

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 856 368 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
05.08.1998 Bulletin 1998/32

(51) Int Cl.⁶: **B22D 11/06**

(21) Numéro de dépôt: **98400020.8**

(22) Date de dépôt: **08.01.1998**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE**
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorité: **29.01.1997 FR 9700918**

(71) Demandeur: **Forcast International
92000 Nanterre (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Odin, Georges
42240 - Unieux (FR)**

• **Vidalenc, Gérard
42230 - Saint Victor Sur Loire (FR)**
• **Laugier, Maxime
57950 Montigny-lès-Metz (FR)**

(74) Mandataire: **Ventavoli, Roger
USINOR,
Direction Propriété Industrielle,
Immeuble "La Pacific",
La Défense,
11/13 Cours Valmy,
TSA 10001
92070 La Défense (FR)**

(54) **Frette de coulée continue de métal ou alliage métallique, notamment d'aluminium**

(57) Frette de cylindre de coulée continue de métal ou d'alliage métallique, notamment d'aluminium, caractérisée en ce qu'elle est réalisée en un acier dont la composition, en pourcentage pondéral, est la suivante :

- Carbone : 0,25 à 0,35 %
- Manganèse : 0,30 à 0,60 %
- Silicium : 0,15 à 0,45 %
- Nickel : inférieur à 0,40 %
- Chrome : 2,90 à 3,5 %
- Molybdène : 2,5 à 3,1 %
- Vanadium : 0,3 à 0,70 %
- Soufre : $\leq 0,020$ %
- Phosphore $\leq 0,020$ %
- Cuivre ≤ 1 %,
- le reste étant essentiellement du fer et des impuretés résiduelles.

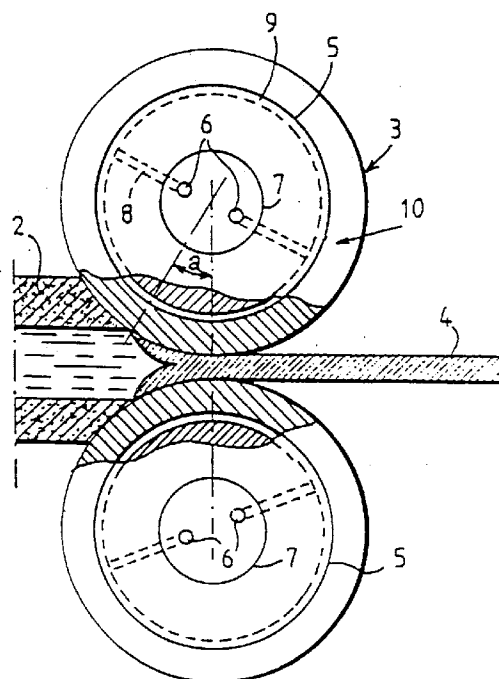


FIG.2

EP 0 856 368 A1

Description

L'invention est relative à un acier pour frettes de cylindres de coulée continue d'aluminium présentant, par rapport aux aciers actuellement connus, une durée de vie améliorée sans aucune détérioration de la productivité de l'installation.

Les machines de coulée continue d'aluminium, ou d'alliages d'aluminium, sont constituées de 2 cylindres en rotation entre lesquels est introduit le métal liquide. Dans certaines installations récentes, ces 2 cylindres sont appuyés sur 2 cylindres de soutien plus gros. Les cylindres en contact avec le métal liquide sont conçus pour solidifier celui-ci et former une tôle qui subit ou peut subir de plus un laminage à chaud permettant de la recueillir sous forme de bobine. A cet effet, les cylindres sont formés d'une partie centrale (âme) portant des circuits de refroidissement et d'une frette montée sur l'âme par frettage ou tout autre moyen.

La surface intérieure de la frette est refroidie par de l'eau circulant dans les canaux de refroidissement portés par l'âme. Le rôle premier de la frette est ainsi d'extraire les calories de l'aluminium liquide pour en permettre la solidification avant sortie de l'emprise entre les cylindres.

La frette, refroidie intérieurement, constitue ainsi avec l'aluminium liquide un échangeur thermique. La productivité de l'installation dépend directement de la puissance de cet échangeur.

La frette est, par ailleurs, soumise à des sollicitations thermomécaniques intenses dues au cyclage thermique et aux contraintes d'origine mécanique : contraintes de montage, notamment de frettage résultant de la conception des cylindres - contraintes de flexion et torsion dues au travail en service. Ces sollicitations entraînent une fatigue plastique de la surface, l'amorçage et la propagation d'un réseau de microfissures, qui imposent une remise en état périodique de la frette, par usinage. La durée de vie d'une frette dépend donc essentiellement de sa capacité à résister aux sollicitations thermiques.

