

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication:

0 087 634
B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication du fascicule du brevet:
08.01.86

(51) Int. Cl.⁴: **C 22 C 37/04, C 21 D 5/00**

(21) Numéro de dépôt: **83101259.6**

(22) Date de dépôt: **10.02.83**

(54) **Tube centrifugé en fonte à graphite sphéroïdal et son procédé de fabrication.**

(30) Priorité: **01.03.82 FR 8203327**

(43) Date de publication de la demande:
07.09.83 Bulletin 83/36

(45) Mention de la délivrance du brevet:
08.01.86 Bulletin 86/2

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH DE IT LI NL SE

(56) Documents cités:
EP - A - 0 018 445
FR - A - 2 262 117
FR - A - 2 337 765
US - A - 3 784 416

GIessereI-PRAXIS, vol. 1, 15 Janvier 1982, BERLIN
(DE) K. ROHRIG: "Niedriglegierte
Gussisenwerkstoffe", pages 1-16

(73) Titulaire: **PONT-A-MOUSSON S.A., 91, Avenue de la**
Libération, F-54017 Nancy (FR)

(72) Inventeur: **Bellocci, Rio, 16 Pré Hayer,**
F-54700 Pont-a-Mousson (FR)

(74) Mandataire: **Weil, Roger et al, c/o Centre de Recherches**
de Pont-à-Mousson BP 28, F-54700 Pont-à-Mousson (FR)

EP 0 087 634 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

La présente invention est relative à la fabrication de tubes en fonte à graphite sphéroïdal par coulée centrifuge et plus particulièrement à un traitement thermique consécutif à la coulée centrifuge visant à doter le tube centrifugé d'une structure permettant son allègement.

Les tubes — c'est-à-dire les tuyaux cylindriques d'épaisseur constante — en fonte à graphite sphéroïdal ont actuellement, après coulée par centrifugation et traitement thermique, une structure ferritique qui présente deux avantages: d'une part, cette structure leur confère de bonnes caractéristiques mécaniques (résistance élastique et ductilité); d'autre part, cette structure ferritique est facilement obtenue par traitement thermique après la coulée centrifuge, soit dans une coquille pourvue intérieurement d'un revêtement épais d'un mélange pulvérulent de silice et de bentonite en suspension dans l'eau (revêtement dit «wet-spray»), soit dans une coquille dépourvue d'un tel revêtement.

Dans le cas de la présence d'un revêtement de «wet-spray» sur la coquille, on soumet le tube, extrait de sa coquille et rapidement introduit dans un four avant qu'il ne soit trop fortement refroidi, à un traitement thermique dit de «maintien de ferritisation» à une température de l'ordre de 750°C, pendant un temps de l'ordre de 20 à 25 minutes, puis on le laisse se refroidir naturellement.

Dans le cas d'absence de revêtement de «wet-spray» sur la coquille, on extrait le tuyau de sa coquille de coulée et on l'introduit rapidement dans un four où on lui fait subir un recuit de graphitisation à une température de l'ordre de 950°C pendant un temps de l'ordre de 20 à 25 minutes, puis un maintien de ferritisation à une température de l'ordre de 750°C pendant un temps de l'ordre de 15 à 20 minutes.

La Demanderesse s'est posé le problème d'obtenir économiquement des tubes en fonte coulés par centrifugation qui soient plus légers que les tubes actuels, sans perte sensible de caractéristiques mécaniques.

La Demanderesse a cherché à obtenir ce résultat en conférant au tube en fonte à graphite sphéroïdal, au lieu de la structure ferritique habituelle, une structure bainitique, qui présente une résistance à la traction et une caractéristique d'allongement ainsi qu'une caractéristique de résilience égales ou supérieures à celles de la structure ferritique.

La structure ferritique est obtenue dans des tuyaux en fonte à graphite sphéroïdal suivant le brevet FR 2 337 765 en centrifugeant une fonte contenant, notamment en poids, 3, 4% de carbone, 2,6% de Silicium, 0,4% de manganèse et 0,04% de magnésium, en laissant le tuyau centrifugé se refroidir dans son moule de centrifugation jusqu'à une température supérieure à 800°C, en transportant le moule de centrifugation contenant le tuyau encore rouge jusqu'à un poste de traitement de recuit où le moule de centrifugation, entraîné en rotation, est obturé à ses extrémités et où le tuyau moulé est soumis à l'action de gaz chauds en trois zones de températures, successivement décroissantes jusqu'à environ 700°C,

de manière que le tuyau se refroidisse lentement, et enfin en démoulant le tuyau et en le laissant se refroidir à l'air libre.

La structure bainitique de la fonte sphéroïdale a déjà été recherchée pour des pièces en fonte coulées en coquille, notamment pour des organes mécaniques d'automobiles, comme le montre par exemple le brevet FR 1 056 330, en raison des bonnes caractéristiques mécaniques conférées par une telle structure.

Dans un article de la revue «Hommes et Fonderie» n° 84 d'Avril 1978, est décrit un traitement thermique d'obtention de cette structure bainitique. Le traitement thermique décrit est celui dit de «la trempe étagée» qui permet d'aboutir à la structure bainitique en passant par l'austénitisation par des phases successives de refroidissement à vitesses différentes, dont une trempe, en partant de la pièce chaude, telle qu'elle vient d'être moulée. Ce traitement présente l'avantage de ne pas nécessiter un chauffage initial d'austénitisation.

Cependant, suivant la technique décrite dans cet article, étant donné la faible aptitude à la trempe de la fonte à graphite sphéroïdal, non seulement il faut un contrôle très serré des teneurs en carbone, en silicium et en manganèse de la fonte, mais encore, si l'on veut traiter des pièces relativement épaisses, il faut apporter des éléments d'alliages coûteux tels que le molybdène, particulièrement efficaces, même en quantités modestes, pour accroître l'aptitude à la trempe de la fonte dans une mesure suffisante pour que la trempe étagée évite la formation de perlite et aboutisse à la formation de bainite.

La Demanderesse s'est au contraire posé le problème d'obtenir des tubes centrifugés en fonte bainitique à graphite sphéroïdal sans apport d'éléments spéciaux onéreux en faible quantité, tels que le molybdène.

A cet effet, l'invention a pour objet un tube centrifugé en fonte à graphite sphéroïdal, du type dont la fonte possède la composition suivante en poids:

- carbone: 2,5 à 4,0%
- silicium: 2 à 4,0%
- manganèse: 0,1 à 0,6%
- nickel: 0 à 3,5%
- cuivre: 0 à 11%
- magnésium: 0 à 0,5%
- soufre: 0,01% maximum
- phosphore: 0,06% maximum
- le reste étant du fer,

cette fonte ayant une structure bainitique.

