



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Numéro de publication: **0 481 844 B1**

12

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

49 Date de publication de fascicule du brevet: **02.08.95** 51 Int. Cl.⁸: **C22C 38/08**

21 Numéro de dépôt: **91402670.3**

22 Date de dépôt: **07.10.91**

54 **Acier à soudabilité améliorée.**

30 Priorité: **18.10.90 FR 9012916**

43 Date de publication de la demande:
22.04.92 Bulletin 92/17

45 Mention de la délivrance du brevet:
02.08.95 Bulletin 95/31

84 Etats contractants désignés:
AT BE CH DE DK ES FR GB GR IT LI LU NL SE

56 Documents cités:
EP-A- 0 080 809 EP-A- 0 168 038
DE-A- 2 239 092 DE-A- 2 436 419
DE-A- 2 517 164 FR-A- 2 212 434
FR-A- 2 500 482

73 Titulaire: **SOLLAC**
Immeuble Elysées-La Défense, 29 Le Parvis
F-92800 Puteaux (FR)

72 Inventeur: **Maurickx, Thierry**
77 rue de Leffrinckoucke
F-59240 Dunkerque (FR)
Inventeur: **Verrier, Pascal**
72 Route Nationale
Setques
F-62380 Lumbres (FR)
Inventeur: **Taillard, Roland**
12 allée de la Comédie
F-59650 Villeneuve d'Ascq (FR)

74 Mandataire: **Lanceplaine, Jean-Claude et al**
CABINET LAVOIX
2, Place d'Estienne d'Orves
F-75441 Paris Cédex 09 (FR)

EP 0 481 844 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 concerne un acier de construction à soudabilité améliorée.

L'utilisation d'acier dans des environnements sévères tels que les aciers pour application navale utilisés sur des navires, des méthaniers ou des brise-glaces par exemple, circulant en mer du nord ou dans l'océan arctique, des plates-formes de forage pétrolière ou les aciers utilisés pour des réservoirs de stockage de gaz liquéfiés, impose le respect de cahiers des charges très restrictifs.

Outre leurs caractéristiques de traction, les nuances d'aciers pour constructions soudées doivent satisfaire un niveau élevé de résistance à la rupture fragile à basse température, cette température étant fonction des conditions de sollicitation et de la température de service de la structure.

Il est connu d'utiliser un acier référencé 355 EMZ dans la classification européenne et dont la composition pondérale est la suivante :

- 0,11 % de carbone,
- 1,45 % de manganèse,
- 0,45 % de nickel,
- 0,40 % de silicium,
- 0,03 % de niobium,
- 0,05 % d'azote, le reste étant du fer.

Les caractéristiques mécaniques garanties par un tel acier sur une tôle de 50mm d'épaisseur sont les suivantes :

limite d'élasticité Re mini	= 340 MPa
charge à la rupture Rm mini	= 460 MPa
allongement (5,65 √S) A	= 20%
résilience à -40 °C Kv	= 50J (valeur minimale)
CTOD à - 10 °C	= 0,25 mm

Le CTOD (Crack Tip Opening Displacement) correspond à un essai normalisé de rupture (Norme BS 5762).

La Fig. 1 représente la température de transition pour une énergie de résilience de 28 joules en fonction du temps de refroidissement de 700 ° à 300 °C, pour un acier du type 355 EMZ.

On constate que pour avoir une énergie de rupture supérieure à 28 J à - 40 °C, il est nécessaire de souder avec une vitesse de refroidissement de 700 ° à 300 °C inférieur à 50s. Il faut donc souder lentement ce qui signifie qu'il est nécessaire de faire plusieurs passes avec une faible énergie de soudage.

La résistance à la fissuration à froid d'un tel acier peut être appréciée à partir de la courbe dureté-critère de refroidissement représentée à la Fig. 2.

On constate que dans le cas d'un soudage manuel par électrode, correspondant à un temps de refroidissement entre 700 ° et 300 °C d'environ 10s, la dureté Vickers est supérieure à 350Hv5. Ceci s'explique par le fait que la structure présente de 80 à 100% de martensite.