Un acier pour frette de coulée continue doit donc posséder à la fois :

- une bonne capacité d'échange thermique avec l'aluminium liquide pour assurer une grande productivité de l'installation,

et

- une bonne résistance à la fatigue thermique pour obtenir une grande durée de vie des frettes.

Jusqu'à présent :

- la capacité d'échange thermique a été reliée essentiellement à la conductibilité thermique à température ambiante de la nuance,
- la résistance à la fatigue thermique a été reliée aux caractéristiques mécaniques et physiques à température ambiante ou à chaud (Limite d'élasticité, Modèle d'Young, coefficient de dilatation...) ou, de manière plus précise, a été mesurée dans des essais de simulation.

De manière générale, l'addition d'éléments d'alliage Cr, Mo, V, améliore la tenue à la fatigue thermique mais détériore la conductibilité thermique à l'ambiante.

La recherche de nuances convenant à la fabrication de frettes a donc été, jusqu'à présent, circonscrite à celle d'un compromis conductibilité - fatigue thermique en ajustant au mieux les proportions entre les différents éléments d'alliage et en se limitant à des nuances relativement peu alliées.

C'est ainsi que l'on connaît des nuances du brevet US. 4 409 027 contenant dans leur composition :

0,5 à 0,6 % de carbone
 0,4 à 1 % de manganèse
 0,1 à 0,3 % de silicium
 0,4 à 0,9 % de nickel
 1,5 à 3 % de chrome
 0,8 à 1,2 % de molybdène
 0,3 à 0,5 % de vanadium,

et celles du brevet FR 2 567 910 contenant :

0,30 à 0,65 % de carbone
 Maxi 0,80 % de manganèse

Maxi 0,80 % de silicium
2 à 4,5 % de chrome
0,4 à 0,8 % de molybdène
0,1 à 0,3 % de vanadium

5

Le brevet US 4 861 549 préconise des additions de terres rares dans des compositions de base comme par exemple :

10

0,45 à 0,49 % de carbone
0,90 à 1,00 % de manganèse
0,15 à 0,35 % de silicium
1,2 à 1,5 % de nickel
1,2 à 1,45 % de chrome
0,8 à 1,0 % de molybdène
0,15 à 0,20 % de vanadium
0,08 % maxi de terres rares

15

Le meilleur compromis semble être présenté par la nuance de la frette de la demande de brevet FR 85 03 867 dont la composition est la suivante :

20

0,30 à 0,36 % de carbone
0,30 à 0,60 % de manganèse
0,15 à 0,45 % de silicium
Maxi 0,40 % de nickel
2,80 à 3,40 % de chrome
0,85 à 1,25 % de molybdène
0,10 à 0,30 de vanadium

25

On remarquera qu'aucune de ces compositions de l'état de l'art actuel n'associe au chrome un autre élément d'alliage à teneur supérieure à 1,5 %, de crainte d'une baisse de la conductibilité thermique.

30

La présente invention a pour but de proposer une nouvelle frette de coulée continue d'aluminium qui assure une productivité élevée de l'installation semblable à celles des frettes actuellement utilisées, avec une durée de fonctionnement supérieure à celles des meilleurs produits actuels, grâce à l'utilisation d'un acier associant Cr et Mo à des teneurs élevées.

35

L'invention a pour objet une frette de cylindre de coulée continue de métal ou d'alliage métallique, notamment d'aluminium, caractérisée en ce qu'elle est réalisée en un acier dont la composition, en pourcentage pondéral, est la suivante :

40

C 0,25 à 0,35 % - Mn 0,30 à 0,60 % - Si 0,15 à 0,45 % - Ni inférieur à 0,40 % - Cr 2,90 à 3,5 % - Mo 2,5 à 3,1 % - V 0,3 à 0,70 % - S ≤ 0,020 % - P ≤ 0,020 % - Cu ≤ 1 %, le reste étant essentiellement du fer et des impuretés résiduelles.

Selon un mode de réalisation préféré, la composition de l'acier est la suivante :

C 0,28 à 0,32 % - Mn 0,30 à 0,50 % Si 0,15 à 0,35 % - Ni inférieur à 0,25 % - Cr 3,0 à 3,2 % - Mo 2,7 à 2,9 % - V 0,45 à 0,55 % - S ≤ 0,015 % - P ≤ 0,020 % - Cu 0,1 à 0,5 %, le reste étant essentiellement du fer et des impuretés résiduelles.

45

La description qui suit et les figures annexées, le tout donné à titre d'exemple non limitatif, fera bien comprendre l'invention.

La figure 1 est une vue schématique d'une installation de coulée continue horizontale.

La figure 2 est une vue schématique en élévation latérale et en coupe partielle d'une partie de l'installation de la fig. 1.

