

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 80 06279**

---

(54) Procédé de soudage d'un tuyau calorifugé.

(51) Classification internationale (Int. Cl. <sup>3</sup>). B 23 K 9/225.

(22) Date de dépôt..... 20 mars 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 39 du 25-9-1981.

---

(71) Déposant : KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO et CHIYODA CHEMICAL ENGINEERING &  
CONSTRUCTION CO. LTD., résidant au Japon.

(72) Invention de : Youji Teramoto, Tetsuro Ishihara, Takuo Kawai, Katsuro Takemura et Toshikazu  
Shibazaki.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Harlé et Léchopiez,  
21, rue de La Rochefoucauld, 75009 Paris.

---

## 1.

La présente invention concerne un procédé de soudage permettant de réaliser une soudure dans un tuyau calorifugé ayant une grande résistance au fluage.

Les tubes de reformage et de craquage utilisables dans le domaine de la pétrochimie sont généralement constitués par des tuyaux réalisés par coulée centrifuge. Il est cependant impossible de fabriquer des tubes de grande longueur directement par coulée centrifuge du fait des limites techniques de ce procédé. En conséquence, on assemble plusieurs tubes courts de façon à obtenir un tube de longueur prédéterminé utilisable dans l'industrie pétrochimique et conçu pour résister à de fortes températures comprises entre 800 et 1000°C par exemple. Il est évident que les joints de liaison doivent avoir une résistance mécanique comparable à celle des tubes. Par le passé, les soudures ont été réalisées par des ouvriers spécialisés puisque l'élimination de défauts de soudure était prépondérante par rapport au rendement opératoire. Cependant, le soudage manuel présente un inconvénient du fait que la qualité de la soudure varie en fonction de l'habileté et de la condition physique des ouvriers et le rendement de soudage est très faible. Il s'est manifesté une tendance pour passer du soudage manuel au soudage automatique en vue d'obtenir une qualité stable et un haut rendement. Avec ce procédé, on peut choisir les conditions de soudage dans une large gamme. Une analyse poussée des conditions optimales de soudage a montré que la résistance au fluage dépendait, dans une large mesure, des conditions de soudage. C'est à la suite d'autres recherches faites dans ce domaine que la présente invention a été mise au point.

L'invention a en conséquence pour objet de fournir un procédé de soudage permettant de réaliser des joints soudés possédant une bonne résistance au fluage, le soudage étant effectué à l'arc protégé par atmosphère gazeuse inerte. L'invention est caractérisée en ce qu'un tuyau calorifugé à souder est maintenu de façon à former un joint bord à bord comportant une rainure étroite en forme de "I" ou de "U" et en ce qu'on effectue un soudage à l'arc protégé par atmosphère gazeuse inerte en correspondance à la relation suivante :

2.

$$F \geq \left( \frac{16}{15} \right) \times \frac{W^2 \times V}{\pi D^2}$$

où W (mm) désigne la largeur de la rainure, D (mm) désigne le  
5 diamètre d'un fil-électrode, F (mm/s) désigne la vitesse d'a-  
vance du fil-électrode et V (mm/s) désigne la vitesse de sou-  
dage.

Selon une caractéristique de la présente invention,  
le rapport (V/W) entre la vitesse de soudage V (mm/s) et la  
10 largeur W (mm) de la rainure est inférieur à 42.

Selon une autre caractéristique de la présente in-  
vention, le rapport (V/W) entre la vitesse de soudage V  
(mm/s) et la largeur W (mm) de la rainure est inférieur à 33.

Bien que la définition de la condition précitée soit  
15 parfaitement mise en évidence dans la description qui va sui-  
vre, il est important de noter que l'épaisseur des couches  
respectives est comparativement plus grande lors du soudage  
bord à bord d'un tube avec passes multiples. Dans le procédé  
de soudage connu, d'un autre côté, l'épaisseur des couches  
20 respectives est très faible et la résistance au fluage résul-  
tante est inférieure à celle obtenue par le procédé selon l'in-  
vention, en étant typiquement d'environ 80 % de celle du  
métal de base dans le cas d'un soudage MIG et d'un soudage  
TIG, et d'environ 65 à 70 % de celle du métal de base dans le  
25 cas d'un soudage à l'arc immergé.

Les inventeurs ont réalisé des cordons de soudure  
de différentes épaisseurs dans une rainure en utilisant le  
procédé de soudage TIG et en faisant intervenir un fil chaud.

Divers avantages et caractéristiques de l'invention  
30 seront mis en évidence, dans la suite de la description, don-  
née à titre d'exemple non limitatif, en référence aux dessins  
annexés dans lesquels :

La Fig. 1 est un graphique donnant différentes con-  
ditions de soudage;

35 les Fig. 1(A) et 1(B) sont des vues microscopiques  
représentant une section droite longitudinale d'une zone de  
soudure correspondant aux points A et B de la Fig. 1;

les Fig. 2 A, B, C sont un schéma du métal déposé  
dans une soudure;

## 3.

les Fig. 2 (A-1), 2 (A-2), 2 (B-1), 2 (B-2), 2 (C-1), 2 (C-2), 2 (D-1), 2 (D-2), 2 (E-1), 2 (E-2), sont des vues microscopiques donnant des sections droites des échantillons correspondant aux points de la Fig. 3;

5 la Fig. 3 est un graphique donnant la relation entre la vitesse d'avance de fil chaud et le temps de rupture au fluage;

les Fig. 4 a, b, c, sont une vue en plan et en coupe montrant le grossissement du cordon de métal déposé;

10 la Fig. 5 est une vue microscopique montrant la section droite de métal déposé;

la Fig. 6 est un graphique donnant la relation entre la vitesse de soudage et le temps de rupture au fluage.