Pour réaliser un tel tube, suivant l'invention, on part, comme connu, d'une fonte à graphite sphéroïdal ayant la composition indiquée, on coule cette fonte dans une coquille de centrifugation pourvue d'un revêtement réfractaire et refroidie extérieurement par de l'eau, on laisse le tube centrifugé se refroidir en coquille jusqu'à une température de l'ordre de 800 à 1000°C pour acquérir une structure austénitique, puis, suivant l'invention toujours en coquille, on le refroidit énergiquement et uniformément sur toute sa longueur par pulvérisation d'eau ou d'un mélange air et eau sur sa paroi interne, jusqu'à

environ 250 à 450°C, de manière à lui conférer une structure austénitique ou bainitique, puis on démodule le tube de la coquille et on le place à l'intérieur d'un four maintenu entre 250 et 450°C en vue de créer ou de maintenir une structure bainitique, et l'on retire le tube du four pour le laisser refroidir à l'air.

L'expérience montre que le tube suivant l'invention possède un poids unitaire sensiblement réduit et une pression de service sensiblement accrue, au prix d'une ovalisation plus élevée sous le poids propre du tube, mais restant dans les limites acceptables.

L'invention est exposée ci-après plus en détail à l'aide des dessins annexés, qui en représentent seulement un mode d'exécution. Sur ces dessins:

la Fig. 1 est une vue schématique partielle en coupe longitudinale d'une machine à centrifuger des tubes en fonte, équipée d'un dispositif d'arrosage pour la mise en oeuvre du procédé suivant l'invention, la machine étant en position de fin de coulée;

la Fig. 2 est une vue analogue à la Fig. 1 de la machine pendant la phase d'arrosage du tube en coquille du procédé suivant l'invention;

la Fig. 3 est une vue en coupe transversale suivant la ligne 3-3 de la Fig. 2;

la Fig. 4 est une vue schématique en coupe transversale illustrant la phase de maintien de bainitisation, à l'intérieur d'un four, du procédé de l'invention;

les Fig. 5 et 6 sont des diagrammes comparatifs du traitement thermique du procédé de l'invention (courbes en trait plein) par rapport à des traitements thermiques antérieurs connus, respectivement pour l'obtention d'une structure bainitique avec chauffage d'austénitisation et pour l'obtention d'une structure ferritique dans la fabrication classique des tubes en fonte centrifugés, ces courbes correspondant à des tubes de diamètre nominal 1600 mm;

Les Fig. 7 et 8 sont des micrographies d'une structure de paroi de tubes centrifugés en fonte à graphite sphéroïdal, respectivement à structure bainitique au grossissement 1000, et à structure ferrito-perlitique au grossissement 100.

Suivant l'exemple d'exécution des Fig. 1 à 3, l'invention est appliquée à la fabrication de tubes en fonte à graphite sphéroïdal par coulée centrifuge.

Le procédé conforme à l'invention consiste à partir d'une composition de fonte à graphite sphéroïdal qui est la suivante, en pourcentage en poids:

- carbone: 2,5 à 4,0%, et notamment 3,6%
- silicium: 2 à 4,0%, et notamment 2,4%
- manganèse: 0,1 à 0,6%, et notamment 0,5%
- nickel: 0 à 3,5%, et notamment 0,2%
- cuivre: 0 à 11%, et notamment 0,2%
- magnésium: 0 à 0,5%, et notamment 0,03%
- soufre: 0,01% maximum
- phosphore: 0,06% maximum
- le reste étant du fer.

Cette composition de fonte a été modifiée par rapport à celle qui sert habituellement à la fabrication de tuyau en fonte à graphite sphéroïdal à structure ferrito-perlitique par rapport des éléments Ni et Cu qui n'existaient pas et par apport, de préférence, d'un notable supplément de Mn, la fonte de base habituelle n'en contenant que 0,1 à 0,2%. Les élé-

ments Ni, Cu, Mn ont la propriété d'améliorer la trempeabilité de la fonte.

On coule par centrifugation cette composition de fonte à graphite sphéroïdal dans une machine à centrifuger illustré schématiquement aux Fig. 1 à 3.

Cette machine comprend essentiellement un chariot A mobile en translation grâce à un vérin B. Ce chariot A porte une coquille métallique 1 de centrifugation, d'axe X-X à peu près horizontal, par l'intermédiaire de galets C dont l'un au moins est entraîné par un moteur M. La coquille 1 offre une cavité de moulage cylindrique de même diamètre d'une extrémité à l'autre en vue d'obtenir un tube T de diamètre et d'épaisseur de paroi constants sur toute sa longueur, donc sans emboîtement. Le tube T a par exemple une longueur de 6 à 8 m pour un diamètre intérieur qui peut aller de 60 mm à 2000 mm suivant la machine à centrifuger et la coquille 1 utilisées.

La machine est pourvue, comme connu, d'un dispositif de refroidissement extérieur de la coquille 1. Il peut s'agir de rampes de pulvérisation d'eau réparties autour de la coquille 1, à l'intérieur d'un carter ou d'une carrosserie enveloppant cette coquille, ou bien d'une enveloppe d'eau circulant d'une extrémité à l'autre de la coquille, et à l'extérieur de celle-ci, en circuit fermé. Dans un but de schématisation, le dispositif de refroidissement extérieur de la coquille 1, quel qu'il soit, étant connu en soi, n'a pas été représenté.

Par ailleurs, étant donné que l'invention s'applique de préférence, mais non exclusivement, à la fabrication de tubes en fonte de grands diamètres, c'est-à-dire de diamètres supérieurs à 700 mm et pouvant aller jusqu'à 2000 mm, on a représenté à côté de la machine, à droite de la Fig. 1, une silhouette humaine S pour bien montrer le diamètre important de la coquille 1 dans laquelle doit être coulé le tube T.

Bien que, pour les raisons exposées plus loin, c'est pour les grands diamètres que le procédé de l'invention est le plus avantageux, ce procédé est également applicable à la fabrication de tubes en fonte de petits et moyens diamètres, c'est-à-dire de diamètres compris entre environ 50 et 600 mm.

A l'intérieur de la coquille 1 peut pénétrer à peu près parallèlement à son axe X-X un canal de coulée E muni à l'amont d'un déversoir G alimenté en fonte liquide par une poche basculante H.