50

La figure 3 montre les températures mesurées en différents points de la section d'une frette en cours de fonctionnement.

- La figure 4 est un diagramme illustrant le cycle des contraintes en fonction de l'allongement subi par le métal de la frette.

55

Le principe de la coulée continue d'alliage léger représenté sur les figures 1 et 2 est relatif à la coulée dite horizontale à 2 cylindres. L'aluminium, un alliage d'aluminium, le cuivre, un alliage de cuivre, fondu dans un four qui n'est pas représenté, est maintenu à niveau constant dans un canal d'amenée 1 et introduit, au moyen d'une base 2, entre deux cylindres 3, à une température avoisinant la température de fusion, et de l'ordre de 680° C pour l'aluminium. Les cylindres 3 sont entraînés en rotation en sens opposés avec un écartement qui détermine l'épaisseur de la feuille

solidifiée 4. Celle-ci peut varier entre 12 mm et 2 mm dans les installations les plus récentes. L'emprise de laminage constitue une lingotière continue dans laquelle, au contact des cylindres refroidis, l'aluminium se solidifie tandis qu'il est entraîné par la rotation des cylindres.

Chaque cylindre possède un circuit de refroidissement parcouru par un fluide, en général de l'eau. Chaque cylindre est réalisé en 2 parties à savoir :

Une âme 5 qui est un cylindre en acier dans lequel sont ménagés des canaux longitudinaux 6, d'amenée et de sortie d'eau par les tourillons 7. Ces canaux alimentent, par des canaux radiaux 8, des cannelures périphériques 9 venant mettre en contact direct la frette 10 avec le fluide de refroidissement. Cette frette constitue la partie consommable du cylindre. Son rôle premier est d'extraire les calories de l'alliage en solidification. On conçoit que la productivité de la machine de coulée soit directement liée à la capacité de transfert des calories à travers la frette.

Par ailleurs, la frette subit des sollicitations thermomécaniques intenses. Le régime des contraintes en chaque point des frettes est défini par le cumul des contraintes d'origine mécanique et des contraintes d'origine thermique dues au cyclage thermique.

Les contraintes mécaniques ont pour origine :

- le frettage (contraintes statiques)
- le couple d'entraînement qui induit des contraintes de torsion - cisaillement
- la pression de laminage qui entraîne la flexion des cylindres et une répartition de contraintes de compression cisaillement dans l'emprise des cylindres.

Chaque rotation du cylindre met sa peau en contact avec le métal liquide, dans l'arc de contact "a" (fig. 2). Il en résulte un gradient thermique dans l'épaisseur de la frette. Puis au sortir du contact, la rotation permet à la zone sollicitée de se refroidir.

L'évolution thermique a été étudiée par des moyens de mesures en température, dans l'épaisseur de la frette. La figure 3 montre, à titre d'exemple, l'un de ces relevés sur la durée d'une rotation de cylindre. Les résultats de cette étude ont inspiré la définition du cycle thermique imposé à l'acier de la frette dans l'essai de résistance à la fatigue thermique qui est décrit ci-après et utilisé dans la présente description.

Chaque cycle induit en peau de la frette une contrainte maximale de compression dont le niveau dépasse la limite élastique de l'acier. Il en résulte une déformation plastique en compression de la peau.

Le cycle de contraintes est illustré à la figure 4. Le premier échauffement est représenté par la ligne OA, puis la courbe AB, qui correspond à la déformation plastique sur le diagramme contraintes déformation de la figure 4.

Au refroidissement, la déformation va tendre à s'annuler mais le métal ne pourra pas reprendre élastiquement sa place, puisqu'il a subi, au chauffage, une déformation plastique en compression. Le retour à la température basse va provoquer, en D, le dépassement de la limite élastique en traction et entraîner une déformation plastique, en traction cette fois, jusqu'au point E. Chaque nouveau cycle thermique entraînera, suivant le parcours EFBD,

- une déformation plastique "FB" au chauffage
- une déformation plastique "DE" au refroidissement.

Ce cycle de déformations d'origine thermique engendre, inévitablement, une fatigue mécanique de la surface qui se traduit par l'amorçage, puis la propagation de microfissures : c'est le phénomène dit de fatigue thermique.

Jusqu'à présent, l'étude des aciers convenant à la fabrication de frettes pour coulée continue d'aluminium a été menée comme la recherche d'un meilleur compromis possible entre :

- conductibilité thermique
- pour obtenir une bonne capacité du transfert thermique de la frette et
- résistance à la fatigue thermique

celle-ci dépend des caractéristiques mécaniques en particulier de la limite d'élasticité à chaud, du module d'Young, du coefficient de dilatation.

