

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 748 877 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
07.03.2001 Bulletin 2001/10

(51) Int Cl.7: **C22C 38/12, C22C 38/14**

(21) Numéro de dépôt: **96401263.7**

(22) Date de dépôt: **11.06.1996**

(54) **Procédé de réalisation d'une bande de tôle d'acier laminée à chaud à très haute limite d'élasticité et tôle d'acier obtenue**

Verfahren zur Herstellung von warmgewalztem Stahlblech mit sehr hoher Elastizitätsgrenze und Stahlblech

Process for manufacturing a hot rolled steel sheet with very high elastic limit and steel sheet produced accordingly

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU NL PT SE

(30) Priorité: **15.06.1995 FR 9507122**

(43) Date de publication de la demande:
18.12.1996 Bulletin 1996/51

(73) Titulaire: **SOLLAC S.A.**
92800 Puteaux (FR)

(72) Inventeurs:
• **Bano, Xavier**
13800 Istres (FR)
• **Malta, Maurice**
13500 Martigues (FR)

• **Fiori, Stéphane**
13800 Istres (FR)

(74) Mandataire: **Bouget, Lucien et al**
Cabinet Lavoix
2, Place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cédex 09 (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 535 238 WO-A-95/26424
DE-A- 2 517 164 FR-A- 2 133 952
US-A- 3 976 514

• **H. Berns, Stahlkunde für Ingenieure, 2. ed. juillet 1993, Springer Verlag, Berlin, p. 109-111**

EP 0 748 877 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

[0001] L'invention concerne un procédé de réalisation d'une bande de tôle d'acier laminée à chaud à très haute limite d'élasticité utilisable notamment pour la mise en forme de pièces et présentant une transition fragile/ductile à une température inférieure à -50°C.

[0002] Dans le domaine de la réalisation de tôle d'acier laminées à chaud en acier dont les caractéristiques sont obtenues par un laminage contrôlé, on connaît des produits dans une gamme d'aciers à limite d'élasticité élevée, c'est-à-dire comprise entre 315 MPa et 700 MPa.

[0003] Le laminage contrôlé permet de maintenir dans l'acier de la tôle un faible niveau de carbone équivalent et d'obtenir des propriétés mécaniques voulues par affinage du grain de structure ferritique et précipitation cohérente de carbonitride de niobium, le niobium pouvant être associé avec du titane ou du vanadium.

[0004] Par exemple, un produit tel qu'une tôle en acier ULCB (structure bainitique à bas carbone) présente une limite d'élasticité pouvant être supérieure à 700 MPa et une température de transition fragile/ductile d'environ -60°C. Cependant, le pliage à 180° sans défaut de la tôle d'acier est limité à des diamètres intérieurs de pliage supérieurs à 2,5 fois l'épaisseur de la tôle dans le sens de laminage et supérieur à 3 fois l'épaisseur de la tôle dans le sens travers de laminage.

[0005] Dans un autre exemple, un produit tel qu'une tôle en acier micro-allié présente une limite d'élasticité supérieure à 700 MPa et peut être plié à 180° sans générer de défaut pour un diamètre de pliage inférieur à deux fois l'épaisseur de la tôle mais cet acier présente l'inconvénient d'avoir une température de transition ductile/fragile comprise entre -20°C et -40°C.

[0006] On connaît par les US-A-3,976,514 et FR-A-2.133.952 des aciers à haute résistance et ayant une bonne résilience en particulier à basse température. Pour obtenir ces propriétés, les compositions des aciers doivent renfermer des éléments d'addition tels que des terres rares ou simultanément du zirconium, du titane et du niobium. Ces additions peuvent être coûteuses et nécessiter des conditions d'élaboration particulières.

[0007] L'invention a pour but de présenter un procédé de réalisation d'une bande de tôle d'acier laminée à chaud à très haute limite d'élasticité utilisable notamment pour la mise en forme de pièces et présentant une possibilité de pliage à 180° sans défaut sous un diamètre de pliage inférieur à deux fois l'épaisseur de la tôle et une transition fragile/ductile à une température inférieure à -50°C.

