

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI
INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMISOARA
FACULTATEA DE MECANICA

ING. NICOLAE GREAVU

SUDAREA FONTEI CU GRAFIT NODULAR

CONDUCATOR STIINTIFIC

PROF. DR. DOC. ST. ING. VLADIMIR POPOVICI

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

TIMISOARA 1980

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA	
BIBLIOTECA CENTRALĂ	
Volumul Nr.	392/93
Dulap	306 Lt. E

SUDAREA FONTEI CU GRAFIT NODULAR

C U P R I N S

=====

	<u>Pag.</u>
1. Introducere	1
2. Fonte cu grafit nodular pentru construcția de mașini	4
2.1. Procesul de modificare al fontelor cu grafit nodular	5
2.2. Compoziția chimică a fontelor cu grafit nodular . .	6
2.3. Structura fontelor cu grafit nodular	6
2.4. Tratamentul termic al pieselor din fontă cu grafit nodular	8
2.5. Proprietățile fizico-mecanice ale fontelor cu gra- fit nodular	8
2.5.1. Relații generale între caracteristicile fizico- mecanice	8
2.6. Stadiul actual al fabricării fontelor cu grafit nodular	10
2.7. Contribuții ale cercetătorilor români la dezvolt- tarea fabricării fontelor cu grafit nodular	11
3. Stadiul actual al sudării fontelor cu grafit nodular..	12
3.1. Materiale de adaos folosite la sudarea fontei cu grafit nodular	12
3.1.1. Materiale de adaos pentru sudarea la cald	13
3.1.2. Materiale de adaos pentru sudarea la rece	14
4. Cercetări și experimentări în vederea obținerii unor materiale de adaos pentru sudarea la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular	17
4.1. Vergele din fontă cu grafit nodular pentru suda- rea la cald cu flacără oxiacetilenică	18
4.1.1. Materii prime folosite la elaborarea vergelelor din fontă cu grafit nodular	19
4.1.2. Elaborarea fontei pentru vergele	19

4.1.3. Analiza chimică a câtorva tipuri de vergele folosite la sudare	20
4.1.4. Structura vergelelor turnate	21
4.2. Fluxuri și paste de protecția	23
4.2.1. Fluxuri pentru sudarea cu flacără	23
4.2.2. Fluxuri folosite sub formă de înveliș pe vergelele din fontă nodulară pentru sudarea manuală cu arc	24
4.2.3. Electrozi sintetici tubulari pentru sudarea manuală, semiautomată și automată cu arc	24
4.3. Alte materiale de adaos	26
5. Cercetări și experimentări în vederea determinării parametrilor optimi de remaniere prin sudare a pieselor din fontă cu grafit nodular	28
5.1. Analiza comportării la sudare a materialelor	28
5.2. Analiza comportării la sudare a fontelor	41
5.2.1. Factorul metalurgic	43
5.2.1.1. Structura primară a materialului depus	44
5.2.1.2. Structura secundară a materialului depus prin sudare și a zonei de influență termică	46
5.2.1.3. Tratamentul băii de metal topit pe substanțe modificatoare	47
5.2.1.4. Influența vitezei de răcire	48
5.2.2. Factorul mecanic	49
5.2.3. Alegerea epruvetei pentru determinarea cîmpului termic la sudarea la cald la diferite grade de preîncălzire	50
5.3. Remanierea prin sudare la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular cu defecte de turnare	62
5.3.1. Pregătirea pieselor în vederea sudării	62
5.3.2. Preîncălzirea pieselor în vederea sudării	63
5.3.3. Execuția operațiilor de remaniere prin sudare	66
5.3.3.1. Sudarea cu flacără oxiacetilenică	66
5.3.3.2. Sudarea cu arc electric	68
5.3.4. Analiza îmbinărilor sudate	69
5.3.4.1. Piese turnate din fontă cu grafit nodular pentru servodirecții și hidromotoare lente	69