On connaît l'influence du chrome, du molybdène qui repousse les températures d'adoucissement, du vanadium qui élève les caractéristiques à chaud, l'influence du carbone qui, en précipitant les carbures formés avec les éléments précédents, va durcir l'acier. On sait utiliser les éléments tels que Nickel, Manganèse, Silicium pour assurer à l'acier une structure homogène et stable de bonne ténacité. On connaît également l'influence défavorable de certains résiduels S, P, etc..

Mais on sait également que tous ces éléments d'alliage ont une influence défavorable sur la conductibilité ther-

mique à l'ambiante.

La recherche d'une composition d'acier optimisée pour des frettes de coulée continue a donc, jusqu'alors, consisté essentiellement à utiliser au mieux les éléments d'alliage en vue d'obtenir la meilleure résistance avec une conductibilité thermique peu modifiée par rapport aux aciers peu alliés utilisés initialement pour cette application.

La Demanderesse a montré que cette approche était trop schématique compte tenu du grand nombre de paramètres en jeu et surtout de leur interdépendance. En ce qui concerne la productivité de l'installation, celle-ci dépend, par exemple, non seulement de la conductibilité thermique de la frette mais également de la diffusivité, de la chaleur spécifique, de la masse volumique, des coefficients de transfert aux interfaces, de l'arc de contact, de la géométrie de la frette, des propriétés tribologiques, de la cinétique de solidification dans l'arc de contact. Et, bien entendu, les caractéristiques mécaniques et physiques du matériau frette varient, en fonction du gradient thermique, dans l'épaisseur de la frette entre les couches externes en contact avec l'aluminium liquide et les couches internes en contact avec l'eau.

La présente invention résulte de travaux qui ont montré que la capacité de transfert thermique de la frette dépendait, non seulement de la conductibilité thermique à l'ambiante du matériau, mais de nombreux autres paramètres tels que la diffusivité D , la chaleur spécifique C_p , la masse volumique p . De plus, ce sont essentiellement les valeurs atteintes par ces paramètres dans les couches superficielles de la frette, en contact avec l'aluminium liquide et portées à des températures de l'ordre de 600°C , qui ont une influence prépondérante sur la capacité d'échangeur thermique de la frette.

Par un effet surprenant, des aciers associant de fortes additions de Mo (3 % environ) à celle du Cr et du V, présentent ainsi une évolution favorable des caractéristiques de conductibilité, diffusivité, chaleur spécifique, masse volumique aux températures atteintes dans les couches externes de la frette. Cela leur permet des capacités de transfert thermique, donc, de productivité de l'installation identiques à celle des aciers existants malgré une conductibilité thermique à l'ambiante plus faible. Par ailleurs, ces aciers à 3 % Mo + 3 % Cr et V présentent une résistance à la fatigue thermique, donc une durée de vie de frette, très fortement améliorée par rapport à celle des aciers actuellement utilisés, dans des proportions surprenantes nettement supérieures à ce qui pouvait laisser espérer l'augmentation des éléments d'alliage.

L'élément cuivre influe sur l'oxydabilité de l'acier de la frette ; le chrome, le molybdène, le vanadium, carburigènes, qui précipitent en association avec le carbone, influent sur la dureté à chaud et à froid. Le molybdène repousse la température d'adoucissement de l'acier et le vanadium élève les caractéristiques à chaud.

Seul un modèle de simulation thermomécanique par éléments finis permet de prendre en compte, de manière correcte, la globalité des phénomènes et des paramètres qui interviennent dans une frette de coulée continue en cours de fonctionnement. Ce travail a été réalisé par la demanderesse. Les conditions d'exploitation sont introduites à travers les conditions aux limites. La rotation de la frette est simulée en modifiant les conditions aux limites des différentes mailles, en fonction de 2 paramètres angulaires :

- pour le mouvement de l'arc de contact
- pour la variation de coefficient du transfert aluminium frette à l'intérieur de l'arc de contact.

On peut considérer que le régime thermique cyclique est la superposition d'un régime transitoire et d'un régime thermique permanent, les échanges avec l'air ambiant étant négligés.

Le modèle permet de calculer la "carte" de température de la frette avec une excellente approximation par rapport à la mesure expérimentale.

De même, la concordance entre valeurs calculées et valeurs expérimentales est très bonne en ce qui concerne la puissance calorifique de l'échangeur, la vitesse d'échauffement des couches externes dans l'arc de contact, le gradient thermique dans la frette. La puissance calorifique de l'échangeur est représentative de la productivité de l'installation. La vitesse d'échauffement et le gradient thermique sont des paramètres importants pour la fatigue thermique.

