



(12) **BREVET DE INVENȚIE**

**Hotărârea de acordare a brevetului de invenție poate fi revocată
în termen de 6 luni de la data publicării**

(21) Nr. cerere: **97-01332**

(22) Data de depozit: **11.01.1996**

(30) Prioritate: **20.01.1995 GB 9501097.1;**

(41) Data publicării cererii:
BOPI nr.

(42) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului:
30.04.2001 BOPI nr. **4/2001**

(45) Data eliberării și publicării brevetului:
BOPI nr.

(61) Perfecționare la brevet:
Nr.

(62) Divizată din cererea:
Nr.

(86) Cerere internațională PCT:
Nr. **GB 96 / 00034 11.01.1996**

(87) Publicare internațională:
Nr. **WO 96/22396 25.07.1996**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
US 5131965

(71) Solicitant: **BRITISH STEEL PLC, LONDRA, GB;**

(73) Titular: **CORUS UK LIMITED, LONDRA, GB;**

(72) Inventatori: **BHADESHIA HARSHAD KUMAR DHARAMSHI HANSRAJ, CAMBERTON, GB; JERATH
VIJAY, SHEFFIELD, GB;**

(74) Mandatar: **S.C. ROMINVENT S.A., BUCUREȘTI**

(54) **PROCEDEU DE OBTINERE A UNUI OȚEL BAINITIC**

(57) **Rezumat:** Invenția se referă la un procedeu de obținere a unui oțel bainitic, utilizat, în special, la șinele de cale ferată, procedeu care include răcirea continuă a produsului respectiv, de la temperatura de laminare până la temperatura mediului ambiant. Oțelul din care este fabricat produsul respectiv este un oțel bainitic și are compoziția chimică, în procente de greutate, alcătuită din 0,05... 0,50% carbon, din 1,0 la 3,0% siliciu și /sau aluminiu, din 0,50...2,50% mangan, din 0,25...2,50% crom, până la 3,0% nichel, până la 0,025% sulf, până la 1% wolfram, până la 1,0% molibden, până la 3,0% cupru, până la 0,10% titan, până la 0,50% vanadiu, până la 0,005% bor, restul fiind și impurități accidentale.

Revendicări: 5
Figuri: 8

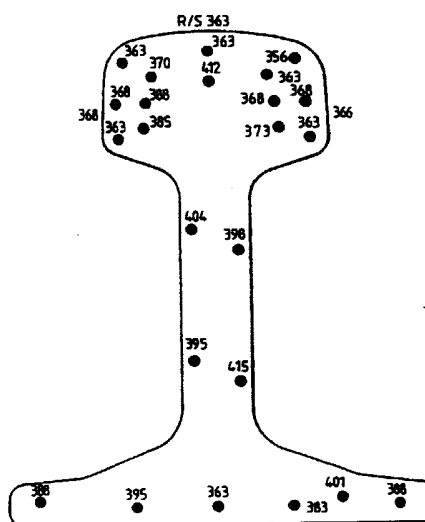


Fig. 1

RO 116650 B1



Invenția se referă la un procedeu de obținere a unui oțel bainitic fără carburi, având rezistență ridicată la uzură și oboseală, oțel din care pot fi produse plăci sau profiluri cu rezistență ridicată la uzură abrazivă, fiind utilizat în special la realizarea șinelor de cale ferată sau de macarale, macazuri, pasaje de nivel feroviare, roți pentru material rulant, pecum și la produse cu rezistență ridicată la uzură abrazivă și la alte structuri speciale.

Sunt cunoscute procedee de realizare a unor produse din oțeluri bainitice (**EP 0612852 A1**), de exemplu șine de cale ferată, la care capul șinei, după laminarea la cald, este supus unei răciri discontinue, cu viteză ridicată, de la temperatura de austenitizare până în domeniul temperaturilor de 500...300°C, viteza de răcire fiind de 1...10°C/secundă, continuând cu răcirea capului șinei la o temperatură mai scăzută.

Aceste procedee nu pot asigura produse cu o bună rezistență la uzură abrazivă.

Șinele de cale ferată, realizate cu ajutorul acestor procedee, au prezentat o uzură mai rapidă decât șinele realizate din oțeluri perlitice convenționale, dar au fost caracterizate printr-o rezistență crescută la oboseală superficială. Astfel, creșterea vitezei de uzură a capului șinelor a asigurat îndepărtarea stratului superficial afectat de oboseală, înainte de apariția defectelor. Proprietățile fizice ale acestor șine se datorează, în bună parte, regimului de răcire accelerată aplicată la tratamentul termic.

Sunt cunoscute oțeluri durificabile, (**US 5131965**), a căror compoziție chimică, în procente de greutate, este formată din 0,26%...0,37% carbon, din 0,50%...1,0% mangan, aproximativ 1,0%...3,0% siliciu, aproximativ 1,5%...2,5% crom, în jur de 0,3%...1,0% molibden, între 0,05%...0,2% vanadiu, 0,03%...0,1% titan, 0,01%...0,03% aluminiu, mai puțin de 0,005% azot. Compoziția mai conține, preferabil, mai puțin de 0,025% fosfor și sulf. Produsele din aceste oțeluri conțin nitruri de aluminiu, libere cu granulație fină, amplasate la marginea grăunților și o combinație de duritate și rezistență la fisurare, de asemenea, ridicate.