5.3.4.2. Piese din fontă cu grafit nodular din producția curentă a Intreprinderii de autocamioane Brașov	73
5.3.4.3. Piese din fontă cu grafit nodular din producția curentă a Intreprinderii Electroputere Craiova	100
5.3.4.4. Remanierea prin sudare la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular aliate	102
5.3.4.5. Remanierea prin sudare la cald a pieselor din fontă cu grafit lamelar folosind materiale de adaos din fontă cu grafit nodular	110
5.3.4.6. Remanierea prin sudare la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular cu electrozi din oțel.....	114
5.3.4.7. Forme de separări de grafit degenerat întâlnite în metalul depus prin sudare la cald	119
5.4. Remanierea prin sudare la rece a pieselor din fontă cu grafit nodular cu defecte de turnare	121
5.5. Caracteristicile fizico-mecanice obținute la fontele cu grafit nodular sudate la cald și la rece.....	130
6. Aplicații industriale	131
6.1. Exemple de piese reprezentative turnate din fontă cu grafit nodular remaniate prin sudare la cald și la rece	136
7. Concluzii finale	146
8. Bibliografie	152

1. Introducere

În momentul de față oțelul și fonta sînt materialele cele mai des folosite la turnarea pieselor pentru industria construcțiilor de mașini.

Se poate aprecia că piesele turnate ocupă în medie un volum de aproximativ 50% din greutatea tuturor mașinilor care funcționează în industrie, iar valoarea lor reprezintă 20 ... 25% din costul total al acestora [79;80; 83] .

Astăzi, atît în țara noastră cît și pe plan mondial, tendința este de a micșora cît mai mult greutatea mașinilor și ca urmare a pieselor turnate. Această tendință este corelată cu caracteristicile fizico-mecanice din ce în ce mai ridicate pentru ambele materiale, în vederea economisirii cît mai mari a oțelului și a fontei.

Din considerente tehnice și economice, în momentul de față asistăm la o schimbare treptată a structurii producției de piese turnate, în sensul măririi producției de piese turnate din fontă de calitate superioară.

În comparație cu celelalte materiale (oțeluri sau aliaje neferoase) , fontele sînt mai ieftine și posedă în plus o serie de avantaje, în special în ceea ce privește proprietățile de turnare [103] . Tehnologiile de turnare la fonte, sînt mai simple și cu rezultate mai constante în cadrul unei producții de serie.

Rezistența la rupere mai ridicată (poate atinge pe cea a oțelurilor în cazul fontei cu grafit nodular), capacitatea de amortizare a vibrațiilor, valoarea ridicată a raportului σ_c / σ_r (în cazul fontei cu grafit nodular), prelucrabilitatea bună prin așchiere, rezistența mai mare la uzură în condițiile de frecare cu ungere, rezistența mare la șocuri termice, sînt principalele proprietăți ce trebuie luate în seamă la proiectarea pieselor turnate din fontă pentru industria construcțiilor de mașini [79;80;103]

În tabelul 1.1. sînt prezentate limitele în care pot să varieze principalele proprietăți fizico-mecanice ale fontelor de

calitate superioară, în funcție de forma separărilor de grafit și a structurii masei metalice de bază [79]

*Principalele caracteristici fizico-mecanice
ale fontelor de calitate superioară.*

Tabelul 1.1.

<i>Nr. crt.</i>	<i>Tipul fontei și simbolizarea</i>	σ_r <i>daN/mm²</i>	δ <i>%</i>	<i>Duritate HB</i>	<i>Structura</i>
1	<i>Cu grafit lamelar Fg.lm.</i>	30...45	0,5...1,0	220...260	<i>perlitică</i>
2	<i>Cu grafit vermicular Fgv</i>	40...60	1,0...3		<i>perlito-feritică</i>
3	<i>Cu grafit nodular Fgn</i>	38...140	2...25	160...300	<i>de la feritică până la perlitică</i>
4	<i>Cu grafit în cuiburi Fm</i>	35...80	2...25	120...300	<i>de la feritică la bainitică</i>

De menționat este faptul că în ultimii 10 ... 15 ani, producția de fontă cenușie turnată în piese a crescut cu 70 ... 80%; în timp ce producția pieselor turnate din fonte modificate de înaltă calitate, indicate în tabelul 1.1. a crescut de peste două ori.