[0008] L'invention a pour objet un procédé de réalisation d'une bande de tôle d'acier laminée à chaud d'épaisseur comprise entre 2,5 mm et 10 mm, dont la limite d'élasticité est supérieure à 700 MPa et qui peut être pliée à 180° sans défaut sous un diamètre intérieur de pliage inférieur à deux fois l'épaisseur de la tôle, utilisable notamment pour la mise en forme de pièces et

présentant une transition fragile/ductile à une température inférieure à -50°C, caractérisé en ce que l'acier de composition pondérale suivante :

- 5 - carbone $\leq 0,1\%$,
- $1\% \leq \text{manganèse} \leq 1,5\%$
- silicium $\leq 0,3\%$
- phosphore $\leq 0,03\%$,
- soufre $\leq 0,01\%$,
- 10 - $0,01\% \leq \text{aluminium} \leq 0,1\%$,
- $0,04\% \leq \text{niobium} \leq 0,06\%$,
- $0,1\% \leq \text{titane} \leq 0,15\%$,
- $0,1\% \leq \text{molybdène} \leq 0,2\%$,

15 le reste, à l'exception des impuretés inhérentes à la fabrication, étant constitué par du fer, est, après laminage à chaud, soumis à un refroidissement contrôlé à une vitesse de refroidissement comprise entre 20°C par seconde et 100°C par seconde jusqu'à une température de fin de refroidissement comprise entre 550°C et 750°C, de façon à obtenir une microstructure de ferrite et bainite granulaire durcie par la précipitation des éléments de micro-alliage niobium-titane.

[0009] D'autres caractéristiques de l'invention sont les suivantes :

- la température de fin de laminage à chaud est de préférence supérieure à 850°C ou même 900°C ;
- le temps séparant la fin du laminage à chaud et le début du refroidissement contrôlé est de préférence inférieur à 10 secondes et par exemple de l'ordre de 1,5 seconde.

[0010] L'invention concerne également une tôle d'acier telle que définie dans la revendication 4.

[0011] Selon l'invention, l'acier de la tôle a la composition pondérale suivante :

- carbone $\leq 0,1\%$,
- 40 - $1\% \leq \text{manganèse} \leq 1,5\%$,
- silicium $\leq 0,3\%$,
- phosphore $\leq 0,03\%$,
- soufre $\leq 0,01\%$,
- $0,01\% \leq \text{aluminium} \leq 0,1\%$,
- 45 - $0,04\% \leq \text{niobium} \leq 0,06\%$,
- $0,1\% \leq \text{titane} \leq 0,15\%$,
- $0,1\% \leq \text{molybdène} \leq 0,2\%$.

Après laminage à chaud, la tôle est soumise à un refroidissement contrôlé depuis une température de préférence supérieure à 850°C ou même 900°C à une vitesse de refroidissement comprise entre 20°C par seconde et 100°C par seconde jusqu'à une température de fin de refroidissement comprise entre 550°C et 750°C, le temps séparant la fin du laminage à chaud et le début du refroidissement étant de préférence inférieur à 10 secondes.

[0012] La description qui suit et les figures annexées,

le tout donné à titre d'exemple non limitatif, feront bien comprendre l'invention.

[0013] La figure 1 est une courbe montrant de manière schématique, selon le procédé de l'invention, la variation de température en fonction du temps, imposée à la bande de tôle d'acier laminée à chaud.

[0014] La figure 2 présente des courbes de transition fragile/ductile pour une tôle d'acier de 5 mm d'épaisseur, transition fragile/ductile mesurée dans le sens long et dans le sens travers de la bande de tôle laminée à chaud.