Des essais ont été effectués pour différents aciers de frette en parallèle avec des essais de résistance à la fatigue thermique sur un dispositif spécifique décrit ci-après. Ce dispositif comporte une éprouvette cylindrique finement rectifiée qui est, par intermittence, chauffée en surface par induction à haute fréquence et qui est, en permanence, refroidie intérieurement par une circulation d'eau.

La définition de l'éprouvette, de la puissance du générateur, du couplage self éprouvette, du refroidissement a permis de définir un cycle thermique très représentatif du cycle thermique réel subi par les couches externes de la frette, tel qu'il est connu à travers les mesures de températures enregistrées sur frettes réelles en fonctionnement, et à travers le modèle thermomécanique décrit ci-dessus. Le critère retenu est le dénombrement et la profondeur des fissures observées, après un nombre de cycles donné, sur une coupe d'éprouvette pour 10 mm linéaires en surface. Des essais préalables ont montré l'excellente corrélation entre les résultats de ce test et ceux de frettes réelles en service.

Parmi les différentes nuances étudiées, une nuance assez fortement alliée en Cr, Mo et V a montré, par un effet surprenant :

EP 0 856 368 A1

- une évolution très favorable par rapport aux aciers actuellement utilisés, des caractéristiques thermiques en fonction de la température permettant d'obtenir une puissance calorifique d'échange identique à celle des nuances actuelles, malgré une conductivité calorifique à l'ambiante faible ;
- une amélioration très importante de la résistance à la fatigue thermique ; en effet, dans les conditions d'essai où des profondeurs de fissures de 100 μm à 400 μm sont obtenues sur les meilleurs aciers actuels, aucune fissure supérieure à 20 μm n'est observée sur cette nouvelle nuance.

Les résultats détaillés sont indiqués ci-après.

Les frettes pour coulée continue selon la présente invention sont réalisées à partir d'une nuance d'acier élaborée au four électrique, coulée en poche sous vide où elle est affinée et dégazée, puis enfin coulée en lingotière. Les lingots obtenus sont chauffés à 1200° C environ, percés à chaud pour obtenir des ébauches qui sont elles-mêmes forgées en tubes de 400 mm à 1300 mm de diamètre en fonction des dimensions finales de la frette à obtenir. Ces ébauches sont ensuite recuites, usinées, puis trempées (austénisation 1030° C) et revenues pour obtenir la qualité métallurgique requise.

Le tableau I ci-après indique les compositions pondérales des divers aciers soumis à l'essai, à des fins de comparaison.

Tableau I.

COMPOSITION EN POURCENTAGE DES POIDS										
NUANCE	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	V	Autres
- 1 - Technique antérieure	0,32	0,50	0,35	0,003	0,018	0,15	3,15	0,95	0,20	
- 2 - Technique antérieure	0,34	0,35	0,30	0,002	0,010	0,20	3,0	1,05	0,18	
- 3 - Invention	0,29	0,3	0,20	0,005	0,010	0,20	3,1	2,9	0,55	Cu 0,34
- 4 - Invention	0,31	0,35	0,25	0,003	0,015	0,25	3,0	2,8	0,45	Cu 0,37

Le tableau II donne les résultats des essais mécaniques de traction réalisés à température ambiante 430° C - 530° C - 630° C.

Tableau II

CARACTERISTIQUES MECANQUES - ESSAI DE TRACTION												
	A 20° C			A 430° C			A 530° C			A 630° C		
	Rm Mpa	R0,0 02 Mpa	A %	Rm Mpa	R0,0 02 Mpa	A %	Rm Mpa	R0,0 02 Mpa	A %	Rm Mpa	R0,0 02 Mpa	A %
- 1 - Technique antérieure	1310	1140	17	1012	863	14	881	797	17	550	430	18
- 2 - Technique antérieure	1315	1130	16	1015	860	13	890	790	17	560	435	16,5
- 3 - Invention	1386	1247	6,5	1095	1003	7,5	1018	884	9	762	690	9
- 4 - Invention	1370	1230	7,5	1085	992	9	1007	880	10	750	674	10

Le tableau III indique les caractéristiques physiques obtenues à différentes températures.

Tableau III.