Dintre toate tipurile de fontă, cele cu grafit nodular prezintă cele mai ridicate caracteristici fizico-mecanice.

Inventată și pusă la punct în laboratoarele de cercetări ale societății internaționale Nichel-Company, respectiv Mond Nichel - Company de către K.D.Mills, A.P.Ganebin și N.B.Pilling în anul 1947-1949, fonta cu grafit nodular, adăogă la proprietățile de turnare ale fontei cenușii, rezistența mecanică, tenacitatea și ductilitatea oțelului [8;36;114;119]. Cunoscută și sub denumirea de fontă sferoidală (Franța), fontă nodulară (Anglia), sau fontă ductilă (SUA), fonta cu grafit nodular a fost studiată din ce în ce mai mult după anul 1949 în tot mai multe țări dezvoltate din punct de vedere industrial, trecînd din domeniul fontelor nealiate, la fontele cu grafit nodular înalt aliate cu nichel, crom, mangan, siliciu, etc., adăugîndu-i-se perfecționări continue în special în privința caracteristicilor mecanice, chimice sau termice. În momentul de față se elaborează fonte cu grafit nodular cu caracteristici mecanice foarte ridicate ($\sigma_r = 140 \text{ daN/mm}^2$, $\sigma_{o2} = 110 \text{ daN/mm}^2$; $\delta = 4\%$) comparabile cu cele ale oțelurilor de îmbunătățire (fonta cu grafit nodular sovietică Vc 140-4-3) [1;2]

Datorită proprietăților acestor fonte, ponderea în elab-
rarea de piese turnate pentru industria constructoare de mașini din
țara noastră capătă un loc din ce în ce mai mare. Intreprinderea
de autocamioane Brașov, Intreprinderea de Construcții de Mașini
Reșița, Intreprinderea Unio Satu Mare, Intreprinderea Progresul
Brăila, Intreprinderea Electroputere Craiova și altele, își sporesc
de la an la an producția de piese turnate din fontă cu grafit
nodular.

La o producție de piese turnate din fontă cu grafit nodular
de serie mare, se înregistrează însă și un procent sporit de piese
cu defecte de turnare, piese care se rebutează, pierzându-se în
acest fel un volum important de energie, manoperă și materiale.

Prin aceasta, sudurii i se oferă o primă posibilitate de a
interveni în sprijinul turnătoriilor de fontă cu grafit nodular din
țara noastră, prin introducerea în circuitul productiv a pieselor
remaniate prin sudare.

Cu toate că remanierea prin sudare a defectelor de turnare,
constituie o pîrghie importantă în salvarea pieselor turnate din
fontă, contribuind prin aceasta la reducerea procentului de rebut
din turnătoriile noastre, în prezent aceasta se face cu multă re-
zervă.

Remanierea prin sudare a pieselor turnate se rezumă doar
la defecte superficiale care nici nu ar trebui să constituie obiec-
tul unor astfel de operații. Simpla eliminare a lor prin polizare,
sau a folosirii unor chituri speciale ar fi suficientă. Această si-
tuație se datorește faptului că problema remanierilor prin sudare
este privită cu o oarecare rezervă de către proiectanți, din care
cauză caietele de sarcini pentru piesele turnate din fontă cu grafit
nodular sînt foarte severe, fapt pentru care și instrucțiunile teh-
nologice pentru remanierea prin sudare sînt limitate și de asemenea
severe [25; 63; 121] , rezumîndu-se în special la sudarea la rece,
cu materiale de adaos nesimilare materialului de bază, materiale
care în general au o rezistență la rupere mult mai scăzută decît
a acesteia [3; 4; 5; 8; 14; 25; 27; 37; 38; 40; 44; 45; 46; 61; 63; 71; 90; 94; 97;
103; 104; 107; 116; 118; 121] .

Pe plan mondial perspectiva remanierilor prin sudare și
a sudării pieselor din fontă cu grafit nodular a crescut odată cu

aparitia materialelor de adaos, care prin depunere, realizează îmbinări tot din fontă cu grafit nodular, similare materialului de bază, cu caracteristici fizico-mecanice, chimice, de coroziune și culoare asemănătoare acestuia [14; 24; 25; 31; 32; 33; 41; 49; 50; 68] .