L'ensemble du canal E et de son déversoir G est monté en porte à faux sur un chariot 2 mobile transversalement par rapport à l'axe X-X, c'est-à-dire suivant une direction de bout par rapport au plan de la Fig. 1. Le chariot transversal 2 porte également en porte à faux une longue conduite rigide ou rampe 3 de pulvérisation d'eau reliée à une alimentation en eau sous pression non représentée. La conduite rigide 3 a une longueur correspondant à celle du canal E, donc de la coquille 1, et est également à peu près parallèle à l'axe X-X de la coquille 1. Elle est montée sur le chariot transversal 2 avec un décalage par rapport au canal E d'une distance transversale telle que par déplacement transversal du chariot 2, lorsque le canal E est à l'intérieur de la coquille 1, la conduite rigide 3 est à l'extérieur et réciproquement.

La conduite rigide ou rampe 3 est pourvue sur toute sa longueur de paires de buses jumelées 4 de pulvérisation d'eau. Les ajutages des buses 4, op-

posés deux à deux, ont des sections réglables et réglées de manière à fournir chacune un débit d'eau approprié en fonction de l'épaisseur du tube, qui est sensiblement constante sur toute la longueur du tube T. Les moyens de réglage des sections des ajutages des buses 4, connus en soi, ne sont pas représentés.

La coquille 1 est pourvue, avant chaque coulée, d'un revêtement réfractaire 1^a dit de «wet-spray», c'est-à-dire d'un mélange de poudre de silice et de bentonite en suspension dans l'eau. Ce revêtement a par exemple une épaisseur comprise entre 0,05 et 0,8 mm. Les constituants de ce mélange de revêtement sont dans les proportions suivantes: 500 à 3000 g de poudre de silice de granulométrie comprise entre 40 et 100 microns et 10 à 40 g de bentonite par litre d'eau. Les organes de pulvérisation de ce revêtement, connus en soi, n'ont pas été représentés.

Il est à noter qu'à la Fig. 1, où le canal E se trouve en partie à l'intérieur de la coquille 1, une partie de la conduite 3 à buses 4 n'est pas visible puisque cette conduite est escamotée latéralement. Il faut considérer la Fig. 2 pour voir la conduite 3 avec la totalité de ses buses 4 introduites à l'intérieur de la coquille 1 en position d'arrosage; la canal de coulée E est alors en position escamotée latéralement, devant le plan de la Fig. 2, et n'a été représenté que partiellement, dans un but de clarté. Ceci apparaît bien à la Fig. 3.

À l'aide de cette installation, on procède à la coulée d'un tube T par centrifugation en introduisant dans la coquille le canal de coulée E puis en versant de la fonte par ce canal tout en l'extrayant progressivement de la coquille. Conformément à l'invention, on ne verse dans la coquille de centrifugation 1 qu'une quantité de fonte susceptible de donner un tube centrifugé d'épaisseur beaucoup plus faible que l'épaisseur habituelle, compte tenu du diamètre (voir plus loin le tableau de valeur numériques).

Lorsque la coulée du tube T est terminée, on fait subir à celui-ci le traitement thermique suivant, qui consiste en une trempe étagée effectuée en partie à l'intérieur de la coquille 1 de centrifugation et en partie dans un four de maintien, en vue d'obtenir et de conserver une structure bainitique en évitant la formation de perlite.

Dans une première phase de ce traitement thermique (Fig. 5 et 6, courbe en trait plein), on laisse le tube T à l'intérieur de la coquille 1 de centrifugation pour lui faire subir une trempe de bainitisation, en passant par l'austénitisation, sans chauffage, en profitant des calories de la coulée. On part donc d'un tube qui vient d'être centrifugé et de se solidifier et est encore à une température de l'ordre de 1150°C (après le passage du point a au point b sur la courbe en trait plein des Fig. 5 et 6).

Du fait que la coquille 1 est refroidie extérieurement, et que l'on laisse tourner sur lui-même le tube T, celui-ci se refroidit lentement de a à b et de b à c, c'est-à-dire de 1300°C à 1150°C et de 1150°C à 1000°C de manière pratiquement homogène; aux alentours du point c de la courbe en trait plein des Fig. 5 et 6 et même en-dessous de ce point, par exemple jusqu'à 800°C, on note un faible écart de température entre la paroi interne et la paroi externe,

inférieur à 20°C. C'est-à-dire T à température homogène qui se trouve ainsi austénitisé, c'est-à-dire avec une structure austénitique au point c, sans apport de calories, mais par le refroidissement qui s'opère après la coulée à l'intérieur de la coquille 1.

A partir de cet état homogène en température et en structure austénitique, le traitement thermique de trempe ou refroidissement rapide est effectué à l'intérieur de la coquille de centrifugation à l'aide de la rampe d'arrosage 3 et des buses de pulvérisation 4, par pulvérisation d'eau ou d'un mélange d'air et d'eau.

A cet effet, immédiatement après la coulée, on escamote latéralement le canal de coulée par déplacement du chariot 2, on introduit entièrement dans la coquille de centrifugation 1 la rampe d'arrosage 3 à buses 4, et l'on procède à l'arrosage de la cavité du tube T qui vient d'être coulé, tout en continuant à faire tourner la coquille 1. Bien entendu, le débit d'arrosage, théoriquement constant tout le long du tube centrifugé, peut être ajusté localement, si l'on constate des irrégularités locales de température de la coquille 1, bien que l'on cherche à rendre constant et uniforme le refroidissement extérieur de celui-ci.

En procédant ainsi, le tube T se refroidit de manière homogène. Cette phase de trempe est représentée par le trajet c-d sur les courbes en trait plein des Fig. 5 et 6. La température du tube T descend ainsi en quelques minutes d'environ 1000°C (ou moins, par exemple 800°C) à environ 350°C.

L'eau de pulvérisation est vaporisée à l'intérieur du tuyau en rotation et évacuée de façon appropriée par des moyens non représentés.

En fait, la température de fin de trempe se situe entre 250°C et 450°C. Dans cette zone de température qui se situe soit un peu au-dessus soit un peu au-dessous de la valeur de 350°C inscrite sur les courbes des Fig. 5 et 6, le tube T a une rigidité suffisante pour ne plus risquer d'ovalisation hors de la coquille de centrifugation. Le tube a également obtenu grâce à la trempe c-d une structure exempte de perlite. Sur les courbes des Fig. 5 et 6, la région correspondant à la perlite est située à droite de cette courbe, à une certaine distance du tronçon c-d.