Aceste oțeluri prezintă dezavantajul că nu posedă o rezistență ridicată la oboseală.

Alte oțeluri cunoscute, (**RO 102532**), utilizate în industria construcțiilor de mașini, au în compoziție, în procente de greutate, 0,28%...0,43% carbon, 0,8%...1,0% mangan, 0,9%...1,20% siliciu, până la 0,030% fosfor, până la 0,030% sulf, 0,90%...1,20% crom, 0,015%...0,030% aluminiu, 0,015%...0,035% titan, 0,001%...0,004% bor, restul fiind fier și impurități accidentale.

Tratamentul termic, la care este supus oțelul respectiv, constă din călire. Austenitizarea se face la 875°C cu răcire în ulei apoi revenire la 530°C.

Cu toate că acest oțel are un preț de cost scăzut, nu posedă o rezistență la uzură prin contact și nu este indicat la realizarea șinelor de cale ferată.

Problema care apare în cazul șinelor de cale ferată constă în aceea că structura oțelului din care sunt produse aceste șine trebuie să confere produselor respective o bună rezistență la uzură și la oboseală, astfel încât stratul cu defecte de suprafață să poată fi înlăturat destul de ușor, fără a da posibilitatea fisurilor care apar în timpul utilizării să se propage în adâncime.

Un prim obiectiv al invenției este un procedeu de realizare a unui oțel a cărui microstructură, în capul șinei, să fie bainită fără carburi, cu o anumită cantitate de martensită bogată în carbon, împreună cu austenită reziduală, structură care conferă o rezistență mare la uzură și oboseală superficială.

Problema a fost rezolvată prin intermediul unui procedeu de realizare a unui oțel a cărui structură să fie compusă, în cea mai mare parte, din bainită, fără carburi, oțel a cărui compoziție chimică, în procente de greutate, să fie alcătuită din 0,05%... 0,50% carbon, din 1,0%...3,0% siliciu și/sau aluminiu, din 0,50%...2,0% mangan, din 0,25%...2,50 % crom, până la 3,0% nichel, până la 0,025% sulf, până la 1,0% wolfram, până la 1,0% molibden, până la 3,0% cupru, până la 0,10% titan, până la 0,50% vanadiu, până la 0,005% bor, restul fiind constituit din fier și impurități accidentale. Produsele respective, de la temperatura de laminare, sunt răcite continuu în aer sau într-un mediu corespunzător până la temperatura mediului ambiant.

Procedeu, conform invenției, prezintă următoarele avantaje:

- mărește durata de folosire a șinelor;
- nu necesită condiții deosebite de aplicare;
- poate fi aplicat la o gamă mai mare de produse din construcția de mașini.

Procedeu, conform invenției, va fi prezentat în continuare în legătură și cu fig. 1...8, care reprezintă:

- fig. 1, profilul durtății unei șine de cale ferată din oțel bainitic;
- fig. 2, diagrama temperatură-timp de răcire;
- fig. 3, micrografia electronică a unei structuri bainitice, mărire 5000;
- fig. 4, curbele de încercare la încovoiere prin șoc pe epruvete cu creștătură, pentru oțelul realizat cu procedeul conform invenției și pentru un oțel perlitic;
- fig. 5, graficul vitezei de uzură prin aderentă în raport cu duritatea probelor din oțel bainitic;
- fig. 6, duratele de rezistență la uzură prin abraziune pentru oțelul bainitic și pentru unele oțeluri cunoscute în domeniu;
- fig. 7, grafic al profilului durtății unei îmbinări prin sudură în arc electric a două probe din oțel bainitic;
- fig. 8, curba Jominy a călibilității pentru un oțel bainitic.

Procedeu conform invenției constă din selectarea compoziției chimice a oțelului utilizat care, prin răcire continuă, în timpul tratamentului termic, să permită formarea unei structuri bainitice cu o anumită cantitate de martensită bogată în carbon, împreună cu austenită reziduală. Această structură este asigurată de un oțel a cărui compoziție chimică, în procente de greutate, cuprinde 0,05%...0,50% carbon, 0,50%...3,0% aluminiu și/sau siliciu, 0,05%...2,5% mangan, până la 3,0% nichel și/sau cupru, 0,25%...2,5% crom, până la 1,0% wolfram, până la 1,0% molibden, până la 0,10% titan, până la 0,50% vanadiu, până la 0,0050% bor, restul fiind fier și impurități accidentale.

În domeniul de compoziție, valorile respective pot varia în funcție de duritate, ductilitate și alte caracteristici mecanice. Toate oțelurile trebuie însă să prezinte o structură bainitică și fără carburi. Astfel, conținutul preferat în carbon poate fi cuprins în domeniul 0,10...0,35%. De asemenea, conținutul preferat de siliciu poate fi de 1,0%...2,50% în greutate, conținutul în mangan de 1,0%...2,50% în greutate, conținutul de crom de 0,35%...2,25% în greutate și conținutul de molibden de 0,15%...0,60% în greutate. Aceste oțeluri au, în general, valori ale durtății cuprinse între 390 și 500 Hv30, deși pot fi produse oțeluri cu valori ale rezistenței mai scăzute. Prin adăugarea borului se întârzie transformarea structurii în ferită, astfel

95 încât, în timpul răcirii continue, bainita se formează într-un interval mai larg de viteze de răcire. În plus, curba bainitei are un vârf aplatizat, astfel încât temperatura de transformare este virtual constantă într-un interval larg de viteze de răcire, ceea ce determină variații minime ale rezistenței pe secțiuni relativ mari răcite în aer sau în mediu care permite o viteză mare de răcire.