Aceste materiale de adaos permit remanierea prin sudare a pieselor turnate cu defecte mari, cum sînt retasuri de dimensiuni mari, incluziuni de zgură sau amestec de formare, zone poroase întinse, fisuri și crăpături, lipsuri mari de material, etc. care conferă zonelor remaniate rezistențe la rupere comparabile cu ale materialului de bază.

Așa cum la oțeluri sudarea a fost unanim acceptată ca o tehnică majoră în rezolvarea celor mai îndrăznețe construcții sudate, la fonte, sudarea trebuie să se impună ca o necesitate de prim ordin, nu numai la lucrări de remaniere sau la lucrări de reparații accidentale, ci și la sudarea pieselor turnate din fontă asamblate prin sudare, sau la executarea în construcție sudată a ansamblelor mixte din piese turnate din fontă cu piese din oțel turnat sau forjat [11; 25; 51;] .

Anchetele întreprinse de Institutul Internațional de Turnătorie, au scos în evidență faptul că, la ora actuală, pentru sudarea sau remanierea prin sudarea pieselor din fontă, nu există decît reguli generale, tehnologiile fiind stabilite în funcție de mulți factori printre care cel metalurgic privind structura și cel mecanic, privind valoarea tensiunilor interne sînt cei mai importanți [103] .

2. Fonte cu grafit nodular pentru construcția de mașini

Fontele cu grafit nodular se caracterizează prin prezența separărilor de grafit sub formă nodulară în masa metalică de bază. Ele se obțin în urma unui proces de modificare și reprezintă al treilea tip de fonte modificate folosite în industria construcțiilor de mașini, alături de fontele modificate (cu separări de grafit lamelare cu vîrfuri rotunjite) și a celor cu separările de grafit sub formă vermiculară.

2.1. Procesul de modificare al fontelor cu grafit nodular

În cazul fontelor, prin modificare se înțelege schimbarea condițiilor de formare a germenilor la cristalizarea primară în așa fel încât, să se obțină compactizarea separărilor de grafit sub formă nodulară și mărirea numărului acestor separări într-o măsură cât mai pronunțată în masa metalică de bază [1;15;16;17;68;79; 80;82;83; 86;88] .

Particularitățile procesului de modificare a fontelor cu grafit nodular sînt următoarele:

- modificarea se obține prin introducerea în fonta lichidă a unor cantități mici de elemente sau combinații de elemente (modificatori) atît în stare solidă cît și în stare lichidă;
- prin modificare se influențează în principal forma, numărul separărilor de grafit și dendritele de austenită, deci modificarea influențează în primul rînd structura eutectică a fontelor;
- prin modificare nu se schimbă substanțial compoziția chimică de bază a fontelor;
- efectul de modificare dispăre la menținerea fontelor în stare lichidă, după modificare.

Elementele modificatoare care și-au găsit utilizare în practica industrială sînt următoarele: Calciul (Ca), stronțitul (Sr), bariul (Ba), magneziul (Mg), Ceriul (Ce), bismutul (Bi) și telurul (Te) [79; 103].

În vederea nodulizării grafitului, fonta se modifică aproape în exclusivitate cu modificatori antigrafitizanți ca magneziul și ceriul. Magneziul poate fi introdus în fonta lichidă sub formă metalică (ca element tehnic pur), de prealiaje pe bază de nichel, de cupru sau siliciu sau sub formă de săruri.

La modificarea fontelor cu magneziu sau cu prealiaje de magneziu au loc numeroase procese fizico-chimice printre care cele mai importante sînt următoarele [79] ;

- topirea și evaporarea magneziului cu degajare puternică de vapori de magneziu care barbotează baia de fontă;
- dezoxidarea, desulfurarea și degazarea fontei lichide;

- micșorarea temperaturii fontelor ca urmare a procesului intens de barbotare și de amestecare a acestuia.

In fontele modificate, magneziul se găsește sub formă atomară, în soluție și ca structuri de adsorbție la suprafața germe- nilor și separărilor de grafit.