La seconde phase du traitement thermique consiste en un maintien en température pour consolider ou fixer la structure bainitique (maintien de bainitisation). Pour cela, à la suite de la phase de refroidissement rapide ou trempe précédente, on extrait le tube T de la coquille de centrifugation, soit en arrêtant la rotation de celle-ci, soit en continuant de la faire tourner pendant l'extraction, suivant le dispositif extracteur dont on dispose. Comme représenté à la Fig. 4, on introduit le tube T démolé dans un four-tunnel 5 à buses de chauffage 6, de type connu, réglé de manière à maintenir le tuyau à une température constante comprise entre 250°C et 450°C, par exemple à 350°C, pendant 5 à 120 minutes (tronçon d-e de la courbe de trempe des Fig. 5 et 6), ce temps de maintien étant à peu près le même pour tous les diamètres de tubes, à 10 minutes près.

Le temps de maintien en température vise à obtenir une structure bainitique homogène offrant les caractéristiques mécaniques optimales indiquées plus loin.

Le tube T est porté dans le four 5 par une chaîne transporteuse 7 qui peut être d'un type assurant simultanément la rotation du tube autour de son axe.

La dernière phase du traitement thermique consiste en un refroidissement rapide à l'air libre: à l'expiration du temps de maintien de bainitisation, on retire le tube T du four de maintien 5 et on le laisse refroidir à l'air libre suivant le tronçon e-f des courbes en trait plein des Fig. 5 et 6, ce qui provoque un refroidissement rapide, environ en une dizaine de minutes, à peu près jusqu'à la température ambiante. L'ensemble des tronçons c-d-e-f de la courbe de refroidissement en trait plein représente le trempe étagée du tube.

Les Fig. 5 et 6 illustrent les avantages du traitement thermique suivant l'invention, représenté par les courbes en trait plein, par rapport aux traitements antérieurs connus, représentés par les courbes en trait interrompu. On voit apparaître un important gain de temps, mais ce n'est pas le seul avantage.

Comme le montre la courbe en trait interrompu de la Fig. 5, le traitement classique d'obtention d'une structure bainitique d'une pièce moulée statiquement (qui n'est donc pas un tube centrifugé) comporte un tronçon h-j-k-l similaire au tronçon c-d-e-f du procédé de l'invention, mais décalé dans le temps d'environ une à deux heures en raison des deux phases préalables 0-g de chauffage d'austénitisation, qui peut durer de 20 minutes à 2 heures suivant les applications, et g-h de maintien d'austénitisation à une température d'environ 1000°C, plus généralement comprise entre 800 et 1000°C. Le traitement antérieur connu nécessite donc un apport de calories pour amener les pièces traitées à la température d'austénitisation au lieu de traiter les pièces dans le moule, immédiatement après leur coulée. Il est donc clair que le procédé de l'invention, en économisant le chauffage d'austénitisation, apporte une importante économie d'énergie par rapport à un tel traitement.

A la Fig. 6, le traitement thermique de l'invention est comparé à la technique antérieure de traitement thermique de ferritisation (recuit). Le traitement thermique antérieur (courbe en trait interrompu) possède en commun le tronçon a-b-c avec la courbe en trait plein de l'invention. Ensuite, le reste de la courbe c-m-n-p-q est sensiblement différent de la courbe c-d-e-f du procédé de l'invention. Dans le processus de ferritisation, on laisse le tube à l'intérieur de sa coquille de centrifugation suivant la courbe a-b-c-m: ceci correspond à un refroidissement à vitesse modérée, du fait du refroidissement extérieur de la coquille de centrifugation et du refroidissement interne naturel du tube centrifugé. De a à c, la structure austénitique se forme. Au-delà de c, cette structure n'est pas maintenue, mais le refroidissement continue jusqu'en m, point où l'on procède à l'extraction hors de sa coquille du tube suffisamment refroidi pour éviter une ovalisation notable. Il s'ensuit un refroidissement à l'air un peu plus lent jusqu'à ce que l'on introduise le tube dans un four de recuit de ferritisation à une température de l'ordre de 750°C. Comme on le voit, un apport de calories est nécessaire, à l'intérieur du four de recuit, pour l'obtention de la structure ferritique, suivant la partie ascendante m-n de la courbe, ainsi que pour le maintien en température

suivant le tronçon n-p. Cet apport de calories est sensiblement supérieur à celui qui est nécessaire au maintien de bainitisation suivant le tronçon d-e de la courbe en trait plein, dans le four de maintien 5, et ce d'autant plus que la température de maintien de bainitisation est beaucoup plus basse (350°C environ) que la température de maintien de ferritisation (environ 750°C). On remarque en particulier que la température de maintien de bainitisation est suffisamment basse pour que l'extraction du tube à cette température ne pose aucun problème et qu'il ne soit pas nécessaire de réchauffer ce tube lors de son introduction dans le four 5. En conséquence, par rapport à la technique antérieure de traitement thermique de ferritisation des tubes en fonte centrifugés, le procédé de l'invention permet également une économie sensible d'énergie.

Du fait de la rotation du tube pendant qu'il est encore à l'intérieur de la coquille de centrifugation, c'est-à-dire pendant les phases de traitement thermique représentées par les tronçons a-b-c-d des courbes en trait plein des Fig. 5 et 6, donc pendant le refroidissement naturel et pendant la trempe par arrosage, le refroidissement du tuyau est homogène.

La structure bainitique permet de réduire l'épaissement de paroi, et donc le poids unitaire, des tubes grâce à ses bonnes propriétés mécaniques. Cette sensible diminution d'épaisseur est en outre avantageuse pour l'homogénéité du refroidissement pendant les phases a-b-c-d, et en particulier pour l'aptitude à la trempe: elle assure l'efficacité de cette trempe suivant la phase c-d de la courbe de traitement thermique, à travers toute l'épaisseur du tube centrifugé, sans qu'il soit nécessaire d'ajouter à la composition de la fonte des éléments métalliques coûteux ayant un effet trempant, c'est-à-dire facilitant la trempe, tels que le molybdène. En d'autres termes, la réduction sensible d'épaisseur des tubes de fonte centrifugés apporte une économie sensible sur la composition de la fonte.