[0015] Le procédé selon l'invention concerne la réalisation d'une bande de tôle d'acier laminée à chaud à très haute limite d'élasticité utilisable notamment pour la mise en forme de pièces et présentant une transition fragile/ductile à basse température. Dans un exemple d'application selon l'invention, l'acier de base a la composition pondérale suivante :

- $0,06 \% \leq \text{carbone} \leq 0,08 \%$,
- $1,4 \% \leq \text{manganèse} \leq 1,5 \%$,
- $0,2 \% \leq \text{silicium} \leq 0,26 \%$,
- $\text{phosphore} \leq 0,02 \%$,
- $\text{soufre} \leq 0,005 \%$,
- $0,02 \% \leq \text{aluminium} \leq 0,06 \%$,
- $0,055 \% \leq \text{niobium} \leq 0,06 \%$,
- $0,110 \% \leq \text{titane} \leq 0,14 \%$,
- $0,130 \% \leq \text{molybdène} \leq 0,170 \%$.

[0016] La composition de base permet d'obtenir une microstructure de ferrite et bainite granulaire durcie par la précipitation des éléments de microalliage niobium-titane.

[0017] Le procédé de laminage selon l'invention vise à obtenir une bonne recristallisation des grains austénitiques en sortie des cages du laminoir permettant ainsi l'obtention d'une structure équiaxe.

[0018] La structure de l'acier de la bande de tôle permet d'obtenir des allongements élevés supérieurs à 15 % pouvant atteindre 20 % et des pliages à 180° sans défaut avec des diamètres intérieurs de pliage inférieurs à deux fois l'épaisseur de la tôle.

[0019] Dans le procédé, la température de la fin de laminage est supérieure à 850°C, et de préférence de 900°C afin d'une part, de limiter la précipitation des éléments de microalliage induite par le laminage à chaud et d'autre part, de profiter au maximum de leur effet durcissant au cours du refroidissement contrôlé.

[0020] Le refroidissement contrôlé est imposé à la bande de tôle laminée à chaud après un intervalle de temps inférieur à 10 secondes entre la fin du laminage à chaud et le début du refroidissement contrôlé. De préférence, l'intervalle de temps est de l'ordre de 1,5 seconde, ce qui assure une taille de grains très fine et une limite d'élasticité élevée.

[0021] Les vitesses de refroidissement contrôlées sont choisies entre 20°C par seconde et 100°C par seconde en fonction de l'épaisseur de la bande de tôle à

traiter. Par exemple, la vitesse de refroidissement contrôlée est, en moyenne, de 40°C par seconde pour une bande de tôle d'environ 5 mm d'épaisseur. Dans ces conditions, il y a précipitation durcissante des éléments de microalliage, ce qui permet d'obtenir une limite d'élasticité supérieure à 700 MPa, soit 740 MPa.

[0022] La température de fin de refroidissement contrôlé est comprise entre 550°C et 750°C et de préférence de 650°C, ce qui assure une précipitation durcissante des éléments de microalliage.

[0023] La figure 1 est une courbe schématisant, selon le procédé de l'invention, la variation de température en fonction du temps, imposée à la bande de tôle d'acier après laminage à chaud. Après un laminage à une température supérieure à 850°C représenté par la portion de courbe "a", une période de moins de 10 secondes, représentée par la portion de courbe "b", est demandée avant le refroidissement contrôlé de la bande de tôle laminée à chaud qui est représenté par la portion de courbe "c".

[0024] Lorsque la bande de tôle atteint la température de fin de refroidissement de 550 à 750°C, elle est bobinée comme schématisé en "d" sur la figure.

[0025] La figure 2 présente deux courbes A et B de transition fragile/ductile, c'est-à-dire des courbes donnant l'énergie de rupture d'une éprouvette prélevée dans une tôle en fonction de la température. Les courbes A et B sont relatives à une tôle d'acier de 5 mm d'épaisseur et la transition fragile/ductile est mesurée respectivement dans le sens long et dans le sens travers de la tôle laminée à chaud. La bande de tôle d'acier selon l'invention ne présente pas de transition fragile/ductile dans le domaine de température compris entre +20°C et -80°C. Toutes les ruptures sont donc ductiles jusqu'à -80°C.