Nodulizarea grafitului este determinată atât de procesele de desulfurare și dezoxidare cât și de cele de adsorbție a atomilor de magneziu pe suprafața cristalelor de grafit [79; 103].

2.2. Compoziția chimică a fontelor cu grafit nodular

Principalele particularități ale fontelor cu grafit nodular constau în conținutul lor ridicat de carbon și siliciu pe de o parte și scăzut în sulf și fosfor pe de altă parte.

Carbonul și siliciul în fontele cu grafit nodular variază între 3,4 și 3,8% respectiv între 2,0 și 2,8%, justificate de forma nodulară a grafitului cu efect de creștere minim, de proprietăți superioare de turnare și de faptul că, carbonul și siliciul anihilează parțial efectul de albire al magneziului. In afară de acestea siliciul, în cantități mai mari asigură un grad mai mare de asimilare a magneziului de către fonta lichidă și ca urmare o nodulizare a grafitului mai avansată [79; 103]

Manganul poate varia în fontele cu grafit nodular între limitele 0,3 ... 1,5% și are practic aceeași influență ca și la oțel: mărește rezistența la rupere și duritatea și reduce alungirea și reziliența. El are deci un efect perlitizant al masei metalice de bază.

Conținutul de fosfor și sulf se impune a fi cât mai scăzut, deoarece fosforul micșorează puternic plasticitatea și tenacitatea fontelor, iar sulful formează cu magneziul compuși (MgS) care contribuie la creșterea consumului de modificatori și la impurificarea fontei cu sulfuri. In general fontele cu grafit nodular trebuie să conțină sub 0,1% P și sub 0,01% S. [68,79; 103].

In legătură cu compoziția chimică a fontelor destinate tratării cu magneziu trebuie acordată o atenție deosebită elementelor antimodificatoare (Sn, Ti, Sb, Pb, As, Bi) care pot frâna sau chiar suprima în întregime procesul de nodulizare [79].

2.3. Structura fontelor cu grafit nodular

Fontele cu grafit nodular se împart în două grupe și anume:

- fonte cu grafit nodular obișnuite a căror structură dorită se obține printr-un tratament termic:

- fonte cu grafit nodular a căror structură dorită, se obține direct din turnare, fără tratament termic.

În tabelul 2.1 sînt date caracteristicile mecanice medii ale fontelor cu grafit nodular elaborate în țară și străinătate [80].

Caracteristici mecanice medii ale fontelor cu grafit nodular.

Tabelul 2.1.

Caracteristica	Unitatea	Fgn 370-17	Fgn 420-12	Fgn 500-7	Fgn 700-2	Fgn 800-2	
<u>La tracțiune</u>							
Rezistența σ_r	σ_r	N/mm ²	470	475	570	830	990
Limita de curgere	$\sigma_{0,2}$	N/mm ²	335	340	370	690	880
Alungirea	A	%	15	15	11,2	4,5	1,5
Modul	E	10 ³ N/mm ²	172	172	172	165	167
Coeficient Poisson	M	—	0,29	0,29	0,31	0,28	0,28
<u>La compresiune</u>							
Limita de curgere		N/mm ²	365	370	390	615	940
Modulul		10 ³ N/mm ²	165	165	168	160	165
Coeficientul Poisson	M	—	0,26	0,31	0,31	0,27	0,27
<u>La torsiune</u>							
Rezistența		N/mm ²	480	485	515	615	890
Limita de curgere 0,0375%		N/mm ²	200	210	200	335	500
Modulul G		10 ³ N/mm ²	640	650	630	610	645
Modulul calculat (1)		10 ³ N/mm ²	667	668	661	647	654
(1) $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$	În care: E este modulul de elasticitate la tracțiune; μ coeficientul lui Poisson						

Fontele cu grafit nodular cu alungire ridicată și rezistență la rupere relativ scăzută au structura masei metalice de bază feritică (Fgn 370-17), în timp ce fontele cu alungire mică și rezistență la rupere ridicată au structura masei metalice de bază perlitică (Fgn 700-2; Fgn 800-2).

