(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication: **0 090 682**
A2

(12) DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: **83400378.2**

(22) Date de dépôt: **24.02.83**

(51) Int. Cl.³: **C 21 D 1/02**, C 21 D 9/00

(30) Priorité: **03.03.82 FR 8203659**

(43) Date de publication de la demande: **05.10.83**
Bulletin 83/40

(84) Etats contractants désignés: **AT CH DE FR GB IT LI NL SE**

(71) Demandeur: **INSTITUT DE RECHERCHES DE LA SIDERURGIE FRANCAISE (IRSID), 185, rue Président Roosevelt, F-78105 Saint Germain-en-Laye Cédex (FR)**

(72) Inventeur: **Desalos, Yves, 21, rue de la Croix de Fer, F-78100 Saint-Germain-en-Laye (FR)**

(74) Mandataire: **Ventavoli, Roger et al, INSTITUT DE RECHERCHES DE LA SIDERURGIE FRANCAISE (IRSID) 185, rue Président Roosevelt, F-78105 Saint-Germain-en-Laye (FR)**

(54) Procédé et installation de traitement thermique de barres en acier allié prêtes à l'emploi.

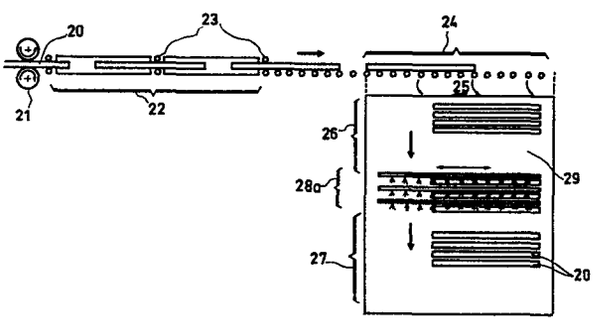
(57) Procédé et installation de traitement thermique de barres en acier allié prêtes à l'emploi, notamment pour la construction mécanique, de diamètre allant jusqu'à environ 150 mm; ce traitement, qui est effectué dans la chaude de laminage, comprend les trois étapes successives suivantes:

a) un refroidissement forcé sévère au défilé par lame d'eau 2 pour que la température moyenne de la section soit abaissée à environ 600-550°C sur une longueur minimale, par exemple inférieure à 30 m,

b) un refroidissement naturel à l'air sur refroidissoir 29 pour une certaine homogénéisation thermique de la section et un auto-revenu, de la martensite superficielle,

c) un deuxième refroidissement forcé sur le refroidissoir soit par pulvérisation d'eau en 28a, soit par immersion, au moins jusqu'à une température moyenne de l'ordre de 300°C, la fin du refroidissement pouvant s'effectuer à l'air en 27.

Ce traitement peut éventuellement être complété par un revenu classique.



EP 0 090 682 A2

PROCEDE ET INSTALLATION DE TRAITEMENT THERMIQUE DE BARRES EN ACIER ALLIE PRETES A L'EMPLOI

L'invention se situe dans le domaine des traitements thermiques des barres métalliques en fin de laminage et concerne plus spécialement l'obtention directe de structures de trempe (bainite, martensite) dans la partie utile de barres en acier, destinées notamment à la construction mécanique.

La sidérurgie livre actuellement des aciers alliés à usinabilité améliorée qui présentent, à l'état trempé et revenu, une usinabilité comparable à celle des aciers classiques de même composition mais à l'état recuit. Dès lors, la possibilité d'usiner certaines pièces à partir de barres ayant les caractéristiques finales d'emploi présente un intérêt économique considérable, notamment du fait des suppressions du recuit pour usinage sur ébauche, du traitement de trempe et revenu pour l'utilisateur, ou des reprises d'usinage par rectification.

Il en résulte une simplification des cycles de fabrication, une réduction des frais de traitements thermiques et un gain sur les délais d'exécution.

On peut de surcroît, réaliser l'économie de l'austénisation en procédant à la trempe des barres dans la "chaude" de laminage elle-même. Il est même possible d'obtenir en fin de laminage un état austénitique plus intéressant que celui résultant d'une austénitisation classique en raison d'une mise en solution plus complète des éléments d'addition au préchauffage, d'une taille de grain austénitique adaptable à la trempabilité désirée, et d'un état d'écrouissage de l'austénite, plus favorable au moment de la transformation $\gamma \rightarrow \alpha$.

Les raisons pour lesquelles ces traitements de barres ne sont guère développés jusqu'ici tiennent surtout à la maîtrise du refroidissement dans la chaude de laminage. Il faut savoir d'abord que les industries mécaniques sont surtout intéressées par des barres de diamètre important (50-150 mm) en nuances mi-dures, qui sont pratiquement les seules permettant d'obtenir à coeur de ces barres des résistances de l'ordre de $1000 N/mm^2$. Obtenir une structure de trempe à coeur de barres d'aussi fort diamètre exige un acier relativement trempant (42CD4, par exemple) et une vitesse de trempe élevée. Les risques de tapures sont alors importants, même si, la durée du traitement n'étant pas limitée, on peut adopter le milieu de trempe le moins sévère compatible avec le diamètre de la barre

et la trempabilité de la nuance d'acier.

La situation se complique encore pour les trempes au défilé juste après laminage. Il faut se rappeler que les plus importants coefficients d'échange thermique que l'on sache réaliser pratiquement sur barres lissées sont actuellement de l'ordre de $10^4 W/m^2.°C$ (soit 10^4 kcal/m^2.h.°C), et qu'il faudrait environ 20 secondes de traversée d'un milieu de trempe caractérisé par cette efficacité pour que la température moyenne d'une barre de 60 mm de diamètre passe de 900 à 400°C. (On rappelle que la température moyenne dans la section d'une barre de rayon R est définie par

$$\frac{1}{\pi R^2}\int_0^R 2\pi r.\theta(r).dr$$

où $\theta(r)$ est la température à la distance "r" de l'axe). Comme la vitesse de laminage de ces barres est couramment de quelques mètres par seconde, il faudrait des longueurs de trempe déraisonnables pour former de la martensite à coeur. La trempe directe en piscine d'eau serait, pour sa part, insuffisamment rapide pour les plus forts diamètres et risquerait de conduire à des cintrages de barre (du fait des dissymétries de traitement), ou à des tapures (du fait de la mise en tension de la couche périphérique fragile de martensite lors du gonflement lié à la transformation ultérieure du coeur).