Or, la martensite étant sensible à l'hydrogène, une telle soudure présente une faible résistance à la fissuration à froid.

Par conséquent, un tel acier connu, du type 355 EMZ présente une mauvaise résilience pour de fortes énergies de soudage, et nécessite un préchauffage avant soudage pour éviter la fissuration à froid.

On connaît dans le EP-A-168.038 des plaques d'acier à haute résistance à la traction et utilisables dans les constructions soudées. Les domaines de composition pondérale de l'acier sont :

- de 0,03 à 0,20% de carbone,
- de 0,01 à 0,70% de silicium,
- de 0,50 à 1,80% de manganèse,
- de 0,005 à 0,05% de titane ou de zirconium,
- de 0,005 à 0,10% de niobium,

avec, parmi les éléments optionnels,

- au plus 0,0030% d'azote,
- au plus 4,00% de Nickel,
- au plus 1,00% de cuivre,

le reste étant du fer.

On connaît également dans le FR-A-2.500.482 un acier pour soudage dont la composition pondérale est la suivante :

de 0,03 à 0,16% de carbone,
de 0,01 à 0,7 % de silicium,
de 0,7 à 1,7 % de manganèse,
de 0,04 à 0,10% d'aluminium,
5 pas plus de 0,004% d'azote,
pas plus de 0,50% de cuivre,
pas plus de 1,5% de nickel,
le reste étant du fer.

La présente invention a pour objet un acier à soudabilité améliorée présentant une bonne résilience
10 pour les fortes énergies de soudage et ne nécessitant pas de préchauffage avant soudage.

La présente invention a donc pour objet un acier à soudabilité améliorée, ayant la composition pondérale suivante :

15 - de 0,07 à 0,11% de carbone,
- de 1,40 à 1,70% de manganèse,
- de 0,20 à 0,55% de nickel,
- de 0 à 0,30% de cuivre,
- de 0 à 0,02% de niobium,
- de 0,005 à 0,020% de titane,
- de 0,002 à 0,006% d'azote,
20 - de 0 à 0,15% de silicium,
le reste étant du fer.

De préférence, la composition pondérale de l'acier à soudabilité améliorée selon l'invention est la suivante :

25 - 0,08% de carbone,
- 1,50% de manganèse,
- 0,45% de nickel,
- 0,20% de cuivre,
- 0,01% de titane,
- 0,004% d'azote,
30 - 0,09% de silicium,
le reste étant du fer.

Un tel acier peut être obtenu par exemple par :

35 - un réchauffage à basse température entre la température de transformation ferrite-austénite AC3 et 1100 °C,
- un laminage entre 850 ° et 720 °C,
- un refroidissement accéléré de 750 ° à 450 °C entre 3 et 10 ° par seconde.

D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront au cours de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, faite en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

40 - la Fig. 1 représente l'évolution de la température de transition pour une énergie de rupture de 28 joules (TK 28J) en fonction de la vitesse de refroidissement de la soudure pour un acier usuel 355 EMZ et pour l'acier à soudabilité améliorée selon l'invention,
- la Fig. 2 représente la courbe dureté-critère de refroidissement pour un acier usuel 355 EMZ et pour l'acier à soudabilité améliorée selon l'invention.
45 - la Fig. 3 représente l'influence de la teneur en silicium, d'une part sur la température de transition à 28 Joules (TK 28J) et, d'autre part, sur la fraction volumique d'austénite retenue (γ_r),
- la Fig. 4 représente l'évolution de la fraction volumique d'austénite retenue (γ_r) en fonction du critère de refroidissement et de la teneur en silicium de l'acier.

La composition pondérale de l'acier à soudabilité améliorée selon l'invention est :

50 - de 0,07 à 0,11% de carbone,
- de 1,40 à 1,70% de manganèse,
- de 0,20 à 0,55% de nickel,
- de 0 à 0,30% de cuivre,
- de 0 à 0,02% de niobium
- de 0,005 à 0,020% de titane,
55 - de 0,002 à 0,006% d'azote,
- de 0 à 0,15% de silicium,
le reste étant du fer.