La Fig. 1 est un graphique donnant, dans le cas d'une opération de soudage réalisée dans une rainure essentiellement en forme de I (angle de rainure de  $4^\circ$ ) et d'une largeur de 6 mm (W), la relation entre la vitesse de soudage (exprimée en mm/mn et portée en ordonnée) et la vitesse d'avance du fil chaud (exprimée en cm/mn et portée en abscisse). Les droites  
 15 20 représentant une relation linéaire indiquent les épaisseurs (H, exprimées en mm) des passes respectives. Les courbes indiquées sur le graphique représentent le courant minimal capable d'empêcher un soudage de qualité inférieure, tandis que les zones situées en haut et à droite des courbes respectives indiquent qu'un soudage doit être effectué avec les valeurs de  
 25 courant indiquées par les courbes supérieures situées plus à droite. Les points A, B, C, D et E de la Fig. 1 mettent en évidence des conditions correspondantes de soudage qui seront décrites ultérieurement dans des exemples de réalisation. On a  
 30 utilisé les autres conditions de soudage suivantes :

Electrode TIG	: Ø 8,2 mm
Fil chaud	: TGS-310 HO Ø 1,2 mm
Courant d'alimentation	: continu
Gaz de protection	: Argon :
35	débit intérieur : 17,5 l/mn
	extérieur : 12,5 l/mn
Métal de base	: HK-40 :
	diamètre intérieur : 108 mm
	diamètre extérieur : 140 mm

## 4.

Valeurs de courant

A, B, D, E : 300 A  
C : 350 A.

La Fig. 3 donne les résultats d'essais de rupture  
5 au fluage (deux séries dans l'une desquelles la contrainte  
 $\sigma = 2,0 \text{ kg/mm}^2$ , tandis que dans l'autre  $\sigma = 2,8 \text{ kg/mm}^2$ ) sur  
des échantillons de métal déposé qui ont été obtenus dans des  
conditions de soudage indiquées en A, B et C sur la Fig. 1, la  
vitesse d'avance du fil chaud étant portée en abscisse et ex-  
10 primée en cm/mn tandis que le temps de rupture au fluage est  
portée en ordonnée et exprimé en heures (h). Les photographies  
de référence 2 sont des vues microscopiques donnant des sec-  
tions droites des échantillons (A-1), (B-1), (C-1), (A-2),  
(B-2) et (C-2) correspondant aux points blancs de la Fig. 3.  
15 En d'autres termes, l'épaisseur par couche est fai-  
ble ( $H = 0,5$ ) comme indiqué sur la Fig. 1, les sections droi-  
tes des zones de soudure étant indiquées sur la Fig. 2 (A)  
aux points respectifs (A-1) et (A-2). Sur les Fig. 2 (A) à 2  
(C), les lignes indiquées dans les couches respectives mon-  
20 trent la direction de grossissement des cristaux en colonnes,  
les flèches blanches indiquent la propagation de la chaleur  
et les dimensions et le nombre des flèches indiquent la quan-  
tité de chaleur dégagée. Lorsque les épaisseurs sont faibles  
et  $H = 0,5$ , les cristaux en colonnes ont principalement grossi  
25 dans la direction de l'épaisseur, comme indiqué sur la Fig. 2  
(A), et le temps de rupture au fluage a été relativement  
court, comme indiqué en (A-1) et (A-2) sur la Fig. 3. Dans le  
cas où la vitesse d'avance du fil chaud a augmenté pour un  
courant de 300 A, comme indiqué en B sur la Fig. 1, la quanti-  
30 té de chaleur dégagée a augmenté en parallèle à l'épaisseur,  
comme indiqué sur la Fig. 2 (B), et le temps de rupture au  
fluage a atteint essentiellement un maximum, comme indiqué  
sur la Fig. 3. Le métal déposé dans la condition de soudage  
définie par le point C sur la Fig. 1 présente la section droi-  
35 te indiquée sur la Fig. 2 (C), et on voit que les cristaux en  
colonnes ont remarquablement grossi en parallèle avec l'épais-  
seur; on a constaté une tendance à la diminution graduelle du  
temps de rupture au fluage, comme indiqué sur la Fig. 3.

Sur la base de ces résultats, on a trouvé comme li-

5.