L'invention a pour but l'obtention, sans cintrages ni tapures, de structures de trempe dans la section de barres en aciers alliés laminées prêtes à l'emploi présentant de forts diamètres.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de traitement consistant à faire subir à la barre laminée dans la chaude de laminage, une trempe étagée comprenant les trois étapes successives suivantes :

a) juste après le laminage, on soumet la barre au défilé à l'action d'un milieu de trempe extrêmement sévère, présentant un coefficient d'échange thermique de l'ordre de $10^4 W/m^2.°C$ de manière à porter sa température moyenne vers 600-550°C en un temps minimal,

b) on laisse ensuite refroidir la barre naturellement à l'air -ou dans un milieu faiblement refroidissant analoque- jusqu'à parvenir sensiblement à une réhomogénéisation thermique dans la section vers 550°C.

c) puis on soumet à nouveau la barre à un refroidissement forcé, de sévérité moins forte que celle mise en jeu dans l'étape a) pour que la température du coeur descende à 300°C ou en-dessous en un temps compatible avec les cinétiques de transformation bainitique de la nuance d'acier constitutive de la barre.

L'invention a également pour objet une installation pour la mise en

oeuvre du procédé comprenant, pour le refroidissement forcé sévère de l'étape a), une ou plusieurs boîtes à lame d'eau traversées par le produit en défilement et dans lesquelles la circulation du produit et de la lame d'eau sont colinéaires.

Avantageusement, et de façon isolée ou en combinaison avec les moyens précités, l'installation comprend, pour le refroidissement forcé plus modéré de l'étape c), des rampes oscillantes à pulvérisation d'eau, ou une piscine d'eau ou d'huile.

De préférence encore, l'installation comprend, pour l'homogénéisation thermique de l'étape b), un refroidissoir à air à déplacement à "pas de pélerin" sur lequel transitent les barres disposées parallèlement entre-elles.

Pour bien faire comprendre l'invention, on reprend ci-après en détail les trois étapes successives en se référant aux planches de dessins annexées sur lesquelles :

- la figure 1 représente un diagramme de transformation en refroidissement continu d'un acier de construction mécanique du type 42CD4 (0,42% de C, 0,7% de Mn, 1% de Cr, 0,20% de Mo) après une austénisation vers 850-900°C conférant à la structure austénitique une taille de grain de l'ordre de 20 μm ;

- la figure 2 représente schématiquement un mode de réalisation d'une installation de mise en oeuvre de l'invention ;

- la figure 3 représente schématiquement un autre mode de réalisation d'une telle installation ;

- la figure 4 représente schématiquement des exemples de conditions de transformation obtenues sur trois diamètres différents de barres en acier 42CD4 traités selon une variante simplifiée de l'invention.

- la figure 5 représente schématiquement des exemples de conditions de transformation obtenues sur trois diamètres différents de barres en acier 42CD4 traitées selon une variante complète du procédé selon l'invention.

La première étape du procédé, notée a), répond à deux objectifs :

- former une couche annulaire superficielle de martensite,

- éviter la formation de perlite dans la plus grande partie de la section de la barre.

Pour illustrer ces deux objectifs, la figure 1 montre, à titre d'exemple uniquement destiné à mieux faire comprende le domaine technique de l'invention, un diagramme, d'un usage courant en traitements ther-

miques, qui représente sur un graphique température-temps, les différents constituants micrographiques résultant, suivant les lois de refroidissement considérées, de la transformation $\gamma \rightarrow \alpha$ de l'austénite métastable repérée 1. Ainsi des lois de refroidissement rapides conduisent à la formation instantanée de martensite 2 dès que la température du métal descend en-dessous de la température Ms de l'acier (310°C dans l'exemple choisi). A l'opposé, des lois de refroidissement très lentes conduisent à la formation de ferrite 3 et perlite 4 à des températures supérieures à 600°C. Enfin, des lois de refroidissement intermédiaires conduisent à la formation de bainite 5 et d'une fraction volumique d'autant plus importante de martensite que la fin de refroidissement est accélérée.

Il faut se rappeler qu'en règle générale, une martensite revenue a une meilleure ténacité qu'une structure bainitique revenue à même niveau de résistance finale. De façon générale, si l'installation est équipée d'une station pour un revenu final, on recherchera, pour obtenir de bonnes caractéristiques mécaniques et améliorer l'homogénéité des structures dans la section, à obtenir dans la plus grosse partie de cette dernière des structures formées aux plus basses températures possibles. Pour guider dans le choix du cycle de refroidissement, les diagrammes de transformation du type de celui présenté à la figure 1 présentent toutefois un certain nombre de limites. D'abord, la forme du cycle thermique au-dessus de la température A_3 de l'acier où a lieu le début de transformation $\gamma \rightleftarrows \alpha$ (800°C dans le cas présenté) n'a généralement pas d'influence. On peut donc ne considérer les cycles thermiques qu'à partir de cette température, comme celà a été fait à la figure 1. Plus délicat est le fait que les conditions de transformation ne sont déterminées que pour les lois continues ayant servi à établir le diagramme. On ne peut donc en toute riqueur superposer à ce diagramme, pour prévoir les structures finales, des cycles thermiques complexes tels que ceux préconisés par l'invention. Ainsi lors d'une trempe sévère interrompue au défilé, une couche superficielle voit sa température chuter rapidement en-dessous du point Ms puis remonter au niveau de la température moyenne de la section en fin de trempe. Au contraire, le coeur de barre ne voit sa température baisser qu'après l'entrée dans le dispositif de trempe et n'atteindre que très lentement la température moyenne en fin de trempe. Toutefois, l'observation d'un diagramme tel que celui de la figure 1 suqère quelques remarques. On ne formera pas de ferrite-perlite dans ce cas particulier si tous les points de la section voient leur température

passer de 800 à 650°C en moins de 150 secondes. Par ailleurs, un domaine de métastabilité de l'austénite entre les températures (supérieures à 600°C) de formation de la perlite et celles (inférieures à 550°C) de formation de la bainite permettra une réhomogénéisation thermique naturelle de la barre vers 575°C sans transformation notable de l'austénite. Enfin, dans le cas présenté à la figure 1, des vitesses de refroidissement supérieures à 3°C/s entre 550 et 300°C sont nécessaires pour repousser les transformations de la bainite vers la martensite plus intéressante.