CARACTERISTIQUES "THERMIQUES"								
	Technique Antérieure (Moyenne 1 - 2)				Invention Moyenne 3 - 4			
	Masse volumique (10 ³ ρ, kg. m ⁻³)	Chaleur spécifique Cp (10 ³ .J.k g -10°C ⁻¹)	Diffusivité D (10 ⁻⁶ .m ² . s ⁻¹)	Conductivité K (W.m ⁻¹ . °C ⁻¹)	Masse volumique ρ (10 ³ .kg. m ⁻³)	Chaleur spécifique Cp (10 ³ .J.k g -10. °C ⁻¹)	Diffusivité D (10 ⁻⁶ .m ² . s ⁻¹)	Conductivité K (W.m ⁻¹ . °C ⁻¹)
20	7,85	0,490	9,32	35,84	7,85	0,480	8,32	31,35
50	7,84	0,500	9,15	35,87	7,84	0,490	8,49	32,62
100	7,83	0,507	8,98	35,65	7,83	0,501	8,34	32,72
150	7,82	0,525	8,73	35,84	7,82	0,515	8,19	32,98
200	7,81	0,541	8,44	35,66	7,80	0,530	7,90	32,66
250	7,79	0,558	8,10	35,21	7,79	0,546	7,68	32,67
300	7,78	0,575	7,85	35,12	7,77	0,564	7,39	32,39
350	7,76	0,596	7,42	34,32	7,76	0,582	7,19	32,47
400	7,75	0,612	7,07	33,63	7,74	0,600	7,06	32,79
450	7,73	0,635	6,63	32,54	7,73	0,620	6,53	31,30
500	7,71	0,665	6,17	31,63	7,71	0,649	6,48	32,42
550	7,70	0,702	5,57	30,11	7,70	0,684	6,06	31,92
600	7,68	0,750	5,16	29,72	7,68	0,725	5,26	30,29

On voit que l'acier selon l'invention présente une évolution surprenante de la conductibilité et de la diffusivité en fonction de la température : nettement inférieures aux valeurs mesurées pour l'acier de référence à l'ambiante, elles deviennent équivalentes voire supérieures à celles de l'acier de référence dès que la température atteint 400° C environ.

En introduisant ces valeurs dans le modèle thermique décrit plus haut, on voit que les frettes fabriquées avec l'acier selon l'invention présentent, malgré leur teneur en éléments d'alliage nettement plus élevées, une capacité d'échange thermique identique à celle de frettes en acier de référence.

A titre d'exemple, le tableau IV donne les résultats obtenus pour des frettes épaisseur 80 mm (neuves) et épaisseur 30 mm (cote de rebut habituelle).

Tableau IV.

Résultats de la simulation thermique				
	Technique antérieure		Acier selon l'invention	
	Frette neuve	Ø rebut	Frette neuve	Ø rebut
Puissance inchangée	323 kw	367 kw	315 kw	364 kw
Température surface maxi	416° C	389° C	425° C	397° C
Température surface mini	103° C	24° C	108° C	26° C
Gradient en surface °C/mm	68° C / mm	76° C / mm	68° C / mm	77° C / mm
Vitesse de chauffage °C/ s	104° C / s	121° C / s	106° C / s	124° C / s

On voit que les puissances échangées sont identiques pour la référence et l'acier selon l'invention à la cote de rebut. Elles diffèrent de moins de 3 % à l'épaisseur maxi. Les productivités machines sont donc extrêmement voisines. La température moyenne de la frette selon l'invention est légèrement supérieure à celle de la référence. Le tableau V donne les résultats des essais de fatigue thermique.

Tableau V.

Essais de fatigue thermique - Longueur des fissures après 3000 cycles			
Nuances	Longueur cumulée µ m	Longueur moyenne µ m	Longueur maxi µ m
- 1 - Technique antérieure	425	43	98
- 2 - Technique antérieure	1035	96	371
- 3 - Selon invention	< 50	< 15	≤ 20
- 4 - Selon invention	< 50	< 15	≤ 20

On voit que dans les conditions de l'essai, l'acier selon l'invention présente une amélioration considérable de la tenue à la fatigue thermique, tout à fait surprenante car très supérieure à ce que laissait espérer l'augmentation de la teneur en Mo et de la limite d'élasticité à chaud.

La sensibilité du test ne permet plus de mettre en évidence les dégradations.

Cette amélioration de la tenue à la fatigue thermique, donc de la durée de vie des frettes, avec une productivité de l'installation semblable à celle des meilleures nuances antérieures a été confirmée en conditions industrielles.

Revendications

1. Frette de cylindre de coulée continue de métal ou d'alliage métallique, notamment d'aluminium, caractérisée en ce qu'elle est réalisée en un acier dont la composition, en pourcentage pondéral, est la suivante :

- Carbone : 0,25 à 0,35 %
- Manganèse : 0,30 à 0,60 %
- Silicium : 0,15 à 0,45 %
- Nickel : inférieur à 0,40 %
- Chrome : 2,90 à 3,5 %
- Molybdène : 2,5 à 3,1 %
- Vanadium : 0,3 à 0,70 %

EP 0 856 368 A1

- Soufre : $\leq 0,020$ %
- Phosphore $\leq 0,020$ %
- Cuivre ≤ 1 %,
- le reste étant essentiellement du fer et des impuretés résiduelles.