De préférence, la composition pondérale de l'acier à soudabilité améliorée selon l'invention comprend :

- 0,08% de carbone,
 - 1,50% de manganèse,
 - 0,45% de nickel,
 - 0,20% de cuivre,
 - 5 - 0,01% de titane,
 - 0,004% d'azote,
 - 0,09% de silicium
- le reste étant de fer.

Lorsqu'on compare la courbe température de transition à 28J en fonction de la vitesse de refroidissement de la soudure de l'acier usuel 355 EMZ et de l'acier à soudabilité améliorée selon l'invention (Fig. 1), on constate que quelle soit l'énergie de soudage, c'est à dire quelle que soit la vitesse de refroidissement de la soudure, la résilience de l'acier selon l'invention est toujours garantie jusqu'à -60 ° C.

Un tel acier a donc une bonne résilience même à forte énergie de soudage.

La courbe dureté-critère de refroidissement représentée Fig. 2 montre que l'acier à soudabilité améliorée présente une dureté inférieure à celle de l'acier usuel 355 EMZ.

En effet, la dureté Vickers pour un refroidissement de la zone affectée par la chaleur de 700 ° à 300 ° C en 10s n'est que de 280 HV5, contre au moins 350 HV5 pour l'acier usuel.

L'acier à soudabilité améliorée selon l'invention ne présente plus que très peu de martensite, moins de 20%.

La résilience est donc fortement améliorée à froid et un tel acier ne nécessite pas de préchauffage avant soudage.

L'acier à soudabilité améliorée selon l'invention permet de garantir les caractéristiques mécaniques sur une tôle de 50mm d'épaisseur suivantes :

limite d'élasticité Re mini	= 325 MPa
charge à la rupture Rm mini	= 460 MPa
allongement (5,65 √S) A	= 22%
Résilience à - 60 ° C KV	= 80 J
CTOD à - 50 ° C	= 0,10 mm

Un tel acier permet donc, soit de garantir les mêmes caractéristiques que l'acier usuel 355 EMZ mais souder avec de plus fortes énergies de soudage, soit en conservant la même énergie de soudage, de garantir les caractéristiques mécaniques de ténacité à une température de service plus faible laissant envisager alors des applications dans un environnement plus sévère.

Code on le voit à la Fig. 3, la teneur en silicium a une influence sur la température de transition à 28 Joules (TK 28J), donc sur la ténacité de la zone affectée par la chaleur.

En effet, on constate que pour une teneur en silicium de 0,05% la température de transition à 28 Joules est de l'ordre de -70 ° C. Or, pour une teneur en silicium de 0,5%, cette température en deça de laquelle on garantit une énergie nécessaire à la rupture au moins égale à 28 Joules n'est plus que de -50 ° C.

On constate également sur les Figs. 3 et 4 que la fraction d'austénite retenue en zone affectée par la chaleur est fonction de la teneur en silicium de l'acier. Ce phénomène est à associer à une décomposition favorisée de l'austénite en ferrite et carbures pendant le refroidissement après soudage.

Ainsi, sur la Fig. 4, on voit que pour une teneur en silicium de 0,05% le taux d'austénite retenue lors de fortes énergies de soudage est d'environ 1% alors que pour ces mêmes énergies avec une teneur en silicium de 0,5%, il est de 5%.

Par conséquent, l'amélioration de la ténacité du joint soudé passe par la réduction de la fraction volumique d'austénite retenue qui est assurée par la diminution de la teneur en silicium de l'acier.

L'acier à soudabilité améliorée peut être obtenu par exemple par coulée en poche, coulée continue, élaboration en four, élaboration en aciérie à oxygène ou calmage aluminium.

La description ci-après concerne un exemple de procédé d'obtention de tôles de 50mm d'épaisseur avec un acier selon la présente invention.