Pour revenir aux deux objectifs qui ont été assignés à la 1ère étape de refroidissement des barres, on indique :

- que l'épaisseur de martensite superficielle sera d'autant plus forte que la sévérité de trempe et le diamètre de barre seront élevés. Un coefficient d'échange thermique de 10^4 $W/m^2.°C$ donne, par exemple sur une barre de ϕ = 60 mm de diamètre, une couche de martensite d'épaisseur $\frac{\phi}{12}$ = 5 mm

- qu'un coefficient d'échange thermique de l'ordre de $10^4 W/m^2.°C$ permet d'éviter la formation de perlite sur des barres de diamètre allant jusqu'à 150 mm laminées dans la nuance 42CD4 correspondant au diagramme de la figure 1. Les durées de trempe entre 900°C et une température moyenne de 600°C seraient alors respectivement de 7,5, 17 et 35 s pour des diamètres de 60, 100 et 150 mm, ce qui permet d'envisager des longueurs de traitement raisonnables. Il faut d'ailleurs noter que, pour les plus forts diamètres, une augmentation du coefficient d'échange thermique serait aussi nécessaire qu'une augmentation de la trempabilité de l'acier (addition de manganèse, molybdène, bore ...).

Pour ce qui concerne maintenant la 2ème étape, ou 2ème phase du procédé, notée b), la réhomogénéisation thermique naturelle à l'air de la barre autour de 550°C dure généralement de 1 à 2 minutes et permet :

- au coeur de la barre, de voir la température passer en-dessous de 600°C sans transformation notable en perlite ou bainite,

- à la couche annulaire superficielle de martensite, de voir améliorer sa ténacité par un auto-revenu de l'ordre de la minute au-dessus de 500°C.

Il va sans dire que, pour certaines nuances moins trempantes que le 42CD4 présenté, on pourra chercher à obtenir à coeur de barre, lors de cette 2ème étape une fraction volumique importante de perlite fine formée vers 625-650°C. Les caractéristiques mécaniques de ces perlites fines,

notamment de celles durcies par microprécipitations, peuvent s'avérer satisfaisantes pour certaines applications et présentent l'intérêt de ne pas nécessiter de revenu final. Pour ces applications moins contraignantes que celles nécessitant le recours à des structures de trempe revenues, la 2ème étape de refroidissement naturel sera exceptionnellement prolongée jusqu'à température ambiante. Dans ce cas, l'étape c) est donc supprimée.

Enfin, au sujet de cette 3ème étape du traitement, notée c), on doit, après l'homogénéisation thermique de la phase précédente, et si l'on recherche des structures essentiellement martensitiques à coeur, soumettre la barre à un second refroidissement forcé permettant à la température du coeur de descendre en-dessous de 300°C en un temps compatible avec les cinétiques de transformation bainitique de l'acier considéré. De fait, les bainites "inférieures" (celles formées à des températures un peu supérieures à Ms) ont, après revenu, des caractéristiques mécaniques comparables à celle de la martensite, si bien qu'il suffit souvent d'accélérer le refroidissement entre 550 et 400°C. Pour des nuances particulièrement trempantes et (ou) des diamètres peu importants, un simple refroidissement naturel ou légèrement accéléré sera suffisant. A titre d'exemple, il suffit, dans le cas de la nuance 42CD4 présentée à la figure 1, d'un refroidissement à plus de 4 ou 5°C/s entre 550 et 300°C pour obtenir une structure essentiellement martensitique à coeur de barre.

Dans tous les cas, la couche annulaire superficielle de martensite obtenue dans la 1ère étape du traitement et auto-revenue dans la 2ème étape a un double rôle dans la 3ème étape de refroidissement forcé :

- elle réduit considérablement les risques de tapures lors d'une transformation martensitique ultérieure plus profonde,

- elle limite les risques de cintrage des barres par dissymétrie du refroidissement, puisqu'elle constitue une sorte de "corset" rigide annulaire.

Ce double rôle permet d'envisager pour la 3ème étape de refroidissement forcé des moyens de refroidissement moins exigeants en ce qui concerne la symétrie de révolution de la trempe que ceux utilisés dans la 1ère étape.

L'installation selon l'invention découle du procédé décrit ci-dessus. Elle comprend de préférence :

- pour la 1ère étape : au moins une boîte à lame d'eau, modulaire, à grande efficacité thermique, du type de celle décrite dans la demande de brevet français n° 79/14383, où le produit en défilement est enveloppé

dans une nappe d'eau circulant à vitesse soutenue colinéairement au produit. Eventuellement, la boîte à eau peut être remplacée par un moyen équivalent, comme un dispositif de pulvérisation d'eau, ayant une efficacité de refroidissement comparable.

- pour la 2ème étape : un refroidissoir à "pas de pélerin" permettant la réhomogénéisation naturelle pendant 1 à 2 minutes d'une ou plusieurs barres en parallèle.

- pour la 3ème étape : - soit un dispositif de rampes oscillantes à pulvérisation d'eau installé sur la seconde partie du refroidissoir précédent - soit une piscine d'eau ou d'huile alimentée en barres par le refroidissoir et permettant une sortie continue de ces barres (plan incliné par exemple).

Les modalités de fonctionnement de l'installation pré-décrite dépendent, au niveau de chaque étape de refroidissement, du diamètre de barre considéré, de la vitesse de sortie du laminoir, de la trempabilité de la nuance d'acier considéré et des structures désirées à coeur des barres.

Ainsi, au niveau de la première étape de refroidissement on a vu les durées de refroidissement nécessaires selon le diamètre des barres pour un coefficient d'échange thermique du dispositif de trempe de l'ordre de $10^4 W/m^2.°C$. Connaissant les vitesses de sortie en laminage et les températures de fin de laminage, on peut en déduire les longueurs de trempe nécessaires.