100 Sinele de cale ferată au fost produse până acum în special din oțeluri perlitice. Aceste oțeluri se apropie însă de limita proprietăților lor de material în acest domeniu de utilizare. Prin urmare, a apărut necesitatea evaluării unor tipuri alternative de oțeluri care să prezinte o rezistență bună la uzare și la oboseală superficială, precum și ductilitate și sudabilitate îmbunătățite.

105 Procedul conform invenției utilizează un oțel care prezintă o rezistență crescută la solicitări prin șoc și ductibilitate îmbunătățită în comparație cu oțelurile perlitice.

Este cunoscut faptul că problema fragilității, determinată de prezența carburilor, poate fi atenuată prin adăugarea unor cantități relativ mari de siliciu și/sau aluminiu, de exemplu 1...2%, oțelurilor slab aliate. Prezența siliciului și/sau a aluminului în oțelurile la care, în timpul tratamentului termic, în timpul transformării, duce la formarea bainitei, favorizează conservarea regiunilor austenitice ductile, bogate în carbon și nu favorizează formarea straturilor fragile de cementită intralamelară, pornindu-se de la premisa că austenita reziduală, dispersată, este stabilă din punct de vedere termic și mecanic. S-a demonstrat că austenita reziduală, în urma transformării prin răcire continuă în domeniul de temperatură bainitic, apare fie sub formă de straturi fine intralamelare, fie aglomerată în blocuri. În vreme ce forma fin divizată în straturi intralamelare prezintă o stabilitate termică și mecanică foarte ridicată, forma aglomerată în blocuri se poate transforma în martensită cu conținut bogat în carbon, care prezintă o rezistență la fracturare (rezistență la propagarea unei fisuri preexistente) mai scăzută. Este necesar un raport mai mare de 0,9 între cele două forme (fin divizată/blocuri) pentru a se asigura o tenacitate bună, ceea ce se poate obține printr-o alegere judicioasă a compoziției oțelului și a tratamentului termic aplicat oțelului respectiv. În acest fel se poate obține o microstructură de tip bainită superioară, care nu conține carburi și are, drept constituenți de bază, ferita bainitică, austenita reziduală și martensita cu un conținut ridicat de carbon. Așa cum s-a prezentat anterior, oțelul respectiv poate conține, în procente de greutate, 0,05%...0,50% carbon, 1,0%...3,0% siliciu și/sau aluminiu, 0,50%...2,50% mangan, 0,25%...2,50% crom, restul fiind fier și impurități accidentale. Oțelul mai poate cuprinde unul sau mai multe dintre următoarele elemente, în procente de greutate, până la 3,0% nichel, până la 0,025% sulf, până la 1,0% wolfram, până la 1,0% molibden, până la 3,0% cupru, până la 1,0% titan, până la 0,50% vanadiu și până la 0,005% bor. Conținutul în carbon al compoziției chimice preferate poate fi de 0,10%...0,35%. Conținutul în siliciu poate fi de 0,10%...2,50%. De asemenea, conținutul de mangan poate fi de 1,0%...2,50%, conținutul în crom poate fi de 0,35%...2,25%, iar conținutul în molibden poate fi de 0,15%...0,60%.

135 În urma prelucrării la cald prin laminare, produsul obținut din oțelul respectiv, este supus, de la temperatura de laminare, unei răcirii continue, tratament în urma căruia se obține un produs rezistent la oboseală superficială și la uzură, având o microstructură lipsită de carburi. De asemenea, șina de cale ferată, obținută cu acest

140

RO 116650 B1

procedeu, prezintă rezistență crescută la oboseală superficială, ductilitate, rezistență la oboseală prin încovoiere și rezistență la fracturare ridicate, precum și o rezistență la uzura de aderență similară sau mai bună decât a oțelurilor perlitice tratate termic și utilizate în mod curent.

În anumite circumstanțe, este avantajos ca șina să prezinte o viteză de uzură mai ridicată pentru a permite îndepărtarea stratului afectat datorită fenomenului de oboseală superficială. O modalitate evidentă de creștere a vitezei de uzură a șinei constă în scăderea durtății acesteia. O scădere semnificativă a durtății șinei determină totuși o deformare plastică severă la nivelul capului șinei, efect care trebuie evitat.

Acest lucru se poate realiza prin producerea unei șine prezentând o durtate și o rezistență suficient de ridicate pentru a împiedica o deformare plastică excesivă în timpul utilizării, menținându-se în acest fel forma șinei, viteza de uzură fiind însă suficient de mare pentru a asigura îndepărtarea stratului afectat datorită oboselii superficiale. În acest scop, procedeul conform invenției constă din introducerea deliberată, în microstructura bainitică, lipsită de carburi, a unei proporții mici de ferită proeutectoidă printr-o ajustare corespunzătoare a compoziției chimice a oțelului utilizat.

