mg = 1,45 %, Mn = 0,41 %, Fe = 0,11 %, Si = 0,04 %, Ti = 0,04 %, Zr = 0,15 %.

On a étudié la structure des lingots 5 obtenus aux  
15 trois régimes indiqués dans le tableau 1 ci dessous.

Tableau 1

Régime	Température de coulée, °C	Vitesse de cou- lée, cm/mn	Intensité des ultra- sons, W/cm <sup>2</sup>	Profondeur d'immer- sion de l'émetteur, mm
20 I	760	1,5	2,0	20,0 ( $\lambda/12$ )
25 II	745	2,5	3,0	30,0 ( $\lambda/8$ )
III	725	4,0	5,0	40,0 ( $\lambda/6$ )

Note. La température de début de solidification (de liquidus) est de 638°C.

30 Ces études on montré que, comparativement à la méthode industrielle en usage, l'invention assure l'obtention de lingots 5 d'une plasticité accrue de 1,5 à 2,0 fois par rapport à la température normale, tant à l'état recuit qu'à l'état homogénéisé, ce qui résulte de l'affinement uniforme des  
35 grains de l'alliage coulé 10 (figure 3), de la teneur abaissée en hydrogène et de la formation d'un genre particulier de structure subdendritique 9 à grosseur de grain

10 inférieure ou égale à la maille dendritique.

Les résultats de l'étude de la plasticité de l'alliage du système Al-Cu-Mg constituant les lingots 5 (figure 1) de 650 mm de diamètre, obtenus par le procédé proposé aux 5 trois régimes d'action ultrasonore sont donnés dans le tableau 2.

Tableau 2

10	Régi- me d'ac- tion ul- tra- sonore	Gros- seur de grain, <u><math>\mu\text{m}</math></u> cen- tre du rayon lin- got	milieu du rayon du lin- got	péri- phé- rie du lin- got	Hydro- gène, $\text{cm}^3/100 \text{ g}$	Plasticité, <u>%</u> à l'é- tat re cuit	à l'é- tat ho- mogé- néisé	
15								
20	Procé- dé sui- vant l'in- vention	I II III	100 100 100	90 110 95	80 75 80	0,10 0,08 0,12	6,0 6,0 6,0	9,0 9,0 9,0

Les modifications indiquées de la structure 9 (figure 3) et des propriétés du matériau du lingot abaissent fortement la tendance à la fissuration pendant la coulée de lingots 5 de diamètre supérieur à 650 mm.

#### Exemple 2.

On a fait agir les ultrasons pour raffiner un alliage léger 3 en fusion du système Al-Cu-Mg (figure 2) pendant la coulée de lingots 5 de 204 mm de diamètre. L'action des ultrasons sur l'alliage 3 en fusion a été réalisée à une fréquence de 18 kHz, à une température de 740°C, c'est-à-dire de 100°C supérieure à la température du liquidus, 30 uniformément suivant toute la section de l'alliage en fusion 3, avec une intensité de 40 W/cm<sup>2</sup>. Le matériau poreux 8 était constitué par des couches de tissu de verre à 35



mailles de 0,6 x 0,6 mm. La distance entre le matériau poreux 8 et l'émetteur 6 était maintenue à une valeur comprise entre 20 et 40 mm, c'est-à-dire entre 1/12 et 1/6 de la longueur d'onde  $\lambda$  du son dans l'aluminium en fusion 3 (la longueur d'onde du son à la fréquence 18 kHz dans l'aluminium en fusion est indiquée dans les ouvrages de référence comme étant de 240 mm).

Les résultats de l'étude de la pureté de l'alliage constituant le lingot 5 élaboré par le procédé conforme à l'invention sont indiqués dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3

15	Nombre de couches dans le matériau poreux	Concentration des impuretés non métalliques	
		hydrogène, $\text{cm}^3/100 \text{ g}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , % en poids
20	Procédé 5 conforme	0,12	0,0066
	à l'invention 9	0,10	0,0040

Note. L'oxyde d'aluminium  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a été dosé dans l'alliage constituant le lingot 5 par le procédé au bromure de méthyle ; l'hydrogène a été dosé par la méthode d'extraction sous vide.

L'action des ultrasons par l'intermédiaire d'un matériau poreux 8 sous forme d'un tamis à couches multiples permet d'abaisser de 2 à 3 fois la teneur en hydrogène et en oxydes, comparativement à la méthode connue.

Le procédé faisant l'objet de l'invention permet de couler des lingots de haute qualité, de grandes dimensions, en alliages légers à haute résistance de divers systèmes sujets à la fissuration pendant la coulée, grâce à un raffinage et à un affinement de structure efficaces.

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

1. Procédé d'obtention de lingots par coulée continue d'alliages légers, du type dans lequel l'alliage en fusion admis dans une lingotière est soumise à l'action d'ultrasons à l'aide d'au moins un émetteur en vue de son raffinage et de l'affinement de la structure du lingot en cours de solidification, avec extraction simultanée du lingot formé, caractérisé en ce que l'action des ultrasons sur l'alliage en fusion (3) en vue de son raffinage et de l'affinement de la structure du lingot (5) en cours de solidification est exercée uniformément suivant toute la section de l'alliage en fusion, avec une intensité de 2 à 60 W/cm<sup>2</sup> selon la valeur de la section du lingot en cours de solidification, l'émetteur d'ultrasons (6) étant plongé dans l'alliage en fusion jusqu'à une profondeur comprise entre 1/12 et 1/4 de la longueur d'onde  $\lambda$  du son dans la matière de l'alliage en fusion, et la température de l'alliage en fusion étant maintenue à une valeur de 10 à 150°C plus élevée que la température de liquidus de la matière de l'alliage en fusion.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le raffinage de l'alliage en fusion est exécuté par l'intermédiaire d'un matériau poreux, la distance entre ledit émetteur et ledit matériau poreux étant maintenue à une valeur comprise entre 1/12 et 1/4 de la longueur d'onde  $\lambda$  du son dans la matière de l'alliage en fusion.
3. Lingots en alliages légers, caractérisés en ce qu'ils sont obtenus par le procédé faisant l'objet de l'une des revendications 1 et 2.

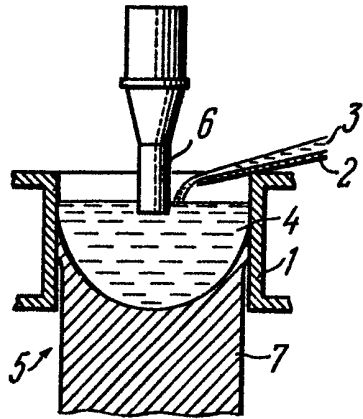


FIG. 1

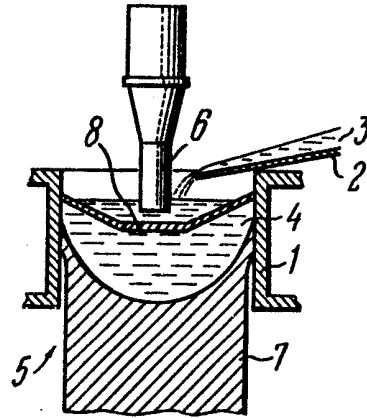


FIG. 2



FIG. 3