Au niveau de la 2ème étape on peut, soit rechercher un auto-revenu maximum de la couche périphérique en laissant le coeur se transformer en perlite, soit éviter au maximum la transformation à coeur si la nuance et le diamètre traités le permettent.

Enfin, au niveau de la 3ème étape si on cherche à obtenir des structures essentiellement martensitiques, le mode de refroidissement sera d'autant plus sévère que le diamètre de barre sera important et les cinétiques de transformation en bainite supérieure rapides (importance de la trempabilité de l'acier considéré entre 600 et 300°C). Dans tous les cas, comme cela a déjà été précisé, il est peu souhaitable de poursuivre cette phase de refroidissement en-dessous de 250°C (température à coeur). Un cas limite est celui où la vitesse de défilement de la barre et la trempabilité de la nuance considérée permet l'évolution suivante de la température moyenne de la section : fin de laminage vers 900°C, traversée d'une première boîte à lame d'eau de 900 à 600°C, refroidissement naturel en 1 à 2 minutes, traversée d'une seconde boîte à lame d'eau de 600 à

400-300°C avant le revenu final. Un autre cas limite est celui où, des structures perlitiques à coeur étant admises, les 2ème et 3ème étapes sont des refroidissements naturels à l'air sur refroidissoir classique.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description qui va suivre en référence aux figures 2, 3, 4 et 5.

A la figure 2, la barre 20 sort de la dernière cage du laminoir 21 pour pénétrer dans une ou deux boîtes 22 à circulation d'une lame d'eau du type de celles décrites dans la demande de brevet français n° 79/14383. Cette barre est extraite à vitesse régulière des boîtes à eau grâce aux extracteurs 23, puis ralentie jusqu'à l'arrêt sur une ligne de rouleaux de freinage 24. Un dispositif à basculement 25 permet de déposer la barre sur un refroidissoir 29 à longerons mobiles effectuant un déplacement en "pas de pélerin" permettant d'assurer à la barre une translation et une rotation lente sur elle-même. Le refroidissoir 29 comporte trois zones, repérées 26, 27 et 28a. La zone 26 correspond au refroidissement naturel de l'étape b) selon l'invention. La zone 27 est un refroidissement naturel d'évacuation des barres après la phase de refroidissement forcé assurée sur la zone 28a, mais on pourra éventuellement faire débuter le revenu final dès cette zone 27. Enfin, la zone 28a correspond au refroidissement forcé de l'étape c) selon l'invention. Ce refroidissement est, dans cet exemple, assuré par des rampes de pulvérisation d'eau parallèles aux barres et animées d'un mouvement longitudinal de va et vient suffisant pour que le traitement soit homogène le long des barres.

La figure 3 correspond très exactement au descriptif de la figure 2, à l'exception du refroidissement forcé de l'étape c) qui est réalisé en 28b par immersion progressive en piscine d'eau ou d'huile. Un dispositif avantageux de plans inclinés non représenté permet l'introduction et l'extraction progressive des barres.

A titre d'exemple, on a cherché, grâce à une installation telle que celle schématisée à la figure 3, à obtenir à coeur d'une barre de 60 mm de diamètre une résistance mécanique de 1000 N/mm^2 et une résilience Charpy V de 60 J/cm^2 sur un acier type 42CD4.

La figure 4, sur un diagramme température-temps, représente les conditions de transformation $\gamma \rightarrow \alpha$ le long des lois thermiques obtenues à coeur de barres en acier 42CD4 de diamètres respectifs de 60 mm pour la loi repérée "41", de 100 mm pour la loi repérée "42", et de 150 mm pour la loi repérée "43". Ces lois thermiques correspondent aux traitement suivants:

- un passage en boîte à lame d'eau caractérisée par un coefficient d'échange moyen de l'ordre de 10^4 W/m^2.°C, de manière que la température moyenne de chaque barre passe rapidement de 900°C à 600°C (étape a) selon l'invention).

- puis un refroidissement naturel à l'air jusqu'à l'ambiante (étape b). Le refroidissement forcé ultérieur - étape c) - a été volontairement supprimé dans ce cas.

On a représenté sur la figure 4 :

- les cycles thermiques 41, 42 et 43 à partir de 800°C (température A_3 de l'acier),
- la ligne, repérée 44, de début de transformation de l'austénite,
- la ligne, repérée 45, correspondant à 25 % de transformation $\gamma \rightarrow \alpha$,
- la ligne, repérée 46, correspondant à 50 % de transformation,
- la ligne, repérée 47, correspondant à 75 % de transformation,
- la ligne, repérée 48, correspondant à la fin de la transformation.

La figure 5 correspond aux mêmes représentations que la figure 4, mais avec une 3ème étape de refroidissement selon l'invention (étape c) caractérisée par un coefficient d'échange thermique de 10^3 W/m^2.°C.

La comparaison des figures 4 et 5 montre que l'accélération du refroidissement de la 3ème étape a permis d'obtenir à coeur des trois diamètres considérés plus de 50 % de structures formées en-dessous de 300°C (martensite).

Pour la barre de 60 mm de diamètre de la figure 4, les conditions de transformation bainitique se sont réalisées sensiblement du coeur jusqu'à $\frac{\Phi}{15} \simeq 4$ mm de la peau, la couche périphérique annulaire étant constituée de martensite auto-revenue. Un revenu ultérieur d'une heure à 500°C sur cette barre a permis d'obtenir une résistance mécanique à peu près uniforme dans toute la section et voisine de 1 000 N/mm^2. Cependant, la résilience Charpy V mesurée à coeur de barre n'a été que de 40 J/cm^2 à température ambiante.