mite inférieure de la vitesse d'avance du fil chaud, quand le temps de rupture au fluage devient plus long que ce qui est obtenu pour C-1 et C-2 sur la Fig. 3, une valeur d'environ 290 cm/mn pour les deux séries d'essais de la Fig. 3, alors que, lorsqu'on porte cette valeur en abscisse sur la Fig. 1, lorsqu'on détermine les intersections des points respectifs A, B, C, avec la même vitesse de soudage (environ 350 mm/mn) et lorsqu'on évalue une fonction linéaire (épaisseur) passant par ces points, on trouve une épaisseur d'environ 1,6 mm. Il en résulte que l'épaisseur par couche doit être au moins supérieure à 1,6 mm. La quantité de fil soudé par unité de temps est généralement définie par :

$$F \propto \frac{\pi D^2}{4}$$

15

et W (mm) désigne la largeur de la rainure, D (mm) désigne le diamètre du fil chaud, et V (mm/s) désigne la vitesse de soudage. La quantité de métal déposé est égale à  $W \times H \times V$  lorsque cette condition est remplie. Comme indiqué ci-dessus, l'épaisseur minimale H est de 1,6 mm quand  $W = 6$  mm. Du fait que  $(H/W) \gg (1,6/6)$ , les quantités de fil soudé et de métal déposé sont liées par la relation suivante :

$$\frac{F \pi D^2}{4} \gg W \times \frac{1,6}{6} W \times V.$$

25

On peut réécrire la formule précitée de la façon suivante :

$$F \gg \frac{(16)}{15} \times \frac{W^2 \times V}{\pi D^2}.$$

30 Cela correspond à la condition minimale correspondant à la présente invention.

On a observé sur les photographies de référence 2 (C-1) et (C-2), qui correspondent chacune à (C-1) et (C-2) de la Fig. 3, une section droite qui apparaît comme une contre-surface des cristaux en colonnes. Quand H/W est augmenté comme indiqué sur la Fig. 2 (C), la contre-surface située à l'extrémité de grossissement des cristaux en colonnes présente une anisotropie et il en résulte un grand risque de rupture au fluage dans cette zone.

## 6.

La photographie de référence 1 (A) représente une section droite longitudinale d'une zone de soudure correspondant au point A de la Fig. 1, tandis que la photographie de référence 1 (B) correspond au point (B) de la Fig. 1. La Fig. 5 représente une vue microscopique de la partie centrale du métal déposé, à échelle agrandie et en correspondance au point (C) de la Fig. 1. Bien qu'on n'ait observé aucun grossissement des cristaux en colonnes en parallèle à l'épaisseur sur les photographies de référence 1 (A) et 1 (B), une contre-surface bien définie a été mise en évidence dans la zone centrale dans une direction verticale sur la Fig. 5.

Une analyse des conditions de soudage permettant d'éviter la formation de la contre-surface fait ressortir que le temps de rupture de fluage pourrait être empêché de diminuer même lorsque le rapport  $H/W$  reste le même et lorsque la vitesse de soudage reste suffisamment faible. La Fig. 6 donne les résultats d'essais de rupture au fluage effectués sur des échantillons de métal déposé réalisés dans les conditions correspondant à E, D et C de la Fig. 1, de la même façon que les deux séries d'essais de la Fig. 3. Dans ces conditions, quand la vitesse de soudage est diminuée (portée en abscisse et exprimée en mm/mn), le temps de rupture au fluage porté en ordonnée et exprimé en heures (h) devient plus long et, plus particulièrement, il commence à augmenter à une vitesse de 250 mm/s et il devient sensiblement long à une vitesse de 200 mm/s. En généralisant la relation existant entre la vitesse de soudage  $V$  (mm/s) et la largeur de rainure  $W$  (mm) pour l'exprimer en fonction de  $V/W$ , on trouve pour ce rapport  $V/W$  une valeur d'environ 42 pour une vitesse de 250 mm/s et une valeur d'environ 33 pour une vitesse de 200 mm/s. En conséquence, il est souhaitable que le rapport  $V/W$  soit inférieur à 42, et il est encore plus avantageux qu'il soit inférieur à 33.

Les Fig. 4 (a), 4 (b) et 4 (c) sont des diagrammes d'explication permettant de justifier la conclusion donnée ci-dessus respectivement pour une faible vitesse de soudage (a), une vitesse moyenne de soudage (b) et une grande vitesse de soudage (c), le soudage étant réalisé dans une direction orientée vers le bas en regardant les dessins et les lignes en trait plein représentent la direction de grossissement des

## 7.

cristaux en colonnes, tandis que les lignes en traits interrompus sont des lignes isothermiques. En d'autres termes, quand la vitesse de soudage est faible, les lignes isothermiques passent par le centre de la largeur de rainure, et les  
5 cristaux en colonnes grossissent dans la direction de progression du soudage. En correspondance, dans le cas où les cristaux en colonnes ont été observés comme ayant une section droite longitudinale telle que celle indiquée sur la Fig. 2 C, on a obtenu une direction de grossissement des cristaux en  
10 colonnes conforme, en vue en plan, à ce qui est indiqué sur la Fig. 4 (a) et il a été possible de prolonger le temps de rupture au fluage, comme indiqué aux points (E-1) et (E-2) sur la Fig. 6. Les photographies de référence 2 (D-1), (D-2), (E-1) et (E-2) sont des vues microscopiques des échantillons  
15 correspondant à la Fig. 6 (D-1), (D-2), (E-1) et (E-2), où on a pu constater une disparition de la contre-surface apparaissant sur les photographies de référence (C-1) et (C-2).

Comme indiqué ci-dessus, l'invention permet d'établir des conditions de soudage automatique de tuyaux calorifugés en vue d'obtenir un haut rendement de soudage et une  
20 grande résistance au fluage pour les tuyaux.



8.

REVENDICATIONS.