Lingourile din oțelurile utilizate, conform tabelului următor, au fost laminate sub formă de platbande de 30 mm grosime (vitezele de răcire ale platbandelor de 30 mm grosime sunt apropiate de cele ale centrului capului șinei). Lingourile utilizate au fost de formă pătrată cu latura de 125 mm. Platbandele au fost răcite de la o temperatură de aproximativ 1000°C de sfârșit de laminare până la temperatura mediului ambiant. Microstructurile apărute în stare laminată cuprind un amestec de bainită fără carburi, austenită reziduală și diferite proporții de martensită bogată în carbon, așa cum se poate observa în fig. 3.

În tabelul prezentat în continuare se face o comparație între proprietățile mecanice ale platbandelor experimentale de 30 mm grosime din oțel bainitic cu ale șinelor produse în mod curent prin laminare și tratament termic (MHT).

Tipul șinei	Limita de curgere, 0,2% PS (N/mm ²)	Rezist. de rupere, TS (N/mm ²)	El, (%)	RofA, (%)	Duritatea, (HV30)	Energia de rupere, prin șoc CVN (J) la 20 °C	Rezist. la fracturare -K _{IC} la - 20°C MPcm ²	Viteza de uzură la aderență (mg/m) (tensiunea de contact 750) (N/mm ²)
MHT Baini- tic	800-900 730-1230	1150-1300 1250-1600	9-13 14-17	20-25 40-55	360-400 400-500	3-5 20-39	30-40 45-60	20-30 3-36

Platbandele din oțel bainitic de 30 mm grosime, obținute prin laminare, prezintă o creștere semnificativă a rezistenței și a durtății, în comparație cu șinele din oțel perlitic tratat termic, precum și o îmbunătățire a energiei de rupere la încovoiere prin șoc pe epruvete tip Charpy de la 4 la 35 J la 20 °C. În figura 4 sunt prezentate curbele de încercare la încovoiere prin șoc pe epruvete cu creștătură în "V" pentru două oțeluri bainitice cu compoziția chimică alcătuită din 0,22% carbon, din 2% crom, din 0,5% molibden, și din 0,24% carbon, 0,5% crom, 0,5% molibden, 0,0025% bor, laminate la cald și pentru un oțel perlitic laminat și tratat termic. Cele două oțeluri bainitice prezintă o rezistență mare la încovoiere prin șoc până la temperaturi de - 60°C.

Comportarea la uzura de aderență a platbandelor din oțel bainitic de 30 mm grosime, laminate, la o tensiune de contact de 750 N/mm^2 , este mai bună decât cea a șinelor din oțel perlitic tratat termic.

Oțelurile bainitice utilizate în cazul procedurii conform invenției, prezintă și o rezistență ridicată la uzură abrazivă, cu durate relative de rezistență la uzură de aproximativ 5,0 în raport cu un oțel moale, utilizând, drept abraziv, cuarț rotunjit. În fig. 6 se poate observa că aceste durate de rezistență la uzură sunt superioare multor materiale rezistente la uzură și care sunt disponibile comercial, inclusiv unui oțel martensitic cu 13% crom.

Rezistența la fracturare a platbandelor de 30 mm grosime din oțel bainitic este semnificativ mai mare, fiind cuprinsă de $45...60 \text{ MPcm}^2$ în comparație cu cea așinelor de cale ferată din oțel perlitic tratat termic, la care aceste valori sunt de între $30...40 \text{ MPcm}^2$.

Platbandele din oțel bainitic de 30 mm grosime, laminate, sunt ușor sudabile cap la cap, în arc electric, cu valori ale zonei de influențare termică (HAZ) asemănătoare sau ușor mai ridicată decât ale plăcilor sudate și răcite în aer, așa cum se prezintă în fig. 7.

Platbandele experimentale din oțel bainitic de 30 mm grosime, laminate, au prezentat valori ridicate ale călibrității, așa cum este prezentat în fig.8, cu valori aproape constante ale durtății la distanțe de $1,5...50 \text{ mm}$ față de capătul călit, corespunzătoare unor viteze de răcire, la 700°C , de $225...2^\circ\text{C/s}$.

Revendicări

1. Procedeu de obținere a unui oțel bainitic fără carburi, rezistent la oboseală superficială și la uzură, **caracterizat prin aceea că** include etapele de laminare la cald a oțelului a cărui compoziție, în procente de greutate, cuprinde 0,05%...0,50% carbon, 1,0%...3,0% siliciu și/sau aluminiu, 0,50%...2,50% mangan, 0,25% și 2,50% crom, până la 3,0% nichel, până la 0,025% sulf, până la 1,0% wolfram, până la 1,0% molibden, până la 3,0% cupru, până la 0,10% titan, până la 0,50% vanadiu, până la 0,005% bor, restul fiind fier și impurități accidentale, și de răcire continuă a șinei de la temperatura de laminare la temperatura ambiantă, în mod natural, în aer, sau prin răcire accelerată.

2. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, conținutul în carbon al șinei este 0,10%...0,35% în greutate.

3. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, conținutul în siliciu este de 1,0%...2,50% în greutate.

4. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, conținutul în mangan este de 1,0%...2,50% în greutate, conținutul de crom este de 0,35%...2,25% în greutate, iar conținutul în molibden este de 0,15%...0,60% în greutate.