5

2. Frette selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'acier a une composition suivante :

- Carbone : 0,28 à 0,32 %
- Manganèse : 0,30 à 0,50 %
- Silicium : 0,15 à 0,35 %
- Nickel : inférieur à 0,25 %
- Chrome : 3,0 à 3,2 %
- Molybdène : 2,7 à 2,9 %
- Vanadium : 0,45 à 0,55 %
- Soufre : $\leq 0,015$ %
- Phosphore : $\leq 0,020$ %
- Cuivre : 0,1 à 0,5 %
- le reste étant essentiellement du fer et des impuretés résiduelles.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG.1

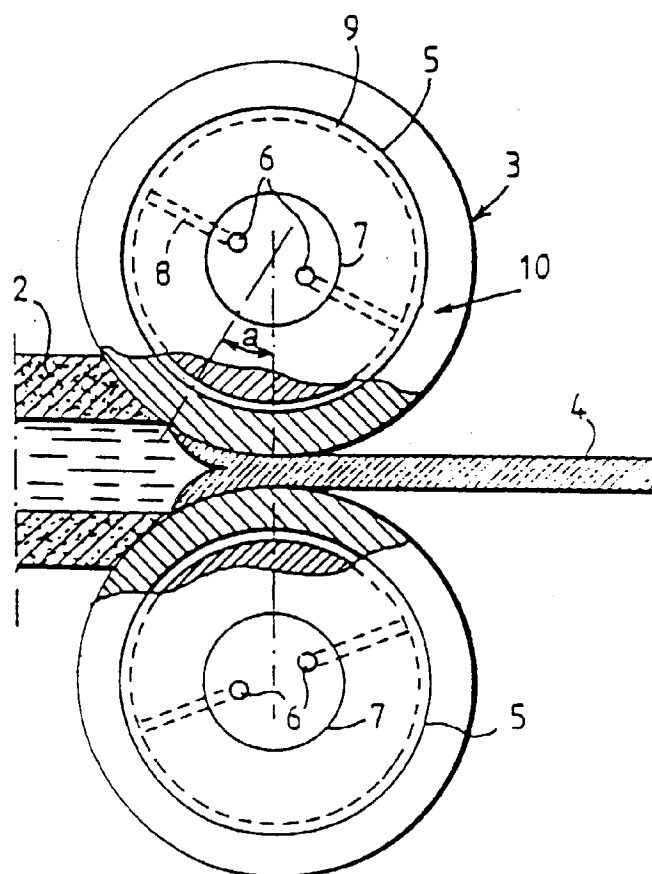
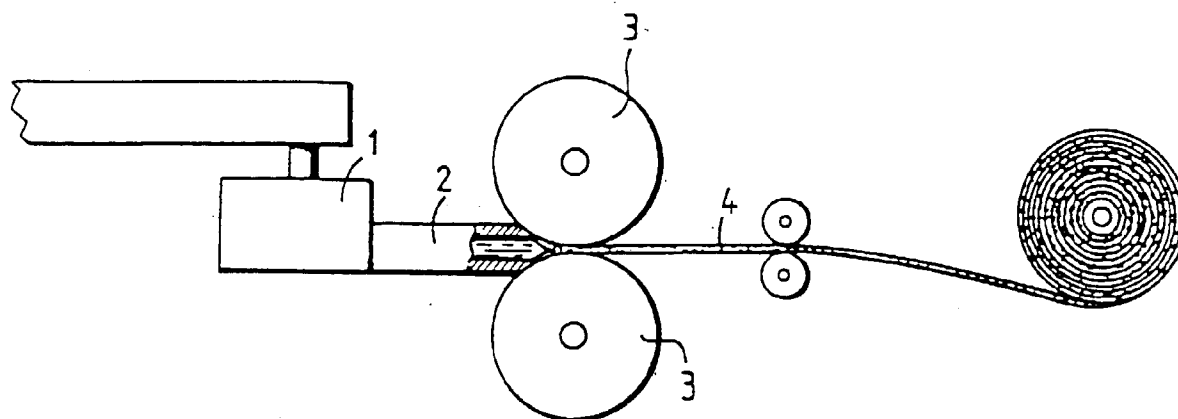
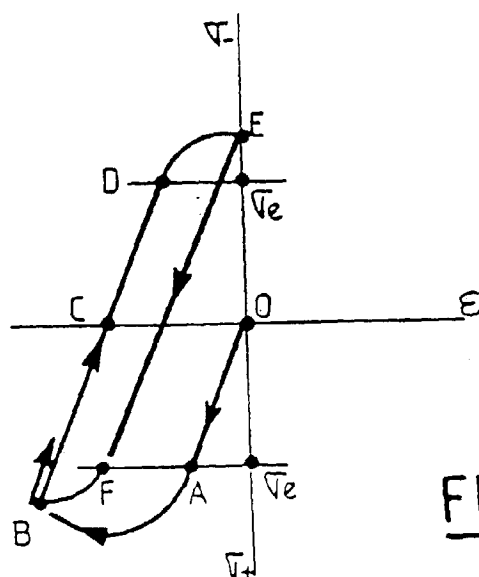
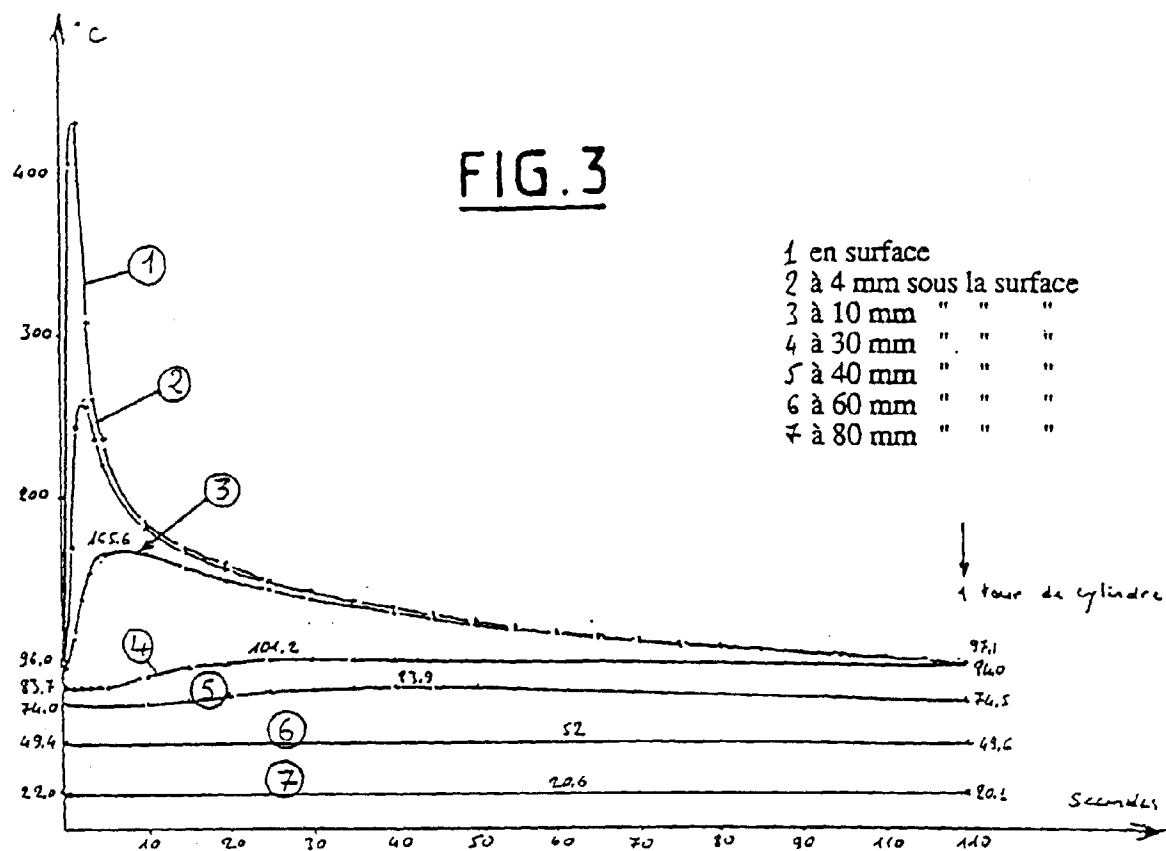


FIG. 2





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 98 40 0020

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.6)
Y	FR 2 578 768 A (C3F COMP FRANC FORGES FOND, FR) 19 septembre 1986 * page 3, ligne 1 - ligne 11 *	1	B22D11/06
A	---	2	
A	C.W. WEGST: "Stahlschlüssel", VERLAG STAHLSCHLÜSSEL WEGST GMBH, MARBACH XP002065476 page 194, norme no. 1.2365; page 212, norme no. 7746; page 213, norme no. 3451; page 216, norme 30CrMoV 12 27 KU; page 220, norme no. 85021 ---	1,2	
P,Y	EP 0 756 018 A (NAT OILWELL L P, HOUSTON, US) 29 janvier 1997 * page 3, ligne 58 - page 4, ligne 7 *	1	
A	-----	2	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			B22D B21B
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
LA HAYE		20 mai 1998	Peis, S
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			

EPO FORM 1503 03/92 (F04C02)