En optant pour un traitement complet selon l'invention comportant la même première étape de refroidissement que précédemment, une étape b) correspondant à 1 minute de refroidissement naturel vers 600-550°C, et une étape c) correspondant à une trempe jusqu'à 100°C caractérisée par un coefficient d'échange moyen de l'ordre de 10^3W/m^2.°C, on suit, à coeur d'une barre de ϕ 60 mm, la loi 41 de la figure 5. La transformation est

alors entièrement martensitique sur toute la section, (une trempe finale à l'huile, nettement moins efficace, aurait encore conduit à 70 % de martensite à coeur). Pour les barres de 100 et 150 mm de diamètre, près des trois quart de la transformation à coeur s'effectuent en-dessous de 400°C avec près de 50 % de martensite. Dans tous les cas, un revenu d'une heure à 600°C a permis d'obtenir une résistance de l'ordre de 1000 N/mm^2 et une résilience Charpy V à l'ambiante supérieure à 60 J/cm^2.

Il est clair, d'après les exemples précités, que le procédé selon l'invention permet une grande souplesse de traitement selon le diamètre des barres à traiter et le niveau de caractéristiques mécaniques désiré. Il permet également de réduire au maximum l'utilisation d'éléments d'addition dans l'acier en se prêtant bien, dans sa version la plus générale, à la mise en oeuvre de nuances économiques ayant seulement un "nez perlitique" (durée d'incubation de la transformation $\gamma \rightarrow \alpha$ vers 600°C) relativement dégagé et une cinétique de transformation lente dans le domaine de la bainite supérieure (nuances au Mn-B, etc...).

En outre, le procédé selon l'invention se prête également bien à la valorisation d'opération de laminage terminée à basse température (vers 850°C), qui permettent de conserver une austénite écrouie et non re-cristallisée au moment de la transformation $\gamma \rightarrow \alpha$. L'héritage des défauts cristallins de l'austénite écrouie sera d'autant plus intéressant que l'on passera rapidement à des températures où la restauration de l'austénite est difficile, puis à des structures finales de trempe.

REVENDICATIONS

1°) Procédé de traitement thermique de barres en acier allié prêtes à l'emploi, notamment pour la construction mécanique, caractérisé en ce qu'il consiste à soumettre la barre, dans la chaude de laminage, à une trempe étagée comprenant les trois étapes successives suivantes :

a) juste après le laminage, on soumet la barre au défilé à un refroidissement forcé sévère présentant par un coefficient d'échange thermique de l'ordre de $10^4 W/m^2.°C$ de manière à abaisser rapidement la température moyenne de la section de la barre jusqu'à environ 600-550°C,

b) on laisse ensuite refroidir la barre naturellement à l'air jusqu'à parvenir sensiblement à une réhomogénéisation thermique dans la section vers 550°C,

c) puis on soumet à nouveau la barre à un refroidissement forcé, de sévérité moins forte que celle mise en jeu dans la phase a), pour que la température du coeur descende en-dessous de 300°C environ en un temps compatible avec les cinétiques de transformation bainitique de la nuance d'acier mise en oeuvre.

2°) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la transformation allotropique du coeur de barre s'effectue pendant les étapes a) et b) en perlite fine et que l'étape b) de refroidissement naturel à l'air est prolongée jusqu'à température ambiante au détriment de la l'étape c.

3°) Installation de mise en oeuvre du procédé selon les revendications 1 et 2, caractérisée en ce que le refroidissement forcé au défilé de l'étape a) est réalisé, suivant le diamètre de la barre laminée, à la traversée d'au moins une boîte à eau (22) où la barre est enveloppée dans une lame d'eau circulant colinéairement avec la barre.

4°) Installation de mise en oeuvre du procédé selon les revendications 1 et 2, caractérisée en ce que le refroidissement forcé de l'étape a) est réalisé par une pulvérisation d'eau sur la barre en défilement, pulvérisation d'eau assurant un coefficient d'échange thermique moyen supérieur à $5.10^3 W/m^2.°C$.

5°) Installation de mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, caractérisée en ce que les refroidissements des étapes b) et c) s'effectuent sur un refroidissoir à longerons mobiles assurant une translation régulière "à pas de pélerin" et une rotation lente sur elle-même de la barre, ledit refroidissoir étant équipé de moyens de refroidissement

forcé.

6) Installation selon la revendication 5, caractérisée en ce que les moyens de refroidissement forcé équipant le refroidissoir sont constitués par des rampes de pulvérisation d'eau.

7) Installation selon la revendication 6, caractérisée en ce que lesdites rampes sont animées d'un mouvement de "va et vient" parallèlement à l'axe de la barre à refroidir.

8) Installation selon la revendication 5, caractérisée en ce que les moyens de refroidissement forcé équipant le refroidissoir sont constitués par une piscine d'eau ou d'huile.

9) Installation selon la revendication 8, caractérisée en ce que la piscine comporte deux plans inclinés pour assurer respectivement l'introduction de l'extraction progressive des barres à refroidir.

10) Installation selon l'une quelconque des revendications 5 à 9, caractérisée en ce qu'elle comprend une station de revenu thermique des barres placée après le refroidissoir.