L'acier à soudabilité améliorée selon l'invention est obtenu par coulée continue de type connue en prenant les précautions nécessaires pour lutter contre la ségrégation.

A la sortie de la coulée, l'acier subit un réchauffage à basse température entre la température de transformation ferrite-austénite AC3 et 1100 ° C, suivi par un laminage.

La température en fin de laminage se situe entre 850 ° et 720 ° C.

L'acier subit alors un refroidissement accéléré depuis la température de fin de laminage jusqu'à 450 ° C à une vitesse de 3 à 10 ° C par seconde.

L'acier à soudabilité améliorée utilisé pour établir les courbes représentées aux Figs. 1 et 2 est un acier dont la composition est celle donnée préférentiellement dans la description et obtenu selon le procédé

5 suivant :

- réchauffage homogène à 950 ° C pendant 3 heures,
- laminage entre 760 ° et 740 ° C,
- refroidissement jusqu'à 550 ° C à une vitesse de 6 ° C par seconde.

10 Revendications

1. Acier à soudabilité améliorée ayant la composition pondérale suivante :

- de 0,07 à 0,11% de carbone,
 - de 1,40 à 1,70% de manganèse,
 - 15 - de 0,20 à 0,55% de nickel,
 - de 0 à 0,30% de cuivre,
 - de 0 à 0,02% de niobium,
 - de 0,005 à 0,020% de titane,
 - de 0,002 à 0,006% d'azote,
 - 20 - de 0 à 0,15% de silicium,
- le reste étant du fer.

2. Acier selon la revendication 1, ayant de préférence la composition pondérale suivante :

- 0,08% de carbone,
 - 25 - 1,50% de manganèse,
 - 0,45% de nickel,
 - 0,20% de cuivre,
 - 0,01% de titane,
 - 0,004% d'azote,
 - 30 - 0,09% de silicium,
- le reste étant de fer.

3. Procédé d'obtention d'un acier selon les revendications 1 et 2 comprenant les étapes suivantes :

- on réchauffe à basse température entre la température de transformation ferrite-authénite AC3 et
 - 35 1100 ° C,
 - on lamine entre 850 ° et 720 ° C,
 - on pratique un refroidissement accéléré de 750 ° à 450 ° C à une vitesse de 3 à 10 ° par
- seconde.

40 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que :

- on réchauffe à 950 ° C pendant 3 heures,
- on lamine entre 760 ° et 740 ° C,
- on refroidit jusqu'à 550 ° C à une vitesse de 6 ° par seconde.

45 Claims

1. Steel with improved weldability having the following composition by weight:

- from 0.07 to 0.11% carbon,
 - from 1.40 to 1.70% manganese,
 - 50 - from 0.20 to 0.55% nickel,
 - from 0 to 0.30% copper,
 - from 0 to 0.02% niobium,
 - from 0.005 to 0.020% titanium,
 - from 0.002 to 0.006% nitrogen,
 - 55 - from 0 to 0.15% silicon,
- the remainder being iron.

2. Steel according to Claim 1, preferably having the following composition by weight:

- 0.08% carbon,
 - 1.50% manganese,
 - 0.45% nickel,
 - 0.20% copper,
 - 5 - 0.01% titanium,
 - 0.004% nitrogen,
 - 0.09% silicon,
- the remainder being iron.
- 10 **3.** Method of obtaining a steel according to Claims 1 and 2 comprising the following stages:
- reheating takes place at low temperature between the ferrite-austenite AC3 transformation temperature and 1100 °C,
 - rolling is carried out between 850 ° and 720 °C,
 - accelerated cooling is carried out from 750 ° to 450 °C at a speed of 3 to 10 ° per second.
- 15 **4.** Method according to Claim 3, characterised in that:
- reheating is carried out at 950 °C for 3 hours,
 - rolling is carried out between 760 ° and 740 °C,
 - cooling takes place to 550 °C at a speed of 6 ° per second.