On a vu également que le traitement d'austénitisation et de bainitisation suivant les phases b-c-d de la courbe de traitement thermique du tube T à l'intérieur de la coquille de centrifugation évite toute déformation du tube, donc toute ovalisation pendant qu'il est encore à température élevée: en effet, la coquille de centrifugation, servant de support au tube, maintient sa forme parfaitement cylindrique, et ceci malgré la réduction notable d'épaisseur qui augmente sa tendance à l'ovalisation. Cette tendance à l'ovalisation poserait de sérieux problèmes si le tube était extrait de la coquille de centrifugation à une température plus élevée, par exemple au-dessus de 500°C.

La réalisation du traitement thermique suivant l'invention, et plus particulièrement de la phase d'arrosage ou de pulvérisation d'eau à l'intérieur de la cavité du tube suivant le tronçon c-d, est particulièrement simple et économique par rapport à un traitement classique de trempe en bain de sel qui nécessiterait d'ailleurs un transport du tube hors de sa coquille alors qu'il est encore chaud et une manutention d'immersion du tube dans un bain de sel. Le procédé de l'invention permet d'économiser cette ma-

nutention et d'éviter en même temps le risque d'ovalisation qu'elle comporte.

Le gain sensible de temps mentionné plus haut permet d'augmenter les cadences de fabrication des tubes centrifugés en fonte à graphite sphéroïdal à structure bainitique. L'arrosage de l'intérieur du tuyau centrifugé pendant la phase de trempe diminue le temps de séjour du tube centrifugé dans la coquille de centrifugation. C'est ce que l'on voit en comparant les deux courbes de la Fig. 6, sur lesquelles l'extraction du tube hors de la coquille se situe au point m dans la technique connue alors qu'elle se situe au point d, 5 à 10 minutes avant, dans le procédé de l'invention.

Il en résulte avantageusement pour la coquille de centrifugation une réduction sensible des contraintes thermiques car les calories à évacuer sont inférieures d'environ 30 à 40%, par rapport à la technique antérieure de fabrication des tubes en fonte à structure ferritique, du fait de l'évacuation de chaleur par l'eau d'arrosage et de la diminution de la quantité de fonte versée à l'intérieur de la coquille. En conséquence, la durée de vie des coquilles de centrifugation, qui sont les éléments les plus importants et les plus coûteux du matériel de centrifugation, doit être notablement allongée par rapport à la technique antérieure.

Enfin, le tube de l'invention centrifugé en fonte à graphite sphéroïdal à structure bainitique, malgré sa réduction sensible d'épaisseur, qui apporte un allègement facilitant sa manutention, conserve des caractéristiques mécaniques sensiblement équivalentes à celles des tubes antérieurs ferritiques au prix d'une plus grande sensibilité à l'ovalisation, sensibilité restant cependant tolérable du fait que le tube ne subit aucune manutention lorsqu'il est à température élevée sujette à l'ovalisation.

En ce qui concerne les caractéristiques mécaniques du tube suivant l'invention, le tableau ci-après donne des exemples numériques de dimensions, de poids, de pression de service garantie et d'ovalisation pour des tubes destinés à être enterrés sous une épaisseur de terre de 4 m et pour des tuyaux de grand diamètre, c'est-à-dire supérieur à 700 mm de diamètre nominal. Les valeurs concernant le tube bainitique de l'invention sont comparées à celles de la technique antérieure concernant un tube ferritique et un tube ferritique allégé. Dans ce tableau, le coefficient K, défini par la norme internationale ISO 2531, caractérise l'épaisseur du tuyau suivant la formule: $e = K (0,5 + 0,001 D.N.)$ dans laquelle:

e = épaisseur en mm de la paroi de tube

DN = diamètre nominal.

TUBES GRANDS DIAMETRES

Hauteur de couverture prévue = 4 m

Diamètre nominal	TECHNIQUE ANTERIEURE TUBE FERRITIQUE ET PERLITIQUE (K = 9)				TECHNIQUE ANTERIEURE TUBE FERRITIQUE ALLEGE (avec revêtement)*				INVENTION TUBE BAINITIQUE allégé revêtu*			
	épais- seur de paroi mm	poids moyen kg/m	Pres- sion de service P _s bars	ovali- sation sous poids propre (%)	épais- seur de paroi mm	poids moyen kg/m	P _s bars	ovali- sation sous poids propre (%)	épais- seur de paroi mm	poids moyen kg/m	Pres- sion de service P _s bars	ovali- sation sous poids propre (%)
800	11,5	211	28,5	0,09	8	147,8	23	0,22	5,9	109,3	29	0,56
1000	13,2	303	28	0,13	9,7	223,1	23,2	0,28	6,8	156,8	28,7	0,74
1200	15,0	412	27,5		11,3	311,3	23		7,9	218,2	28,5	0,90
1400	16,8	536	27,3		13,0	417,2	23,2		9,0	189,6	28,5	1,05
1600	18,5	677	26,9		14,5	531	23		10,0	367,2	28,4	1,21
1800	20,3	833	26,5	0,30	16,2	666,6	23	0,51	11,1	458	28,3	1,36
2000	22,1	1006	26,3	0,34	17,8	813	23	0,56	12,3	563,3	28	1,47

* en général, revêtement intérieur de mortier de ciment centrifugé et revêtement extérieur de vernis noir.

On voit sur le tableau ci-dessus que le gain de poids unitaire que l'invention permet d'obtenir est d'autant plus important que le diamètre du tube est plus grand.

A titre comparatif et à l'avantage du tube à structure bainitique de l'invention, les caractéristiques mécaniques obtenues sont les suivantes:

— limite élastique 55 à 75 daN/mm² (au lieu de 30 environ pour la structure ferritique)

— allongement supérieur à 10% (comme le tube ferritique);

— résistance à la rupture 70 à 110 daN/mm² (tube ferritique 45 daN/mm² environ).

La Fig. 7 représente une structure micrographique bainitique. Dans cette structure, les plages noires que l'on aperçoit dans les angles supérieur et inférieur de gauche sont des parties de nodules de graphite. Les formes allongées ressemblant à des fougères sont des zones de ferrite; on voit qu'elles couvrent la plus grande partie de la surface de la micrographie. Les zones blanches les plus importantes correspondent à de l'austénite résiduelle; on voit qu'elles ne couvrent qu'une faible partie de la surface de la micrographie. C'est l'ensemble de cette structure, reconnaissable seulement au grossissement 1000 et non au grossissement 100, que l'on appelle «bainitique».