5. Procedeu conform revendicărilor 1 la 4, **caracterizat prin aceea că** este utilizat la producerea șinelor de oțel bainitic fără carburi.

Președintele comisiei de examinare: **ing. Zamfir Nicolae**

Examinator: **ing. Spătaru Magdalena**

(51) Int.Cl.⁷ C 21 D 9/04;
C 21 D 1/20;
C 21 D 1/02;
C 22 C 38/04;

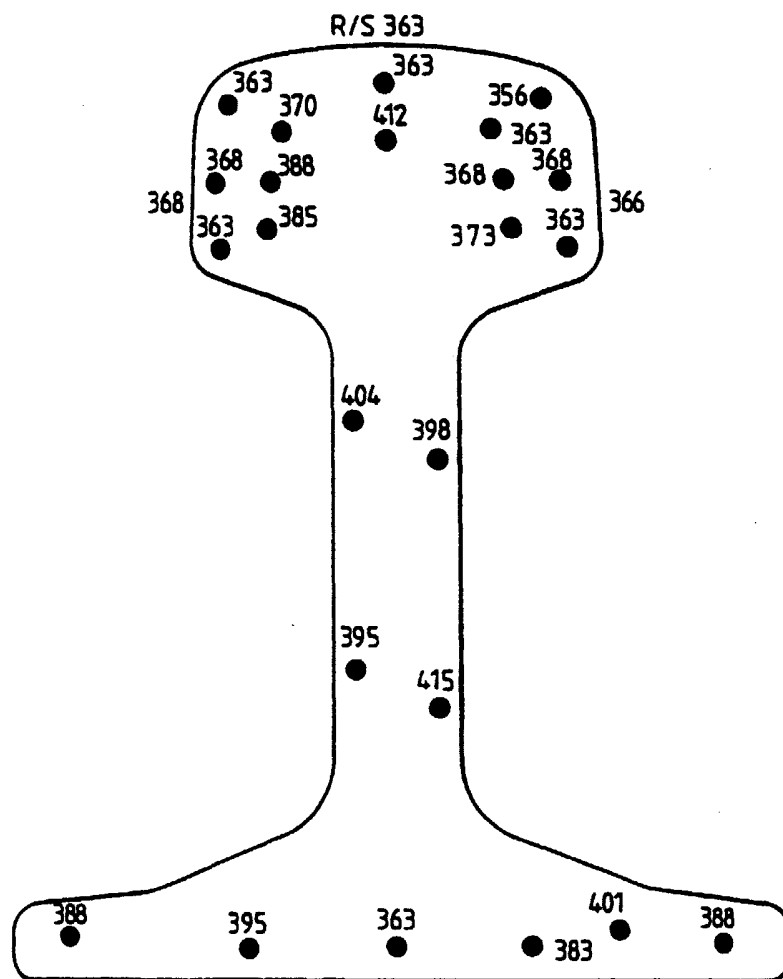


Fig. 1

(51) Int.Cl.⁷ C 21 D 9/04;

C 21 D 1/20;

C 21 D 1/02;

C 22 C 38/04;

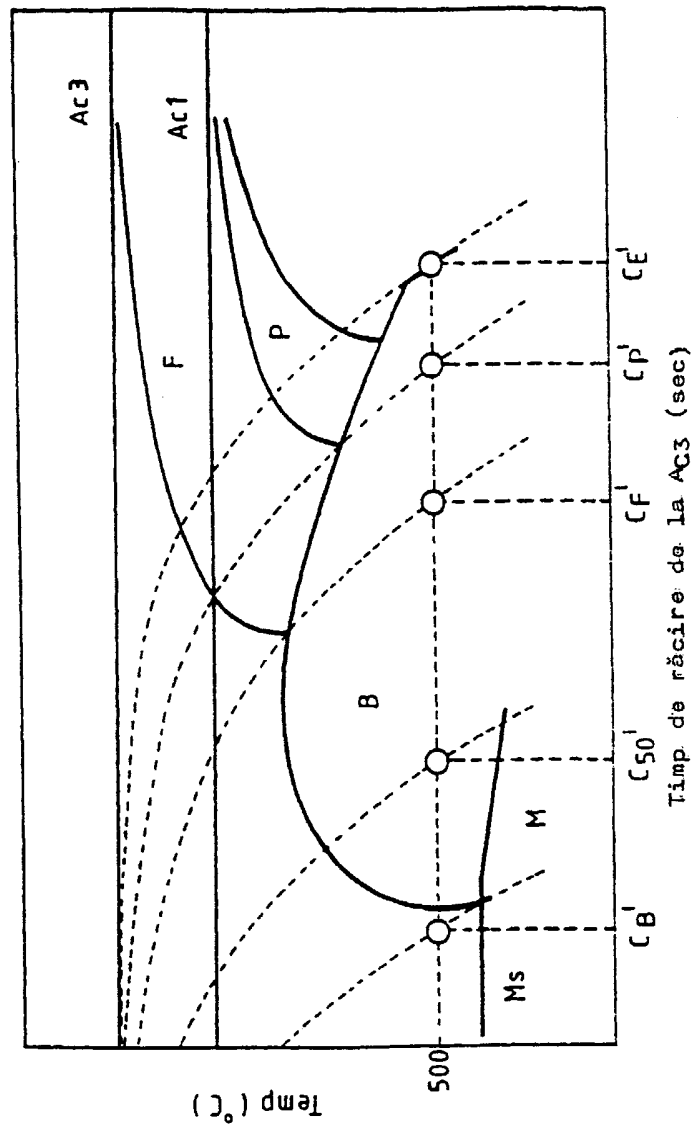


Fig. 2

RO 116650 B1

(51) Int.Cl.⁷ C 21 D 9/04;
C 21 D 1/20;
C 21 D 1/02;
C 22 C 38/04;