20

Patentansprüche

- 1.** Stahl mit verbesserter Schweißbarkeit mit der folgenden gewichtsmäßigen Zusammensetzung:
- 0,07 bis 0,11 % Kohlenstoff,
 - 25 - 1,40 bis 1,70 % Mangan,
 - 0,20 bis 0,55 % Nickel,
 - 0 bis 0,30 % Kupfer,
 - 0 bis 0,02 % Niob,
 - 0,005 bis 0,020 % Titan,
 - 30 - 0,002 bis 0,006 % Stickstoff,
 - 0 bis 0,15 % Silicium,
- wobei der Rest Eisen ist.
- 2.** Stahl nach Anspruch 1, der vorzugsweise die folgende gewichtsmäßige Zusammensetzung hat:
- 35 - 0,08 % Kohlenstoff,
 - 1,50 % Mangan,
 - 0,45 % Nickel,
 - 0,20 % Kupfer,
 - 0,01 % Titan,
 - 40 - 0,004 % Stickstoff,
 - 0,09 % Silicium,
- wobei der Rest Eisen ist.
- 3.** Verfahren zur Herstellung eines Stahls nach den Ansprüchen 1 und 2, das die folgenden Schritte umfaßt:
- 45 - man erhitzt auf niedrige Temperatur zwischen der Temperatur der Umwandlung Ferrit-Austenit AC3 und 1100 °C,
 - man walzt zwischen 850 ° und 720 °C,
 - man nimmt eine beschleunigte Abkühlung von 750 ° bis 450 °C mit einer Geschwindigkeit von 3
 - 50 bis 10 ° pro Sekunde vor.
- 4.** Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß
- man 3 h auf 950 °C erhitzt,
 - zwischen 760 ° und 740 °C walzt,
 - 55 - mit einer Geschwindigkeit von 6 ° pro Sekunde bis auf 550 °C abkühlt.