1. Procédé de soudage d'un tuyau calorifugé, caractérisé en ce qu'on effectue une opération de soudage à l'arc protégé suivant le mode TIG en utilisant du gaz inerte et un fil chaud et en faisant intervenir la relation suivante :

$$F \geq \left(\frac{16}{15}\right) \times \frac{W^2 \times V}{\pi D^2}$$

où W (mm) désigne la largeur de la rainure, D (mm) désigne le diamètre d'un fil-électrode, F (mm/s) désigne la vitesse d'avance du fil-électrode et V (mm/s) désigne la vitesse de soudage, en vue du soudage bord à bord du tuyau calorifugé dans une rainure présentant une forme de "I" ou de "U" et une faible largeur.

15 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le rapport (V/W) entre la vitesse de soudage V (mm/s) et la largeur W (mm) de la rainure est inférieur à 42.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le rapport (V/W) entre la vitesse de soudage V (mm/s) et la largeur W (mm) de la rainure est inférieur à 33.

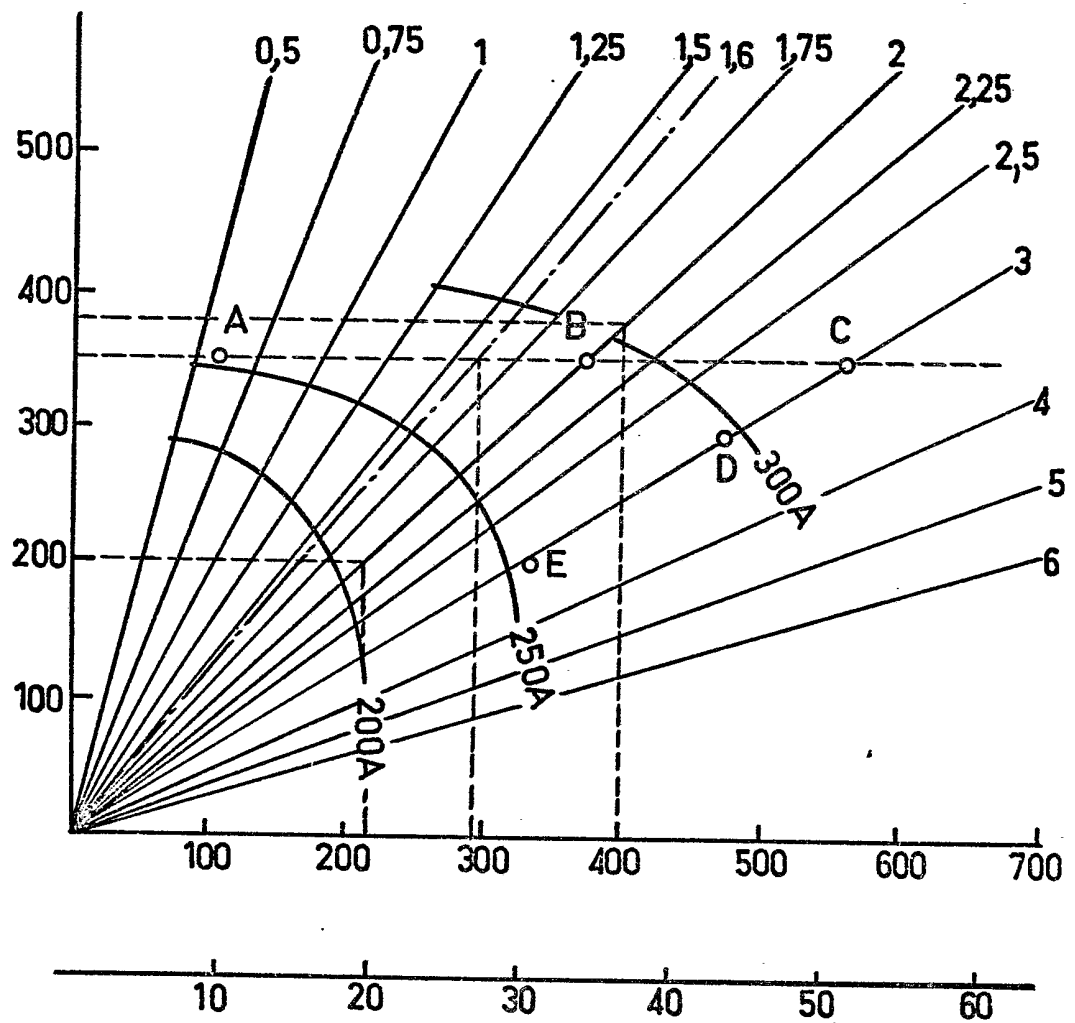


FIG. 1

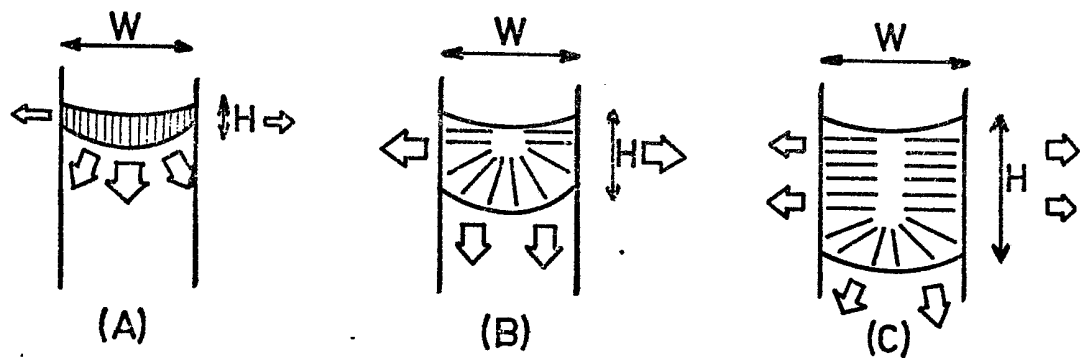


FIG. 2

Fig.1(A)