× 5000

Fig. 3

(51) Int.Cl.⁷ C 21 D 9/04;

C 21 D 1/20;

C 21 D 1/02;

C 22 C 38/04;

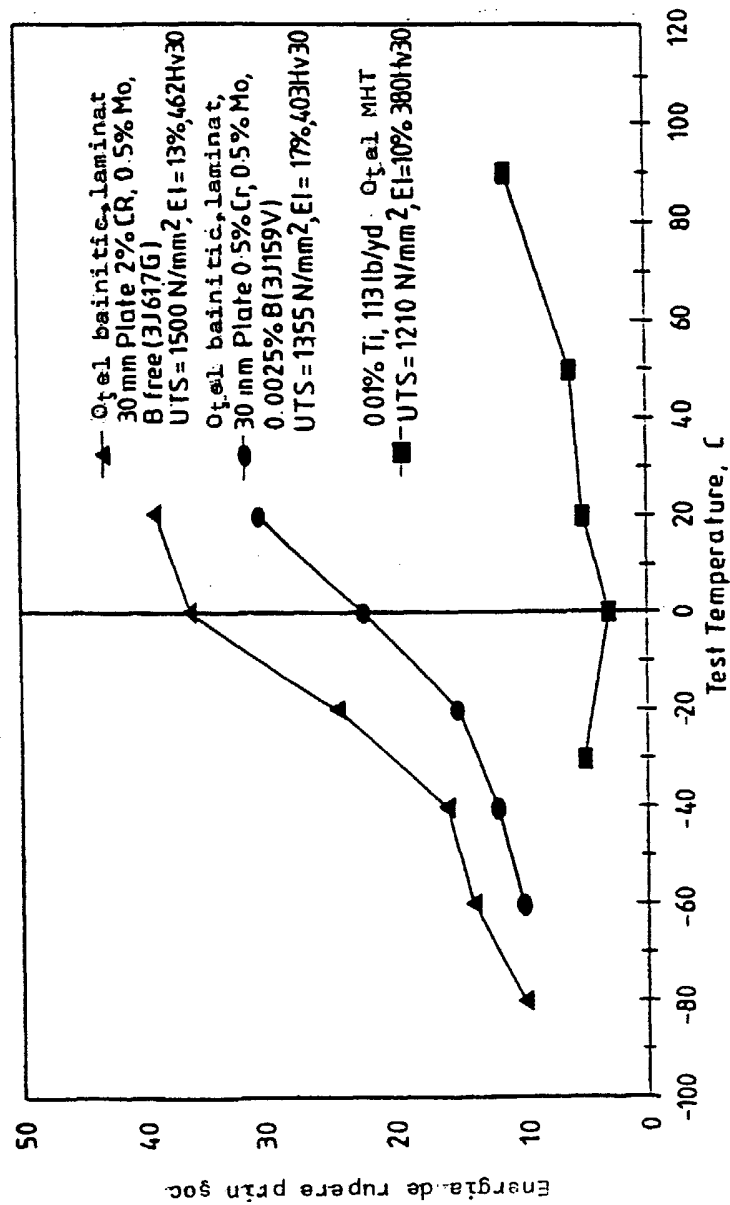


Fig. 4

(51) Int.Cl.⁷ C 21 D 9/04;
C 21 D 1/20;
C 21 D 1/02;
C 22 C 38/04;