[0026] La température de transition fragile/ductile est donc inférieure à -80°C.

[0027] Le procédé selon l'invention permet la réalisation d'une tôle d'acier laminée à chaud d'épaisseur comprise entre 2,5 et 10 mm, tôle dont l'acier possède une limite d'élasticité supérieure à 700 MPa. La tôle d'acier peut être soumise à un pliage à 180° sans défaut, le diamètre intérieur du pliage pouvant être inférieur à deux fois l'épaisseur de la tôle.

[0028] La faible teneur en carbone équivalent de 0,4 % et la faible teneur en manganèse confèrent à l'acier une excellente soudabilité.

[0029] Le titane participe au durcissement par précipitation sous la forme de TiC.

[0030] Le molybdène permet après précipitation des éléments de microalliage sous forme de carbure, de limiter la diffusion de carbone à haute température assurant ainsi l'obtention de précipités fins dans la matrice ferritique et l'abaissement de la température de transition fragile/ductile à une température toujours située en dessous de -50°C dans le cas d'un acier selon la composition définissant l'invention.

[0031] La bande de tôle laminée à chaud selon l'in-

vention peut être utilisée pour la fabrication de pièces pliées profilées ou embouties d'épaisseur réduite pour leur allégement et/ou de pièces ayant de meilleures caractéristiques mécaniques en fatigue. La faible température de transition fragile/ductile offre la possibilité d'un fonctionnement de pièces d'équipement, entrant par exemple dans la construction de grues, dans un domaine de température très bas sans risque de rupture fragile.

Revendications

1. Procédé de réalisation d'une bande de tôle d'acier laminée à chaud d'épaisseur comprise entre 2,5 mm et 10 mm, dont la limite d'élasticité est supérieure à 700 MPa et qui peut être pliée à 180° sans défaut sous un diamètre intérieur de pliage inférieur à deux fois l'épaisseur de la tôle, utilisable notamment pour la mise en forme de pièces et présentant une transition fragile/ductile à une température inférieure à -50°C, caractérisé en ce que l'acier de composition pondérale suivante :

- carbone $\leq 0,1\%$,
- $1\% \leq$ manganèse $\leq 1,5\%$
- silicium $\leq 0,3\%$
- phosphore $\leq 0,03\%$,
- soufre $\leq 0,01\%$,
- $0,01\% \leq$ aluminium $\leq 0,1\%$,
- $0,04\% \leq$ niobium $\leq 0,06\%$,
- $0,1\% \leq$ titane $\leq 0,15\%$,
- $0,1\% \leq$ molybdène $\leq 0,2\%$,

le reste, à l'exception des impuretés inhérentes à la fabrication, étant constitué par du fer, est, après laminage à chaud, soumis à un refroidissement contrôlé à une vitesse de refroidissement comprise entre 20°C par seconde et 100°C par seconde jusqu'à une température de fin de refroidissement comprise entre 550°C et 750°C, de façon à obtenir une microstructure de ferrite et bainite granulaire durcie par la précipitation des éléments de micro-alliage niobium-titane.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la température de fin de laminage à chaud est supérieure à 850°C.

3. Procédé selon les revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le temps séparant la fin du laminage à chaud et le début du refroidissement contrôlé est inférieur à 10 secondes.

4. Tôle d'acier laminée à chaud d'une épaisseur comprise entre 2,5 mm et 10 mm ayant une limite d'élasticité supérieure à 700 MPa et qui peut être pliée à 180° sans défaut sous un diamètre intérieur de plia-

ge inférieur à deux fois l'épaisseur de la tôle, utilisable notamment pour la mise en forme de pièces et présentant une transition fragile/ductile à une température inférieure à -50°C, tôle obtenue par le procédé selon les revendications 1 à 3, caractérisée en ce que la composition pondérale suivante :