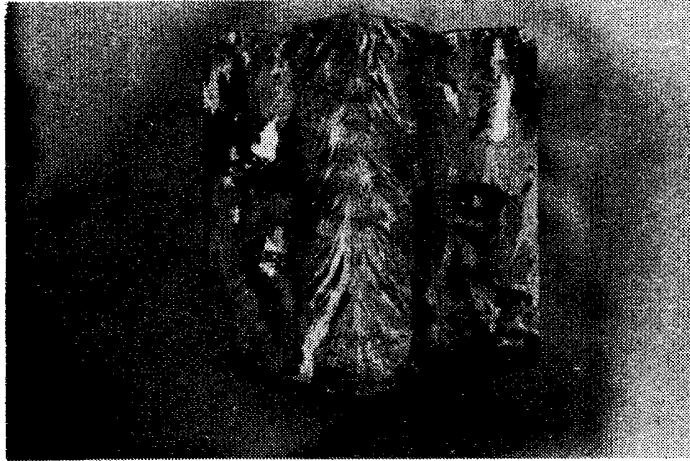


fig. 1 (B)

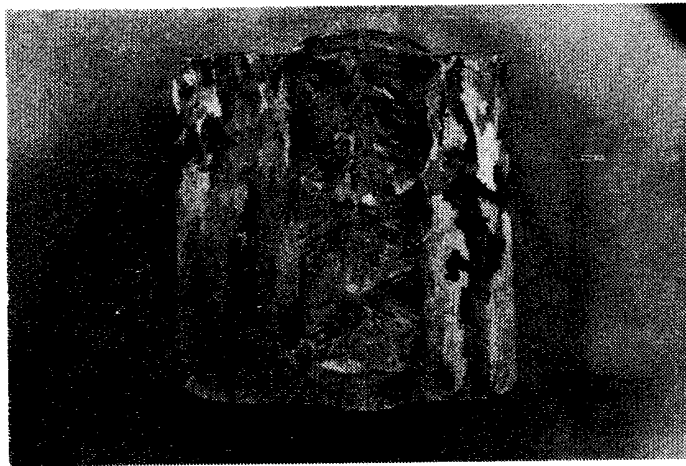


Fig. 2 (A-1)

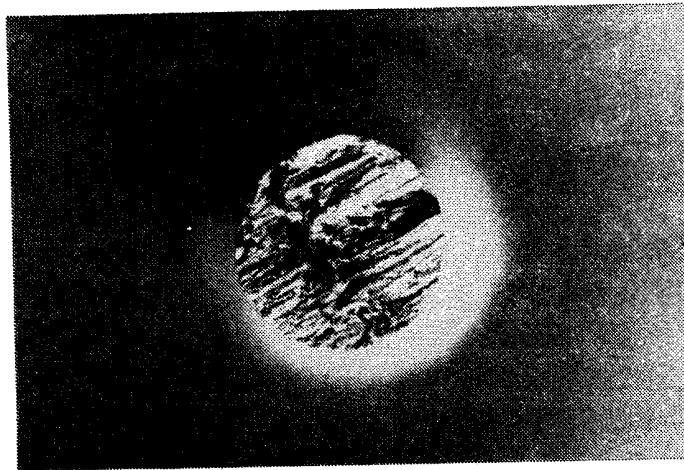


Fig. 2 - (A-2)

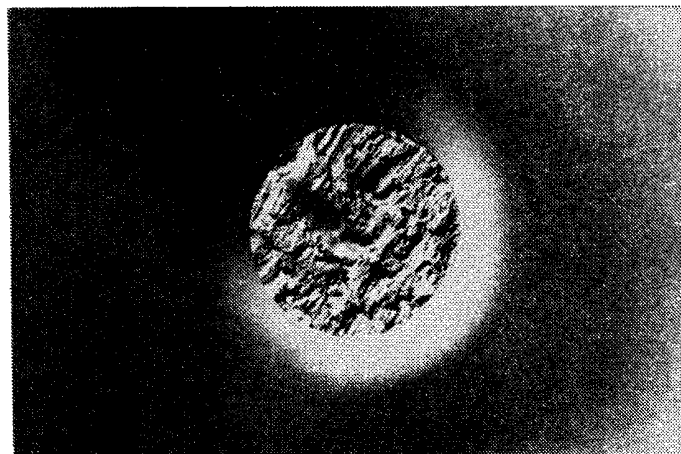


Fig. 2 (B-1)

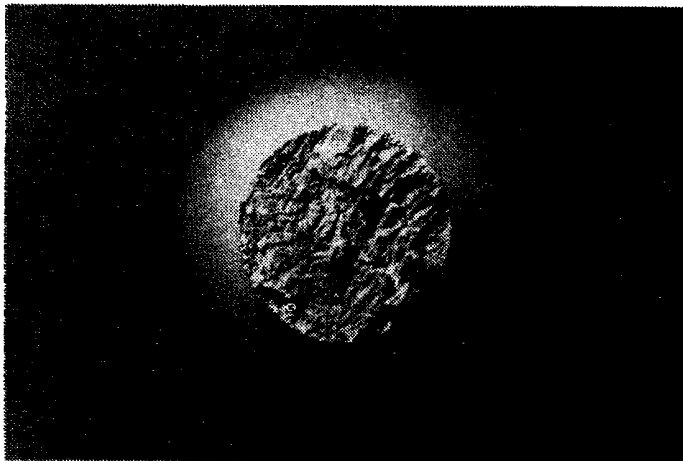


Fig. 2 (B-2)