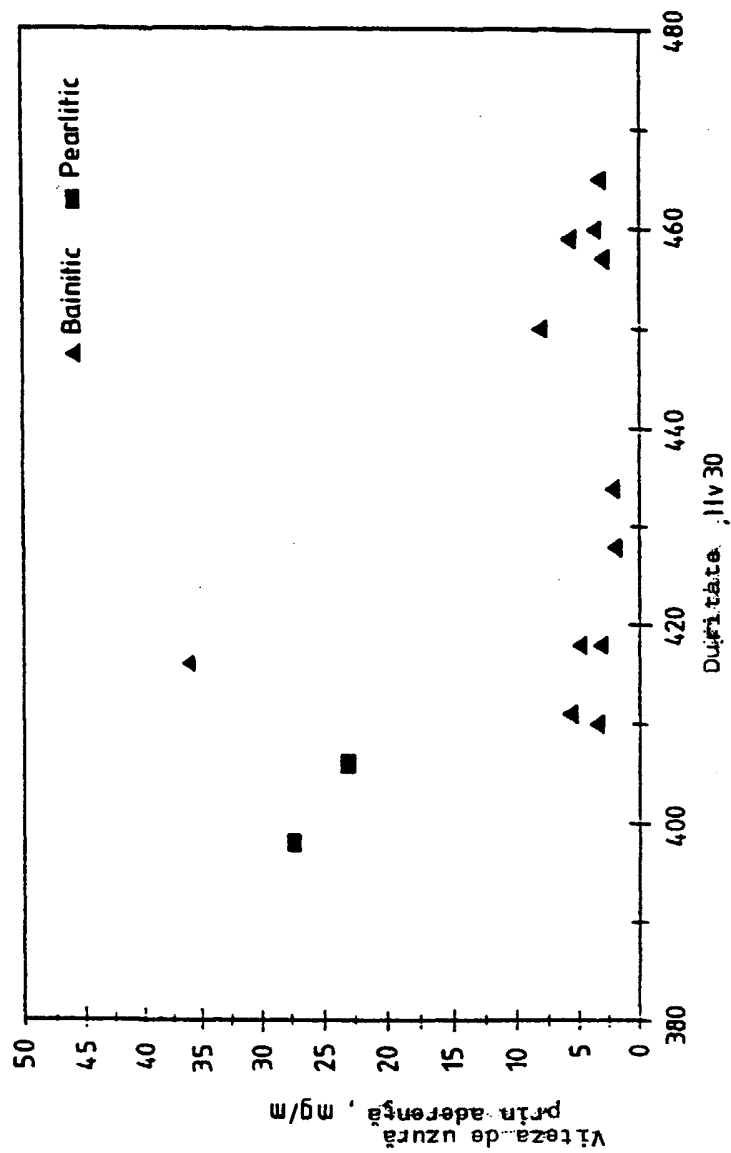


Fig. 5

(51) Int.Cl.⁷ C 21 D 9/04;

C 21 D 1/20;

C 21 D 1/02;

C 22 C 38/04;

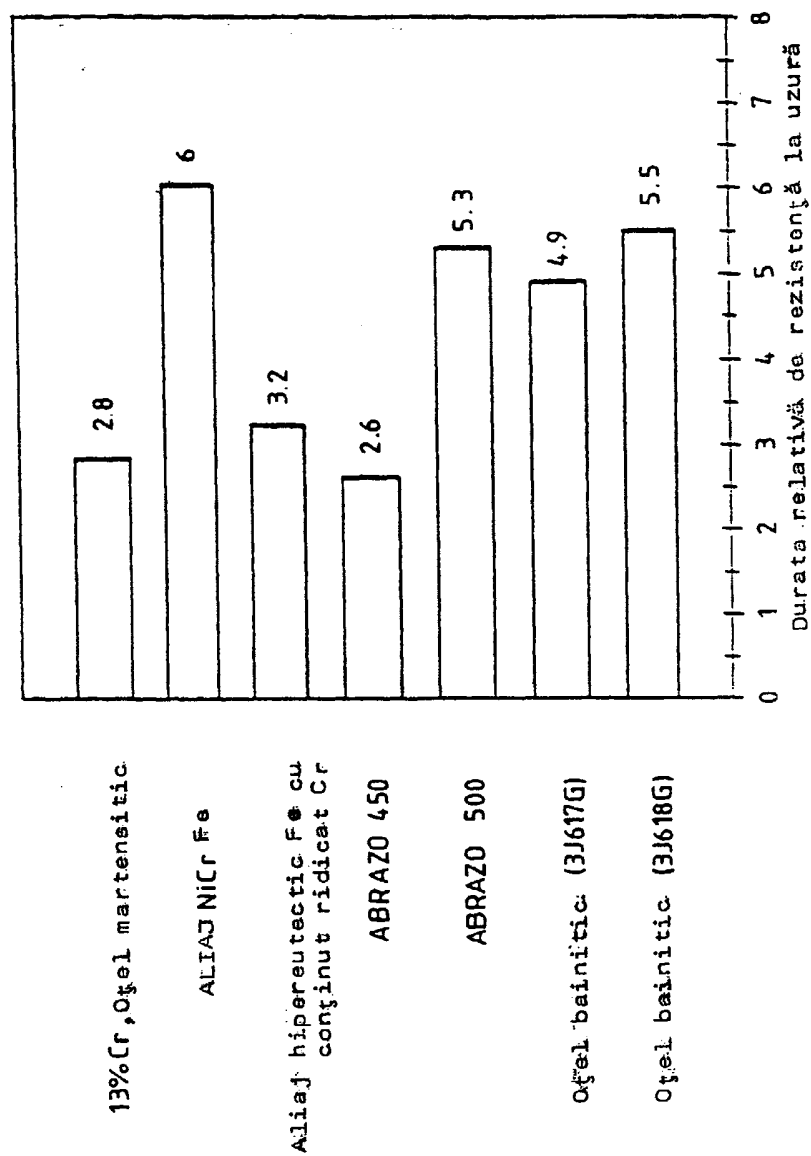


Fig. 6

RO 116650 B1

(51) Int.Cl.⁷ C 21 D 9/04;

C 21 D 1/20;

C 21 D 1/02;

C 22 C 38/04;