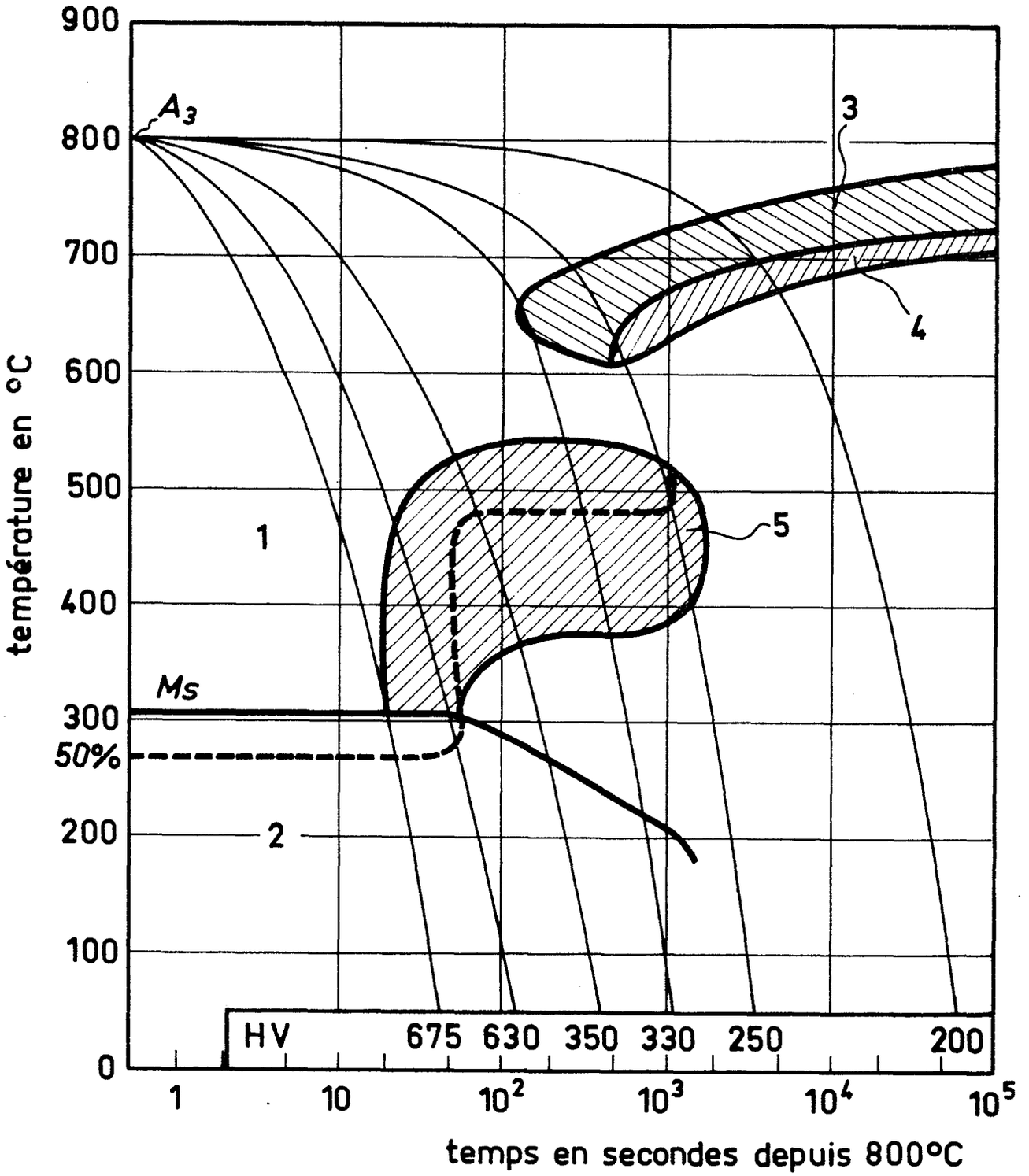

900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
température en °C
A_3
Ms
50%
1
2
3
4
5
HV
675 630 350 330 250 200
1
10
10^2
10^3
10^4
10^5
temps en secondes depuis 800°C