TK 28 J

FIG.1

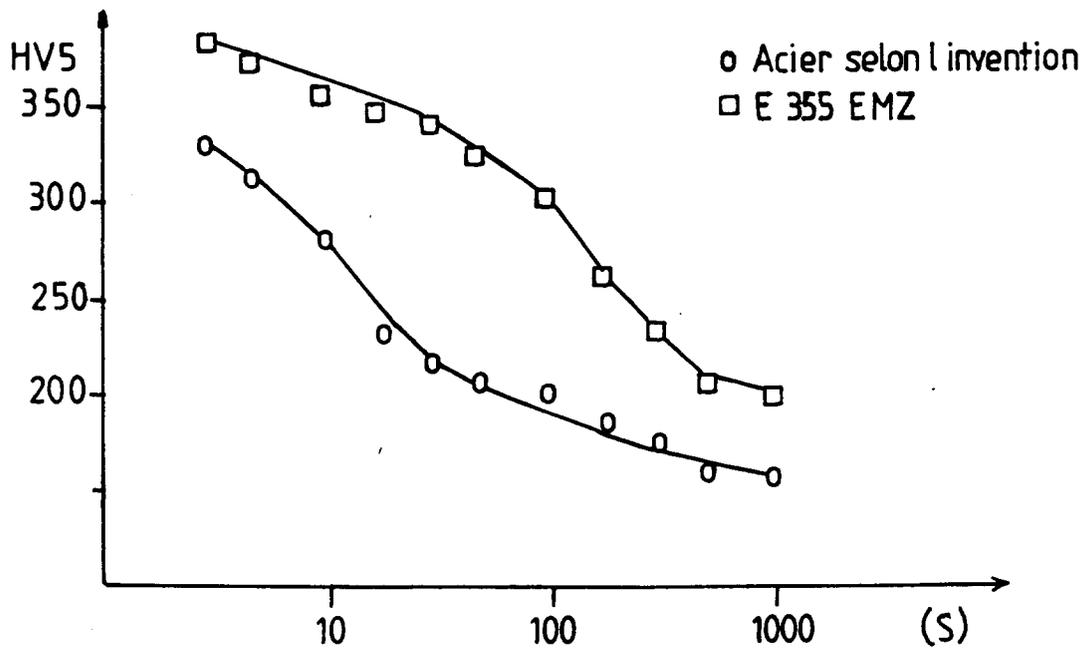
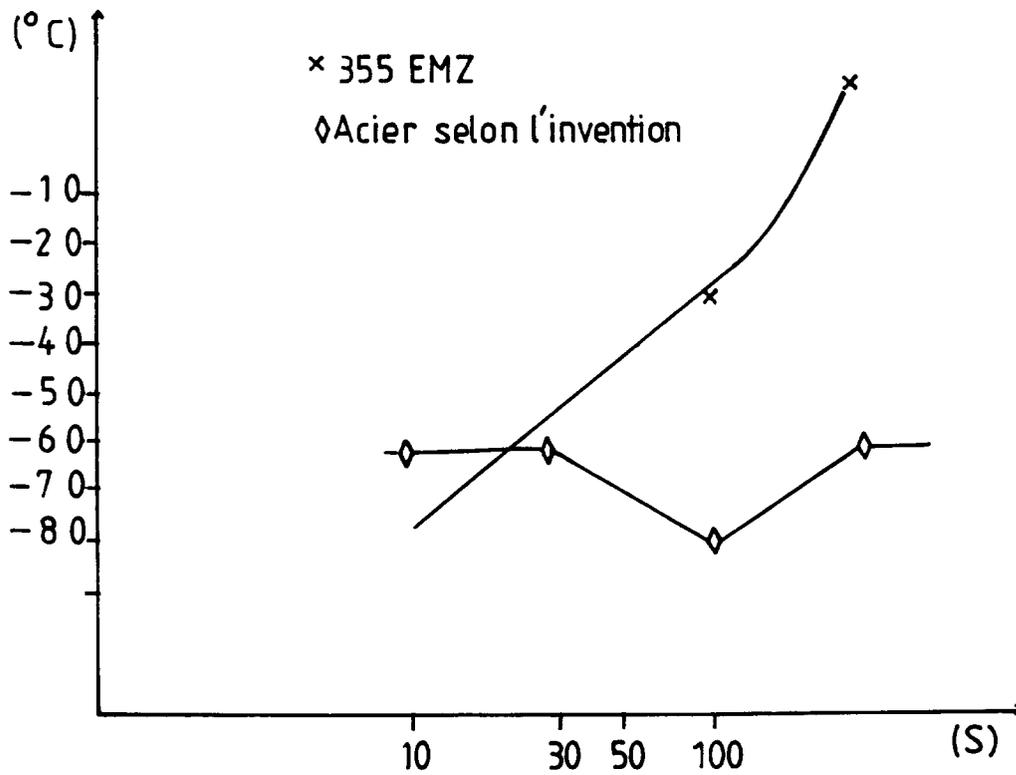


FIG.2

TK 28J(°C)