- carbone $\leq 0,1\%$,
- $1\% \leq$ manganèse $\leq 1,5\%$
- silicium $\leq 0,3\%$
- phosphore $\leq 0,03\%$,
- soufre $\leq 0,01\%$,
- $0,01\% \leq$ aluminium $\leq 0,1\%$,
- $0,04\% \leq$ niobium $\leq 0,06\%$,
- $0,1\% \leq$ titane $\leq 0,15\%$,
- $0,1\% \leq$ molybdène $\leq 0,2\%$,

le reste, à l'exception des impuretés inhérentes à la fabrication, étant constitué par du fer, et comportant une microstructure de ferrite et bainite granulaire durcie par la précipitation des éléments de micro-alliage niobium-titane.

Claims

1. Process for manufacturing a strip of hot rolled steel sheet of thickness lying between 2.5 mm and 10 mm, of which the elastic limit is greater than 700 MPa and which can be bent through 180° without failure with an inside diameter of bending less than twice the thickness of the sheet, capable of use in particular for making shaped articles and having a brittle/ductile transition at a temperature lower than -50°C, characterised in that the steel of the following composition by weight:

- carbon $\leq 0.1\%$
- $1\% \leq$ manganese $\leq 1.5\%$
- silicon $\leq 0.3\%$
- phosphorus $\leq 0.03\%$,
- sulfur $\leq 0.01\%$,
- $0.01\% \leq$ aluminium $\leq 0.1\%$,
- $0.04\% \leq$ niobium $\leq 0.06\%$,
- $0.1\% \leq$ titanium $\leq 0.15\%$,
- $0.1\% \leq$ molybdenum $\leq 0.2\%$,

the balance, apart from impurities inherent in manufacture, being constituted by iron, is, after hot rolling, subjected to controlled cooling at a cooling rate lying between 20°C per second and 100°C per second to a final cooling temperature lying between 550°C and 750°C, in such a way as to obtain a microstructure of ferrite and granular bainite hardened by the precipitation of the niobium-titanium micro-alloy elements.

2. Process according to Claim 1, characterised in that

the temperature at the end of hot rolling is higher than 850°C.

3. Process according to Claims 1 and 2, characterised in that the time interval between the end of hot rolling and the start of controlled cooling is less than 10 seconds.

4. Hot rolled steel sheet having a thickness lying between 2.5 mm and 10 mm and having an elastic limit greater than 700MPa and which can be bent through 180° without failure with an inside diameter of bending less than twice the thickness of the sheet, capable of use in particular for shaping articles and having a brittle/ductile transition at a temperature below -50°C, the sheet being obtained by the process according to Claims 1 to 3, characterised by the following composition by weight:

- carbon $\leq 0.1\%$
- $1\% \leq \text{manganese} \leq 1.5\%$
- silicon $\leq 0.3\%$
- phosphorus $\leq 0.03\%$,
- sulfur $\leq 0.01\%$,
- $0.01\% \leq \text{aluminium} \leq 0.1\%$,
- $0.04\% \leq \text{niobium} \leq 0.06\%$,
- $0.1\% \leq \text{titanium} \leq 0.15\%$,
- $0.1\% \leq \text{molybdenum} \leq 0.2\%$,

the balance, apart from the impurities inherent in manufacture, being constituted by iron, and having a microstructure of ferrite and granular bainite hardened by the precipitation of the niobium titanium micro-alloy elements.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines warmgewalzten Stahlblechstreifens, der eine Dicke im Bereich zwischen 2,5 mm und 10 mm besitzt, dessen Elastizitätsgrenze mehr als 700 MPa beträgt, der bei einem Biegungsinne Durchmesser von weniger als der zweifachen Dicke des Blechs ohne Schädigung um 180° gebogen werden kann, der vor allem zum Formen von Teilen verwendbar ist und der eine Temperatur des Übergangs zwischen spröde und formbar aufweist, die unter -50 °C liegt, dadurch gekennzeichnet, daß der Stahl mit folgender gewichtsbezogener Zusammensetzung:

- Kohlenstoff $\leq 0,1\%$,
- $1\% \leq \text{Mangan} \leq 1,5\%$,
- Silicium $\leq 0,3\%$,
- Phosphor $\leq 0,03\%$,
- Schwefel $\leq 0,01\%$,
- $0,01\% \leq \text{Aluminium} \leq 0,1\%$,
- $0,04\% \leq \text{Niobium} \leq 0,06\%$,

- $0,1\% \leq \text{Titan} \leq 0,15\%$,
- $0,1\% \leq \text{Molybdän} \leq 0,2\%$,

wobei der Rest mit Ausnahme von Verunreinigungen, die mit der Herstellung zusammenhängen, aus Eisen besteht, nach dem Warmwalzen einer gesteuerten Abkühlung auf eine Abkühlungsendtemperatur im Bereich zwischen 550 °C und 750°C bei einer Abkühlgeschwindigkeit im Bereich zwischen 20 °C pro Sekunde und 100 °C pro Sekunde unterzogen wird, derart, daß eine körnige, durch Ausscheidung der Niobium-Titan-Mikrolegierungselemente ausgehärtete Ferrit- und Bainit-Mikrostruktur erhalten wird.

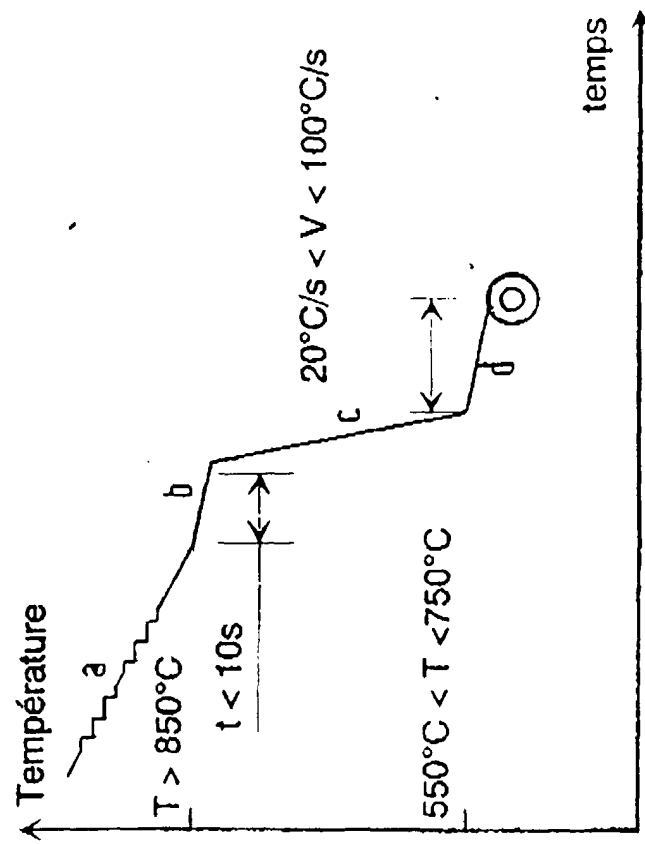
2. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur am Ende des Warmwalzens vorzugsweise mehr als 850 °C beträgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeit, die zwischen dem Ende der Warmwalzung und dem Beginn der gesteuerten Abkühlung vergeht, vorzugsweise weniger als 10 Sekunden beträgt.