*Fig_1_*

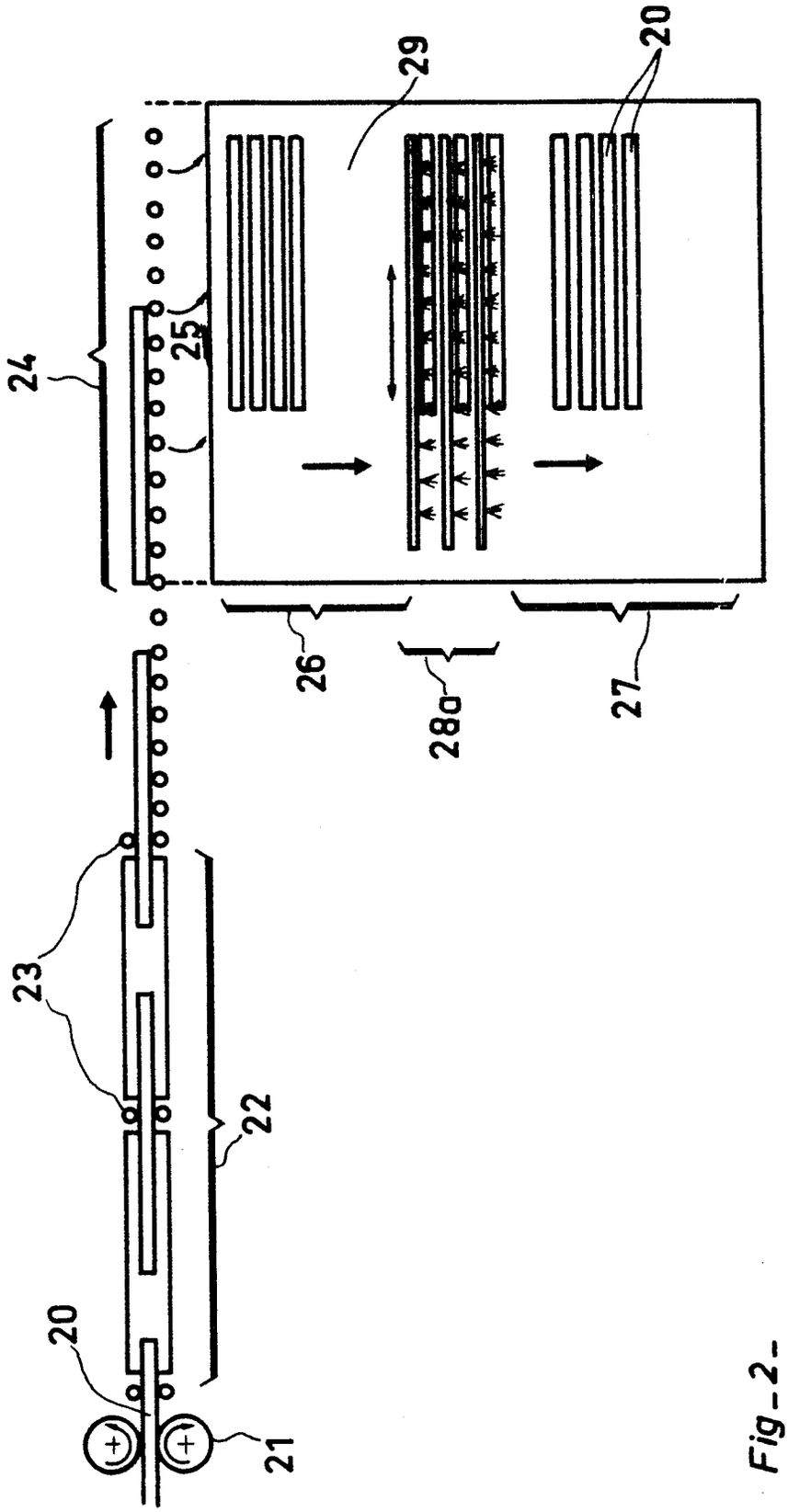


Fig_2_

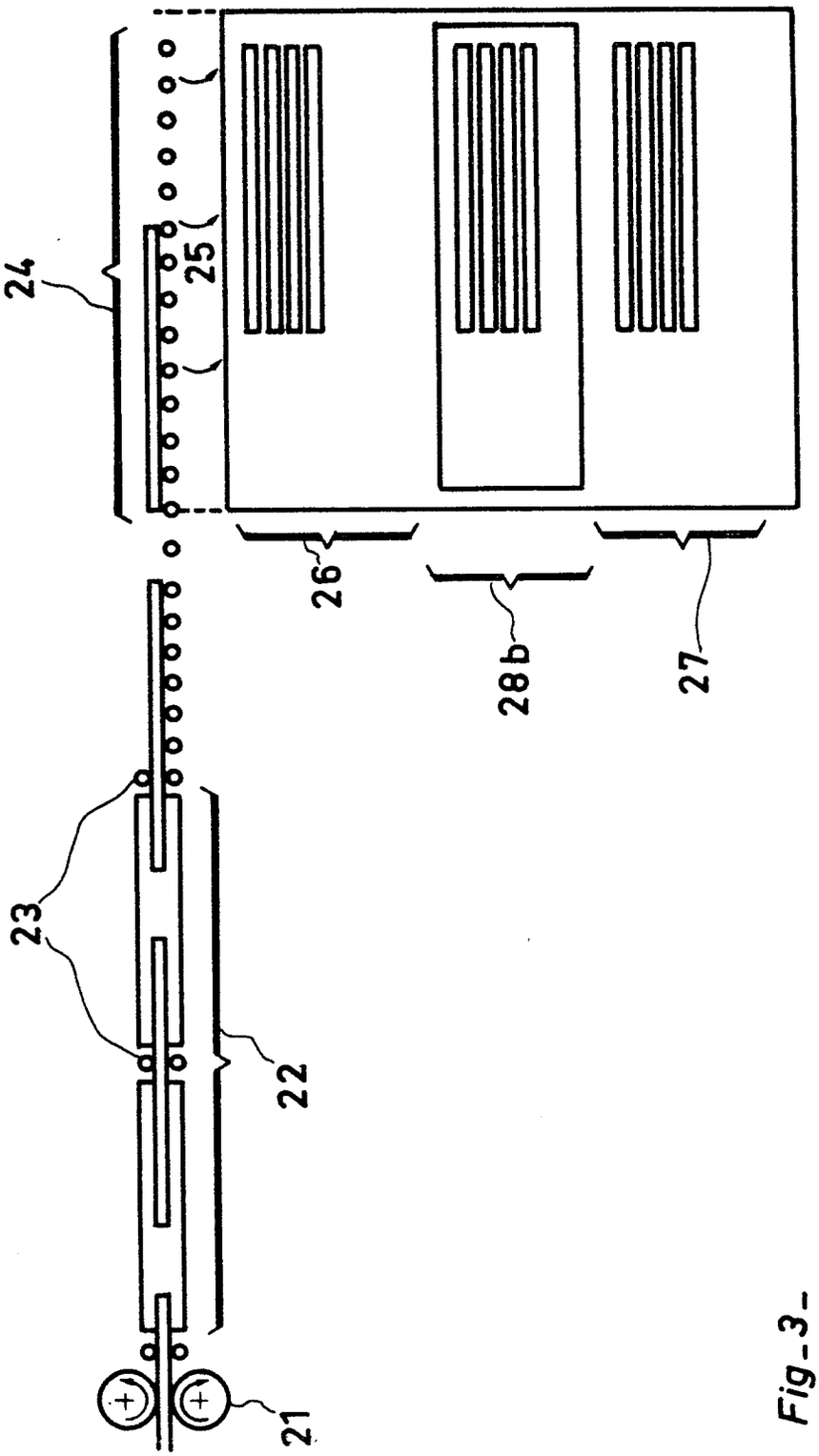


Fig_3_

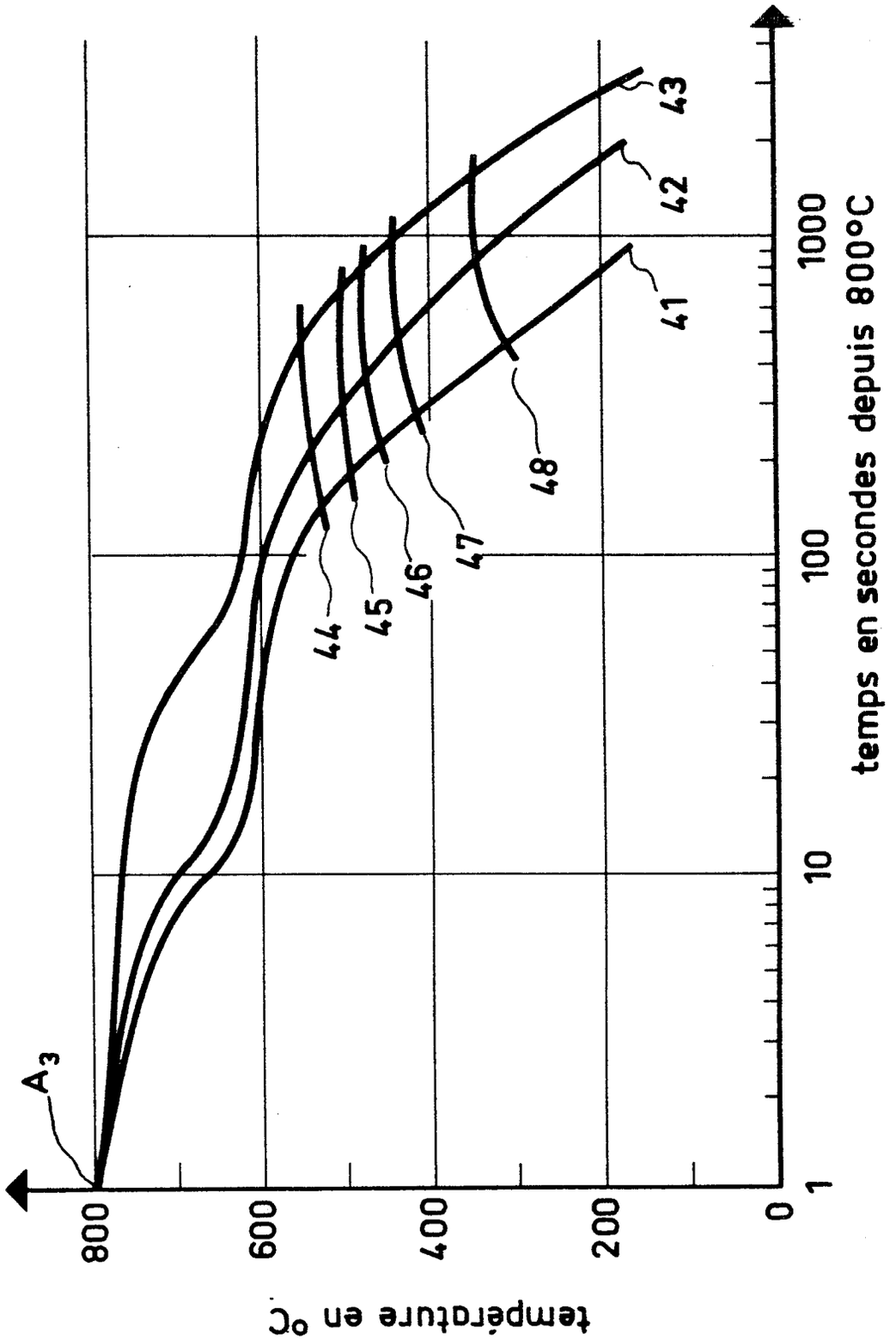

température en °C
800
600
400
200
0
A3
1
10
100
1000