A titre comparatif, suivant la micrographie de la Fig. 8 au grossissement 100, à l'attaque au NITAL, il s'agit d'une fonte à graphite sphéroïdal ferrito-perlitique, à 40% de ferrite et à 50% de perlite, le reste étant du graphite sphéroïdal. Les plages noires rondes sont des nodules de graphite. Les nodules sont entourés de zones blanches constituant la ferrite. Les zones grises restantes sont de la perlite. Il s'agit de la structure d'un tube centrifugé de type classique.

Revendications

1. Tube centrifugé en fonte à graphite sphéroïdal, du type dont la fonte possède la composition suivante en poids:

- carbone: 2,5 à 4,0%
- silicium: 2 à 4,0%
- manganèse: 0,1 à 0,6%
- nickel: 0 à 3,5%
- cuivre: 0 à 11%
- magnésium: 0 à 0,5%
- soufre: 0,01% maximum
- phosphore: 0,06% maximum
- le reste étant du fer,

cette fonte ayant une structure bainitique.

2. Tube suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la fonte a la composition suivante:

- carbone: 3,6%
- silicium: 2,4%
- manganèse: 0,5%
- nickel: 0,2%
- cuivre: 0,5%
- magnésium: 0,03%
- soufre: ≤ 0,01%
- phosphore: ≤ 0,06%,

le rest étant du fer.

3. Tube suivant l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il correspond au tableau suivant:

diamètre nominal	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
mm							
épaisseur nominale							
approximative de paroi (mm)	6	7	8	9	10	11	12,5

4. Procédé de fabrication d'un tube suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, di type dans lequel on part d'une fonte à graphite sphéroïdal ayant la composition indiquée, on coule cette fonte dans une coquille de centrifugation pourvue d'un revêtement réfractaire et refroidie extérieurement par de l'eau, et du type dans lequel on laisse le tube centrifugé se refroidir en coquille jusqu'à une température de l'ordre de 800 à 1000°C pour acquérir une structure austénitique, caractérisé en ce que, toujours en coquille, on refroidit énergiquement et uniformément sur toute sa longueur par pulvérisation d'eau ou d'un mélange air et eau sur sa paroi interne, jusqu'à environ 250 à 450°C, de manière à lui conférer une structure austénitique ou bainitique, puis on démoule le tube de sa coquille et on le place à l'intérieur d'un four maintenu entre 250 et 450°C en vue de créer ou de maintenir une structure bainitique, et l'on retire le tube du four pour le laisser refroidir à l'air.

5. Procédé suivant la revendication 4, caractérisé en ce que l'on utilise comme revêtement réfractaire de la coquille de centrifugation un mélange aqueux de silice et de bentonite.

5. Procédé suivant la revendication 4, caractérisé en ce que pendant la première phase de refroidissement jusqu'à environ 800 à 1000°C et pendant la phase de refroidissement énergétique par pulvérisation humide sur la paroi interne du tube de 800-1000°C à 250-450°C, on entraîne celui-ci en rotation au moyen de la coquille de centrifugation.

Patentansprüche

1. Schleudergussröhre aus Gusseisen mit Kugelgraphit der Art, deren Gusseisen die folgende Gewichts zusammensetzung aufweist:

- Kohlenstoff: 2,5 - 4,0%
- Silizium: 2 - 4,0%
- Mangan: 0,1 - 0,6%
- Nickel: 0 - 3,5%
- Kupfer: 0 - 11%
- Magnesium: 0 - 0,5%
- Schwefel: höchstens 0,01%
- Phosphor: höchstens 0,06%
- Rest Eisen,

wobei dieses Gusseisen ein Bainitgefüge hat.

2. Röhre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Gusseisen die folgende Zusammensetzung aufweist:

- Kohlenstoff: 3,6%
- Silizium: 2,4%
- Mangan: 0,5%
- Nickel: 0,2%
- Kupfer: 0,5%
- Magnesium: 0,03%
- Schwefel: ≤ 0,01%
- Phosphor: ≤ 0,06%,
- Rest Eisen.

3. Röhre nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sie der folgenden Tabelle entspricht:

Nenndurch- messer	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
mm							
Ange- näherte							
Nenn- wanddicke (mm)	6	7	8	9	10	11	12,5

4. Verfahren zur Herstellung einer Röhre nach einem der Ansprüche 1 bis 3 der Art, bei der man von einem Gusseisen mit Kugelgraphit der angegebenen Zusammensetzung ausgeht, dieses Gusseisen in eine mit einem feuerfesten Überzug versehene und äusserlich mit Wasser gekühlte Schleudergusskokille giesst, und der Art, bei der man die Schleudergussröhre sich in der Kokille bis zu einer Temperatur der Grössenordnung von 800 bis 1000°C abkühlen lässt, um ein austenitisches Gefüge anzunehmen, dadurch gekennzeichnet, dass man sie noch in der Kokille stark und gleichmässig über ihre ganze Länge durch Sprühen von Wasser oder einem Luft-Wasser-Gemisch auf ihre Innenwand bis etwa 250 bis 450°C derart abkühlt, um ihr ein austenitisches oder bainitisches Gefüge zu verleihen, die Röhre dann aus ihrer Kokille entformt und sie in das Innere eines zwischen 250 und 450°C gehaltenen Ofens einsetzt, um ein bainitisches Gefüge zu erzeugen oder beizubehalten, und die Röhre dem Ofen entnimmt, um sie an der Luft abkühlen zu lassen.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass man als feuerfesten Überzug der Schleudergusskokille ein wässriges Gemisch von Siliziumdioxid und Bentonit verwendet.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass man die Röhre während der ersten Abkühlungsphase bis etwa 800 bis 1000°C und während der Phase starker Abkühlung durch nasses Sprühen auf die Innenwand der Röhre von 800 bis 1000°C auf 250 bis 450°C diese mittels der Schleudergusskokille in Drehung hält.

Claims

1. Tube centrifugally cast from spheroidal graphite cast iron, of the type in which the cast iron has the following composition by weight:

- carbon: 2.5 to 4.0%
- silicon: 2 to 4.0%
- manganese: 0.1 to 0.6%
- nickel: 0 to 3.5%
- copper: 0 to 11%
- magnesium: 0 to 0.5%
- sulphur: 0.01% maximum

- phosphorus: 0.06% maximum,
- the remainder being iron,

this cast iron having a bainitic structure.

2. Tube according to claim 1, characterised in that the cast iron has the following composition:

- carbon: 3.6%
- silicon: 2.4%
- manganese: 0.5%
- nickel: 0.2%
- copper: 0.5%
- magnesium: 0.03%
- sulphur: ≤ 0.01%
- phosphorus: ≤ 0.06%

the remainder being iron.