4. Warmgewalztes Stahlblech mit einer Dicke im Bereich zwischen 2,5 mm und 10 mm, das eine Elastizitätsgrenze von mehr als 700 MPa besitzt und bei einem Biegungsinne Durchmesser von weniger als der zweifachen Dicke des Blechs ohne Schädigung um 180° gebogen werden kann, das vor allem zum Formen von Teilen verwendbar ist und eine Temperatur des Übergangs zwischen spröde und formbar aufweist, die unter -50 °C liegt, wobei das Blech durch das Verfahren nach Anspruch 1 bis 3 erhalten wird, gekennzeichnet durch die folgende gewichtsbezogene Zusammensetzung:

- Kohlenstoff $\leq 0,1\%$,
- $1\% \leq \text{Mangan} \leq 1,5\%$,
- Silicium $\leq 0,3\%$,
- Phosphor $\leq 0,03\%$,
- Schwefel $\leq 0,01\%$,
- $0,01\% \leq \text{Aluminium} \leq 0,1\%$,
- $0,04\% \leq \text{Niobium} \leq 0,06\%$,
- $0,1\% \leq \text{Titan} \leq 0,15\%$,
- $0,1\% \leq \text{Molybdän} \leq 0,2\%$,

wobei der Rest mit Ausnahme von Verunreinigungen, die mit der Herstellung zusammenhängen, aus Eisen besteht, und umfassend eine körnige, durch Ausscheidung der Niobium-Titan-Mikrolegierungselemente ausgehärtete Ferrit- und Bainit-Mikrostruktur.

FIG.1

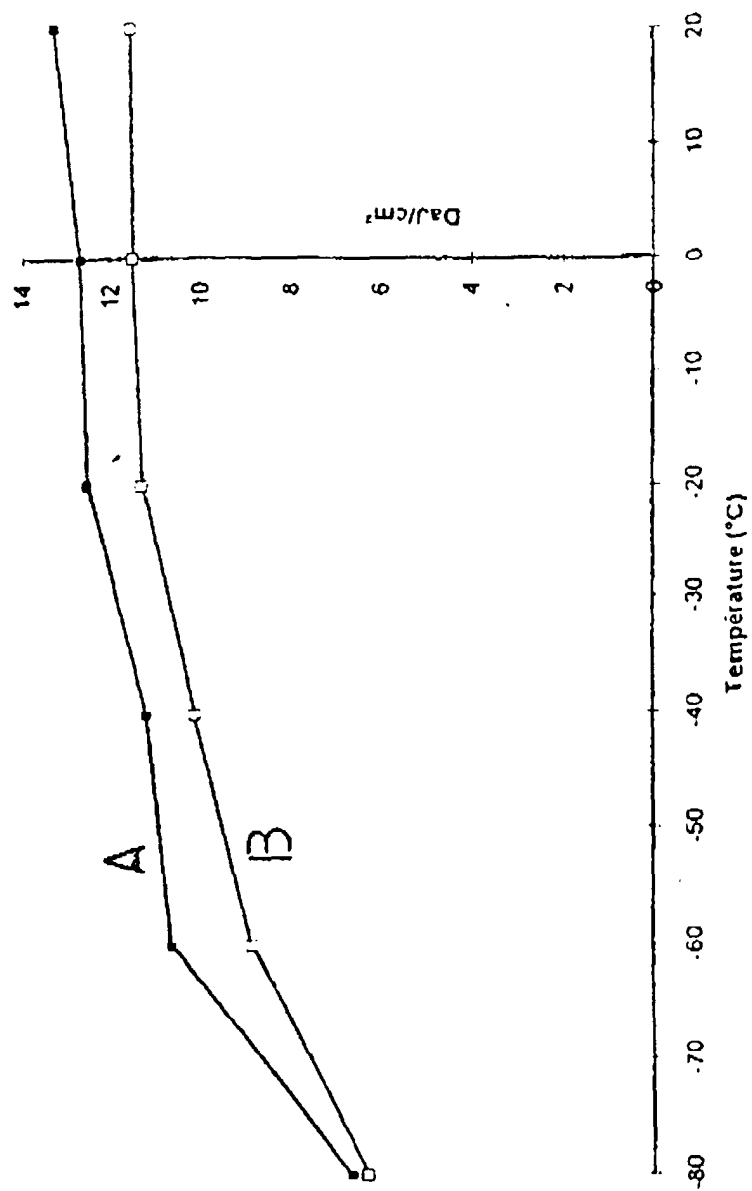


FIG.2