temps en secondes depuis 800°C
41
42
43
44
45
46
47
48

Fig_4_

PL.5/5

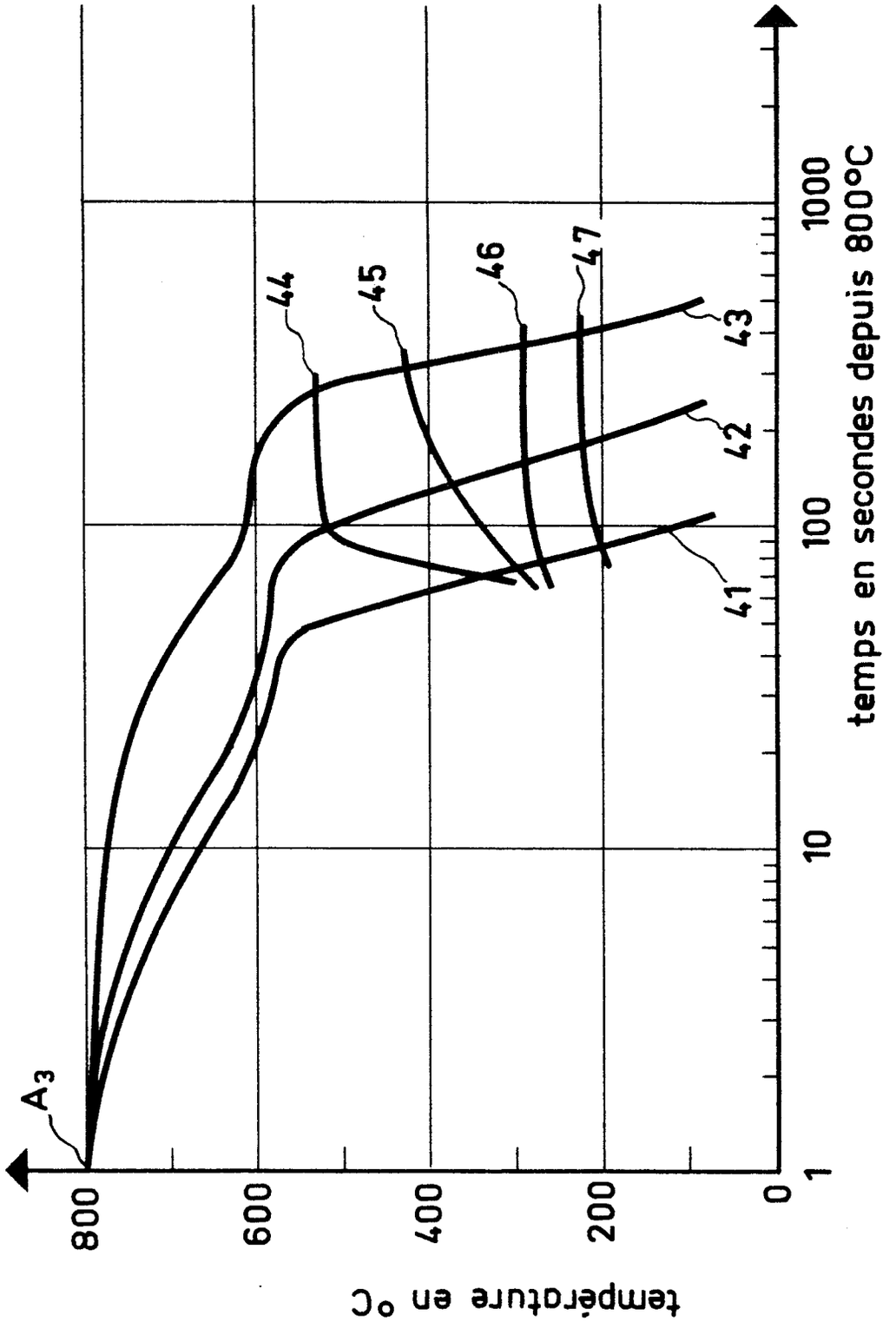

température en °C
800
600
400
200
0
1
10
100
1000
temps en secondes depuis 800°C
A3
41
42
43
44
45
46
47

Fig_5_