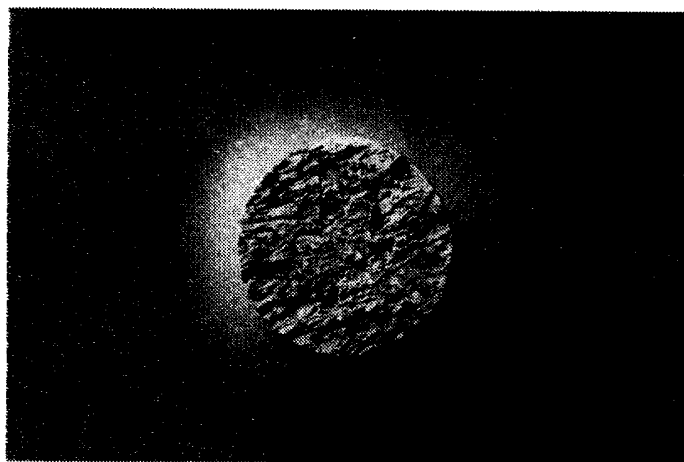


Fig. 2 (C-1)

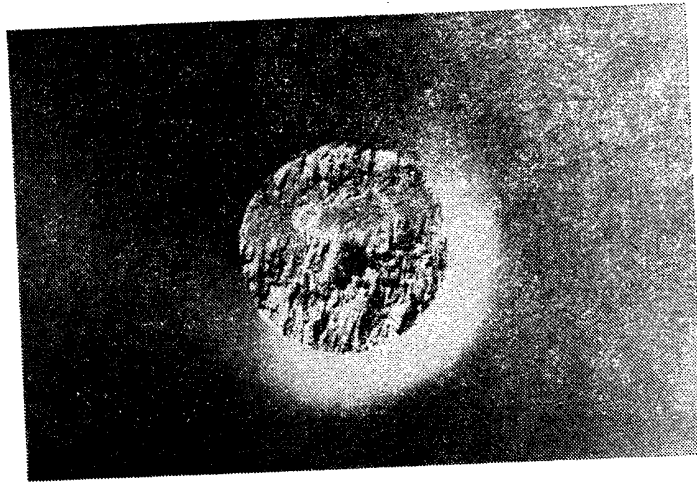


Fig. 2 (C-2)

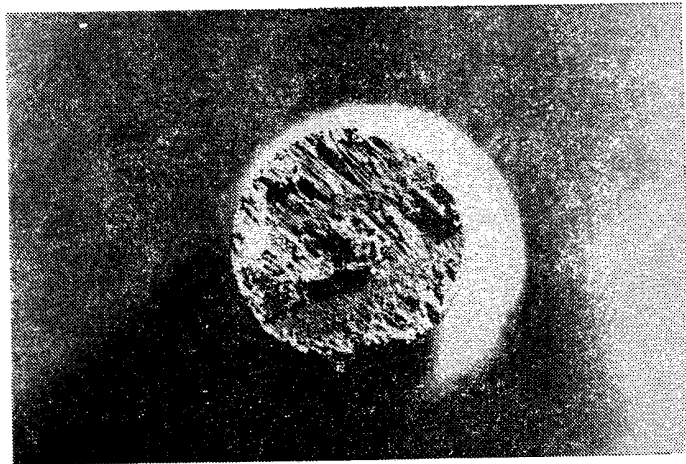


Fig. 2 (D-1)

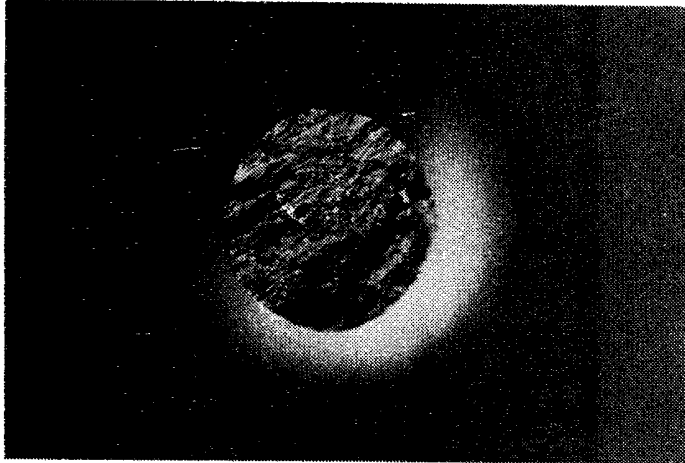


Fig. 2 (D-2)