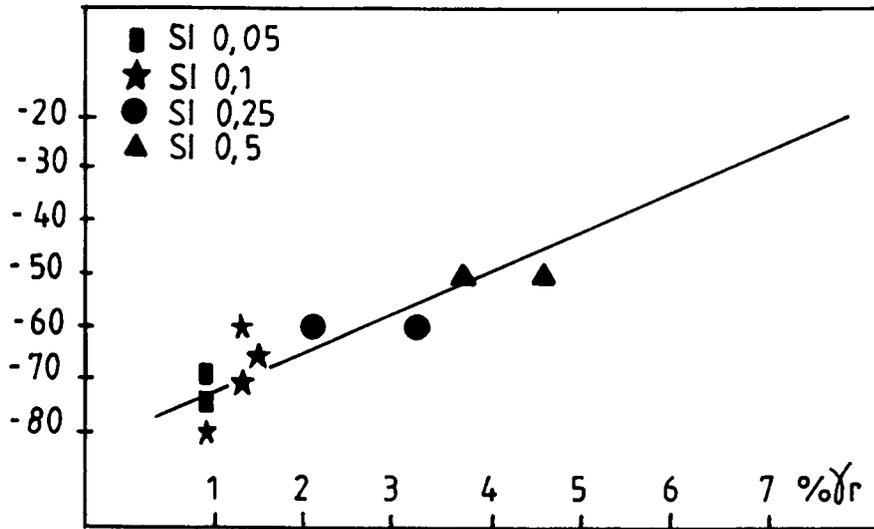


FIG.3

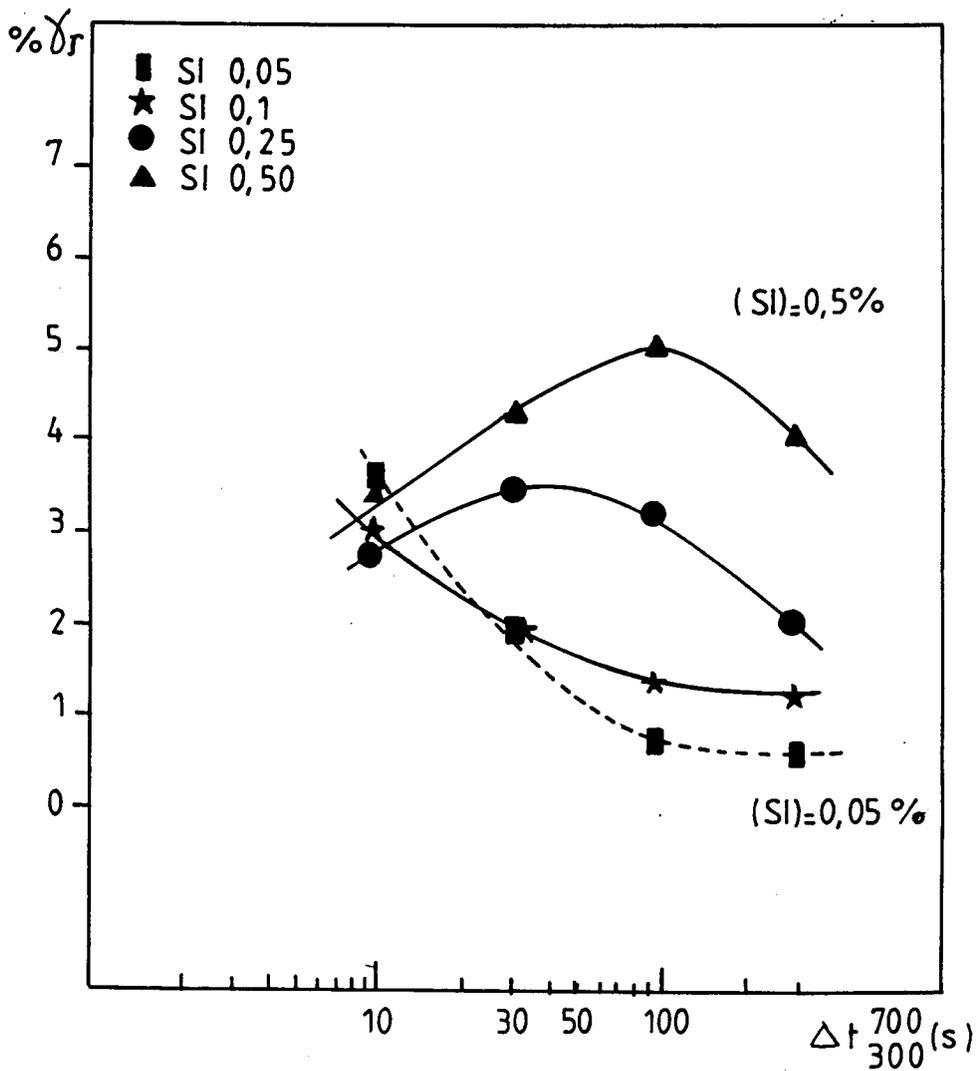


FIG.4