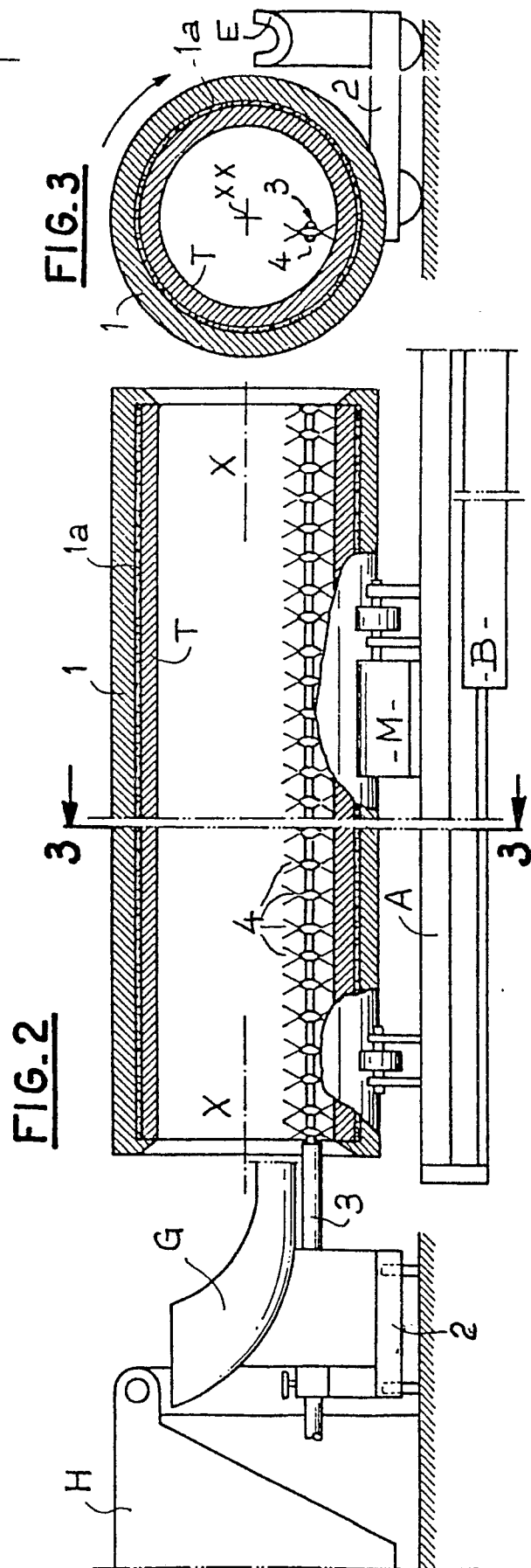
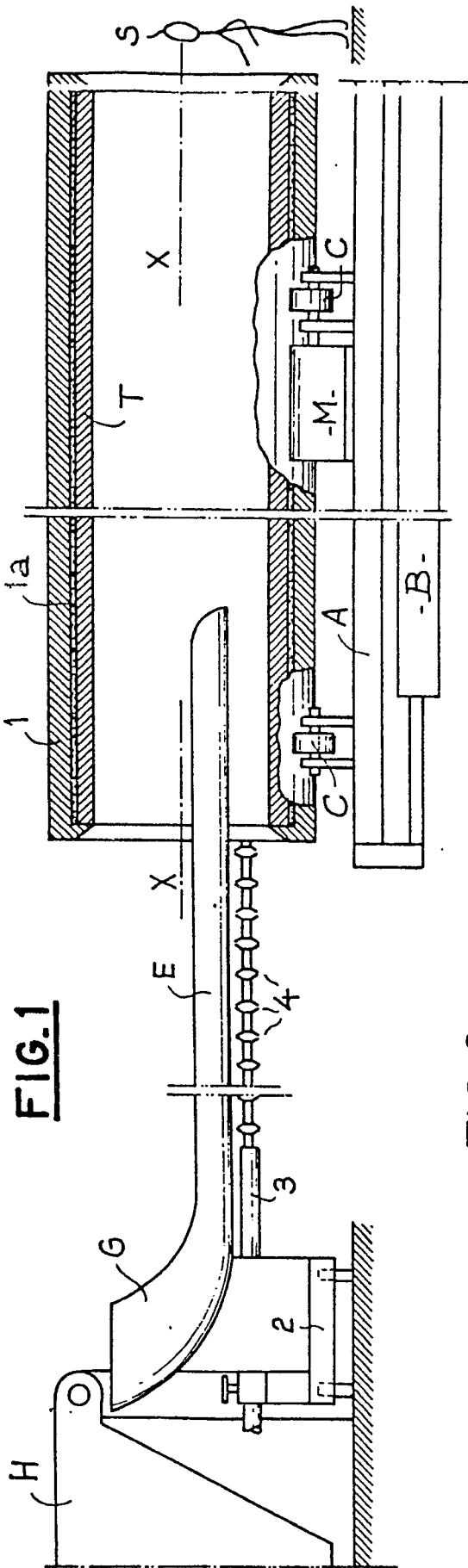
3. Tube according to one of claims 1 or 2, characterised in that it corresponds to the following table:

Nominal diameter	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
mm							
approximate nominal wall thickness (mm)	6	7	8	9	10	11	12.5

4. Method for the manufacture of a tube according to one of claims 1 to 3, of the type in which one starts with a spheroidal graphite cast iron having the composition stated, this cast iron is poured into a centrifugal chill mould provided with a refractory coating and cooled externally by water and of the type in which the centrifugally cast tube is left to cool in the chill mould to a temperature of the order of 800 to 1000°C in order to acquire an austenitic structure, characterized in that, still in the chill mould, it is cooled vigorously and uniformly over its entire length by spraying water or a mixture of air and water on its inner wall, to a temperature of approximately 250 to 450°C, in order to give it an austenitic or bainitic structure, then the tube is removed from its chill mould and placed inside a furnace kept at a temperature of between 250 and 450°C with a view to creating or maintaining a bainitic structure and the tube is removed from the furnace to allow it to cool in air.

5. Method according to claim 4, characterised in that an aqueous mixture of silica and bentonite is used as the refractory coating for the centrifugal casting chill mould.

6. Method according to claim 4, characterised in that during the first stage of cooling to approximately 800 to 1000°C and during the stage of vigorous cooling by wet spraying on the inner wall of the tube from 800 - 1000°C to 250 - 450°C, the tube is set in rotation by means of the centrifugal casting chill mould.