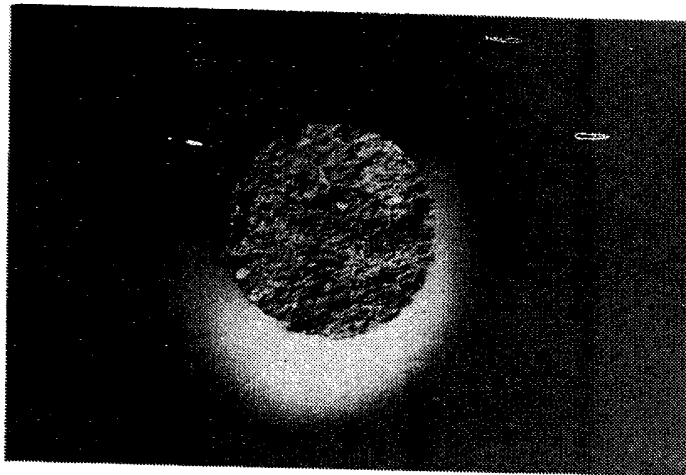


Fig 2 (E-1)

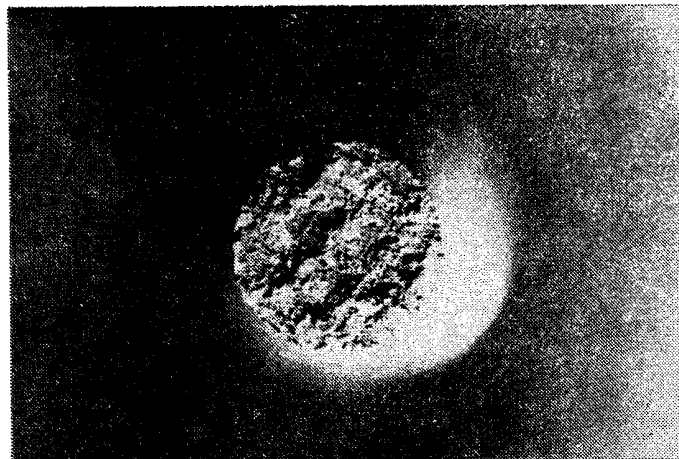
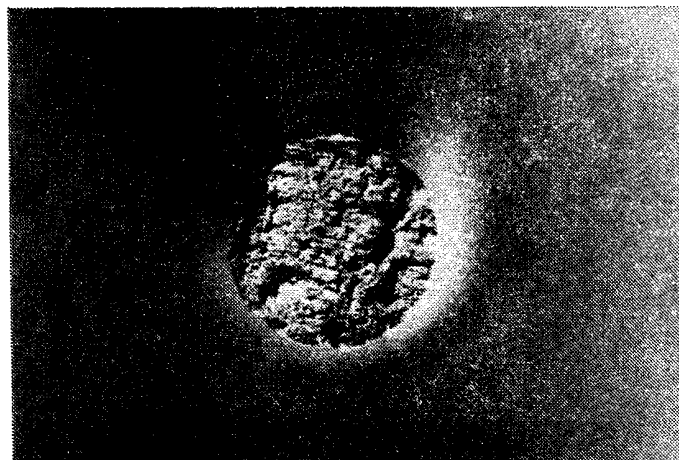


Fig 2 (E-2)