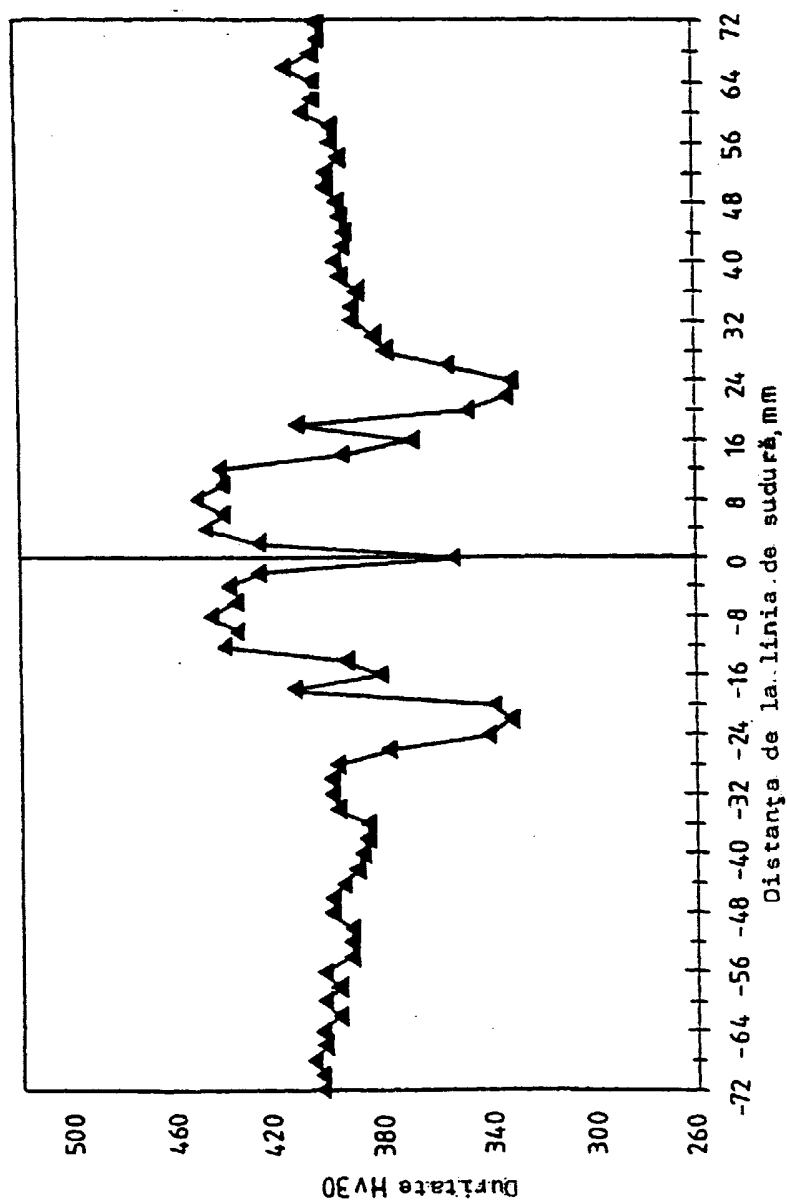


Fig. 7

(51) Int.Cl.⁷ C 21 D 9/04;

C 21 D 1/20;

C 21 D 1/02;

C 22 C 38/04;

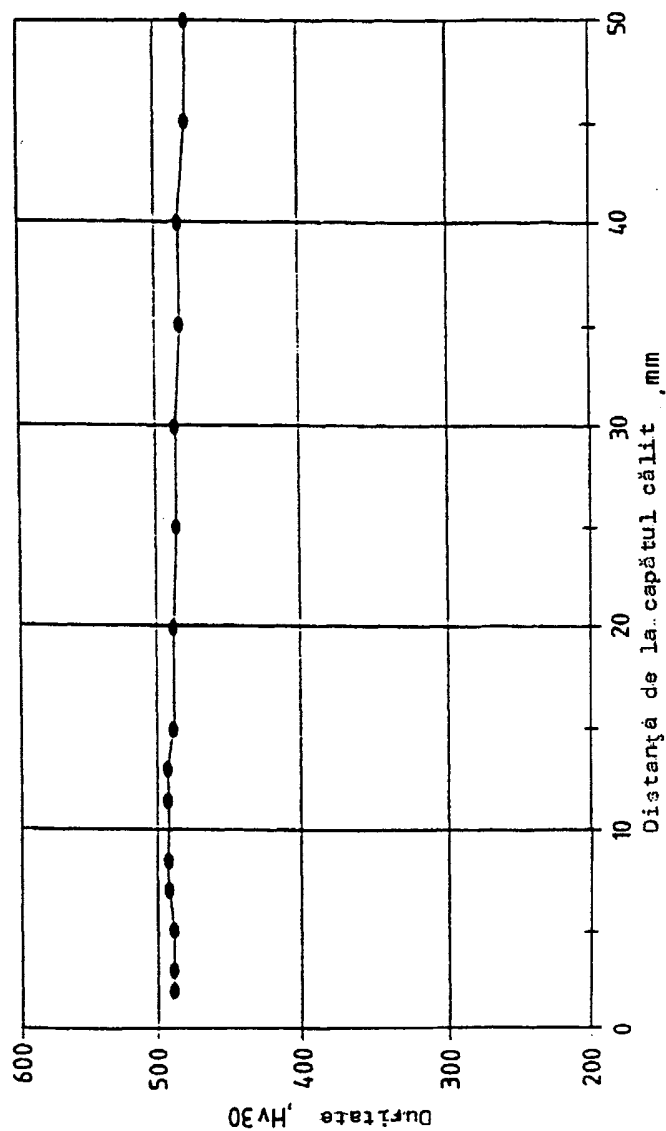


Fig. 8