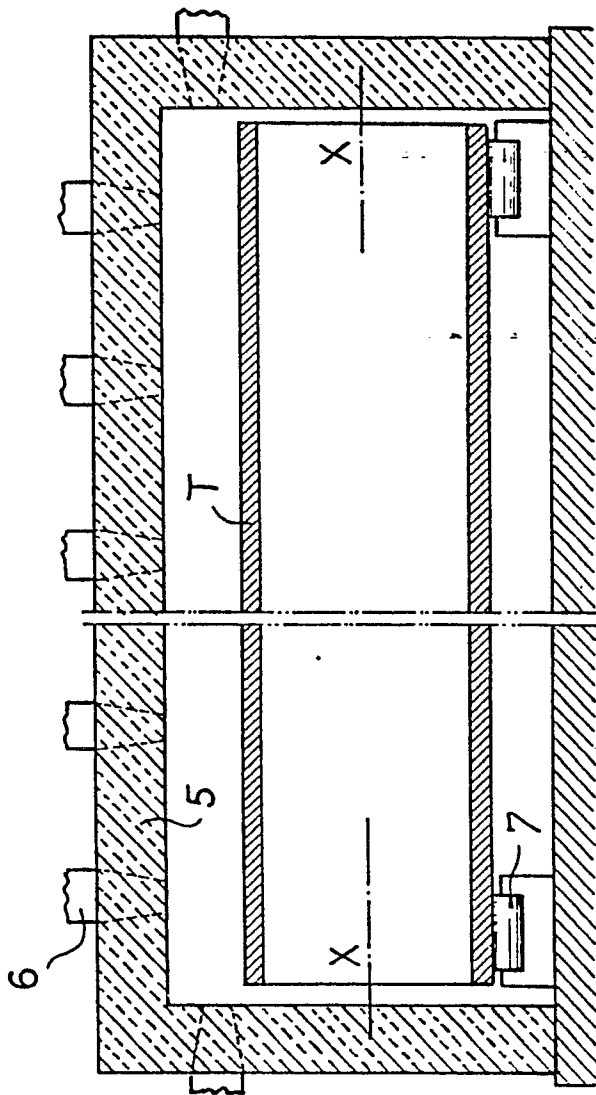


FIG. 4



FIG. 7

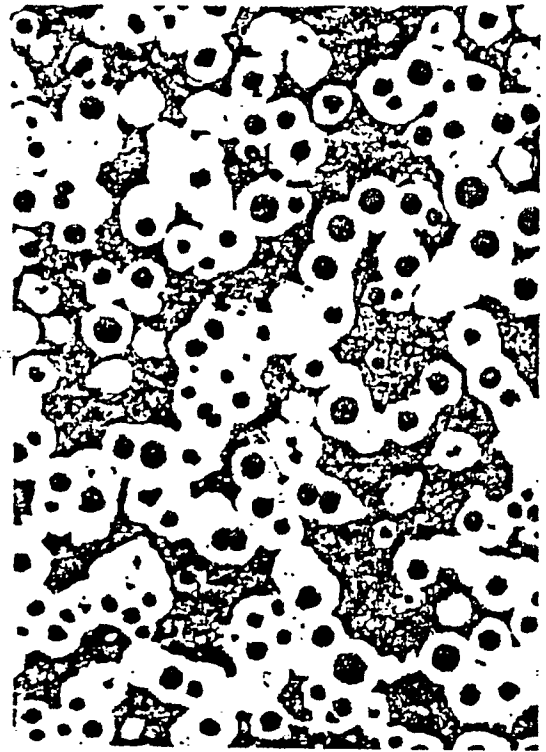
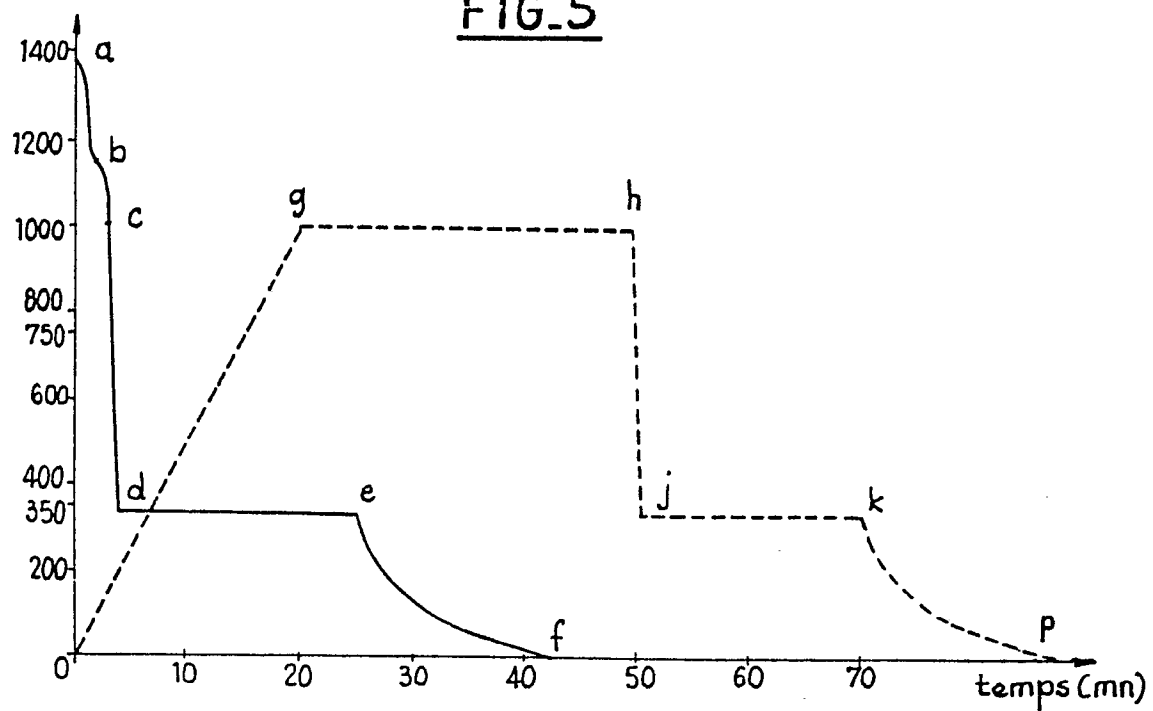


FIG. 8

température °C

FIG.5

température °C

FIG.6