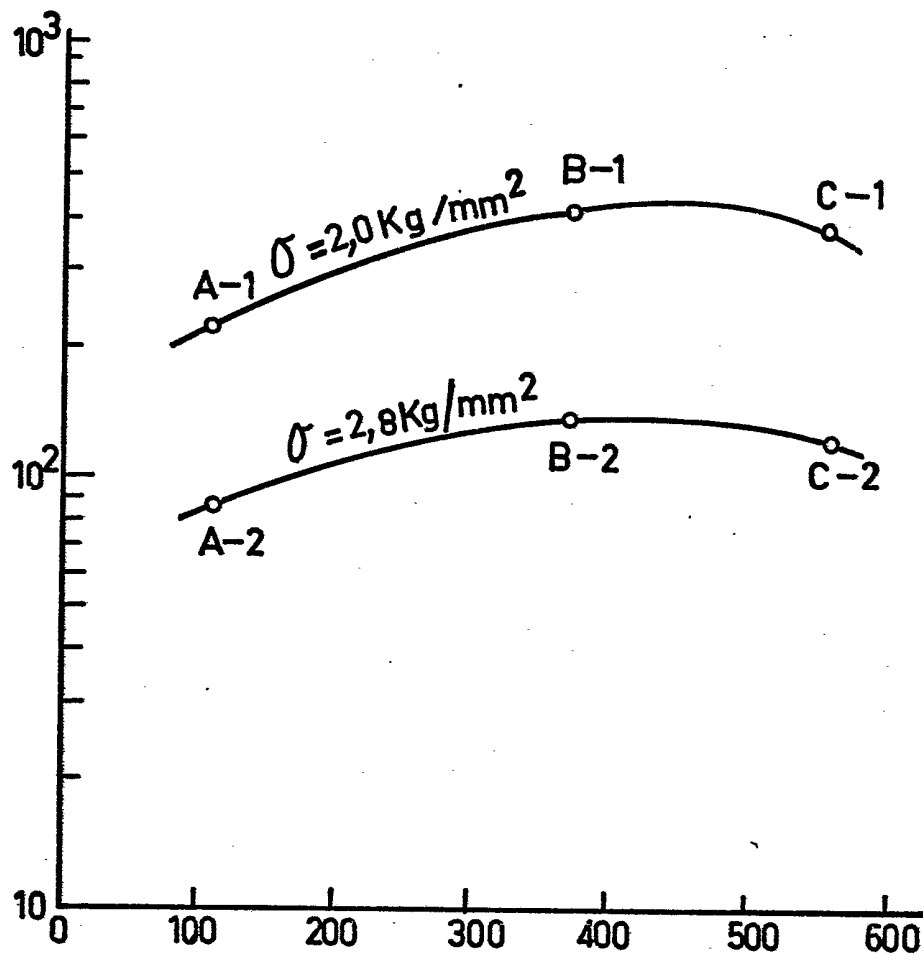


FIG.3

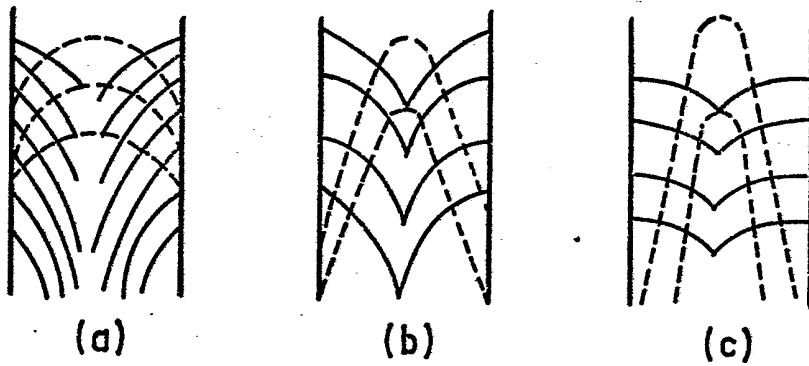
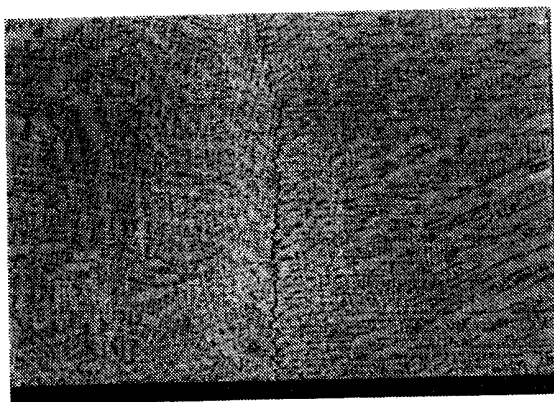


FIG.4

Fig. 5



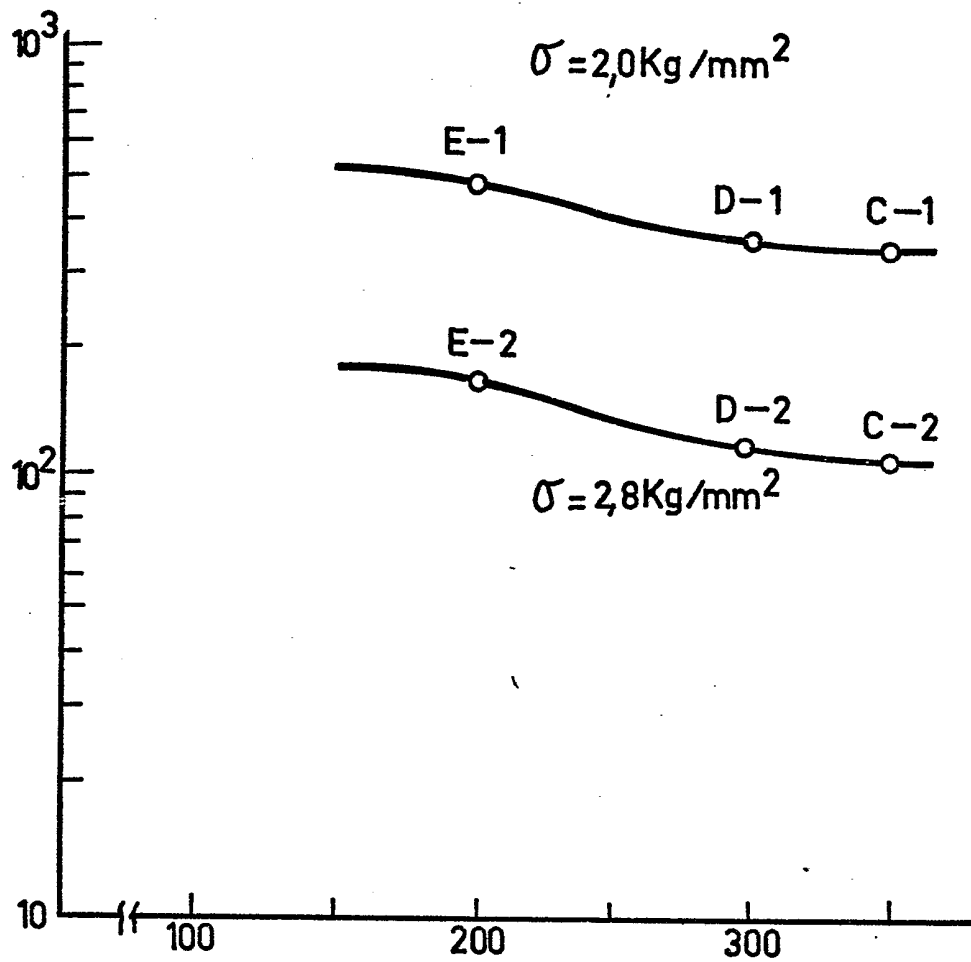


FIG.6