Fontele cu grafit nodular cu structura masei metalice de bază ferito-perlitică sau perlito-feritică au rezistențe la rupere și alungiri diferite, în funcție de cantitatea constituienților ferită sau perlită. În fig. 2.1 este dată microstructura fontelor.

cu grafit nodular cu masa metalică feritică (a), ferito-perlitică (b) și perlitică(c) [31;32;68;79] .

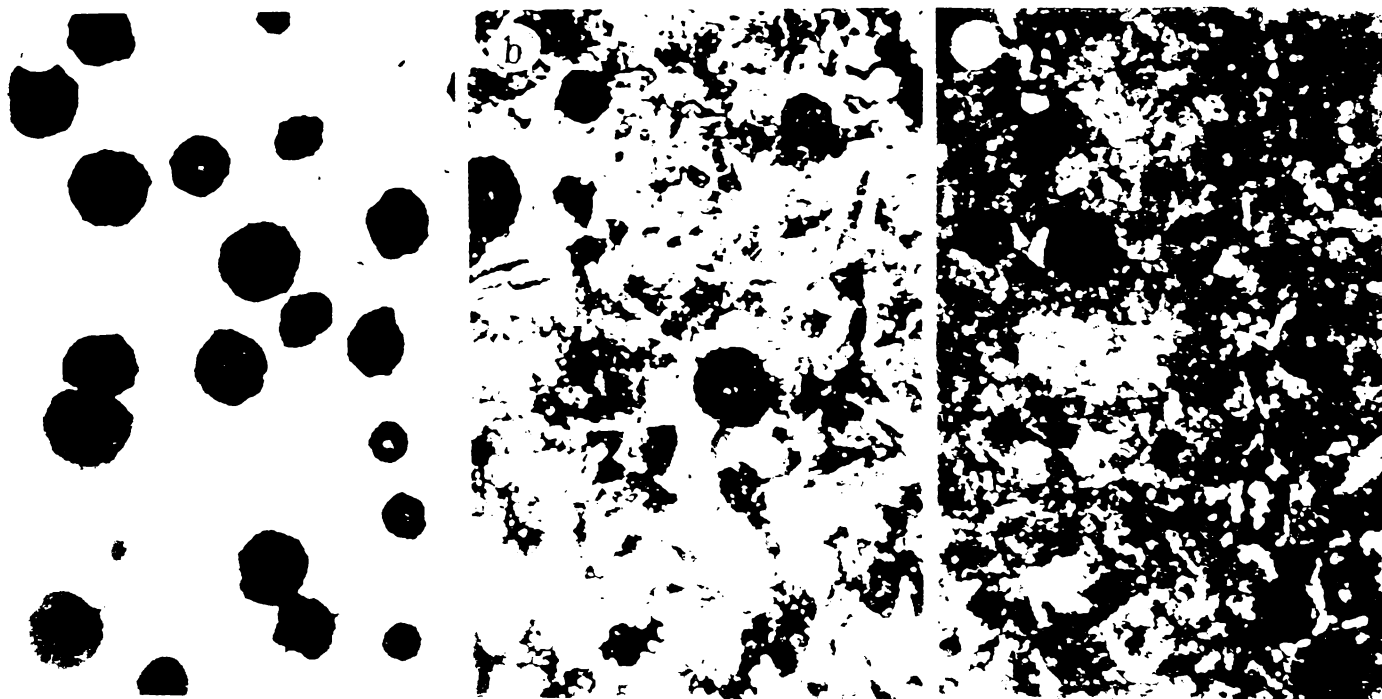


Fig.2.1. Structura fontelor cu grafit nodular
a)feritică, b)ferito-perlitică,c)perlitică

2.4. Tratamentul termic al pieselor din fontă cu grafit nodular

În vederea obținerii structurii masei metalice de bază dorite, fontelor cu grafit nodular, li se pot aplica toate tratamentele termice folosite la oțeluri carbon și anume: tratamentul termic de detensionare, de recoacere feritizantă, de normalizare, de călire-revenire, precum și a tratamentelor termochimice (cementare, sulfizare, cromizare, nitrurare, etc.)

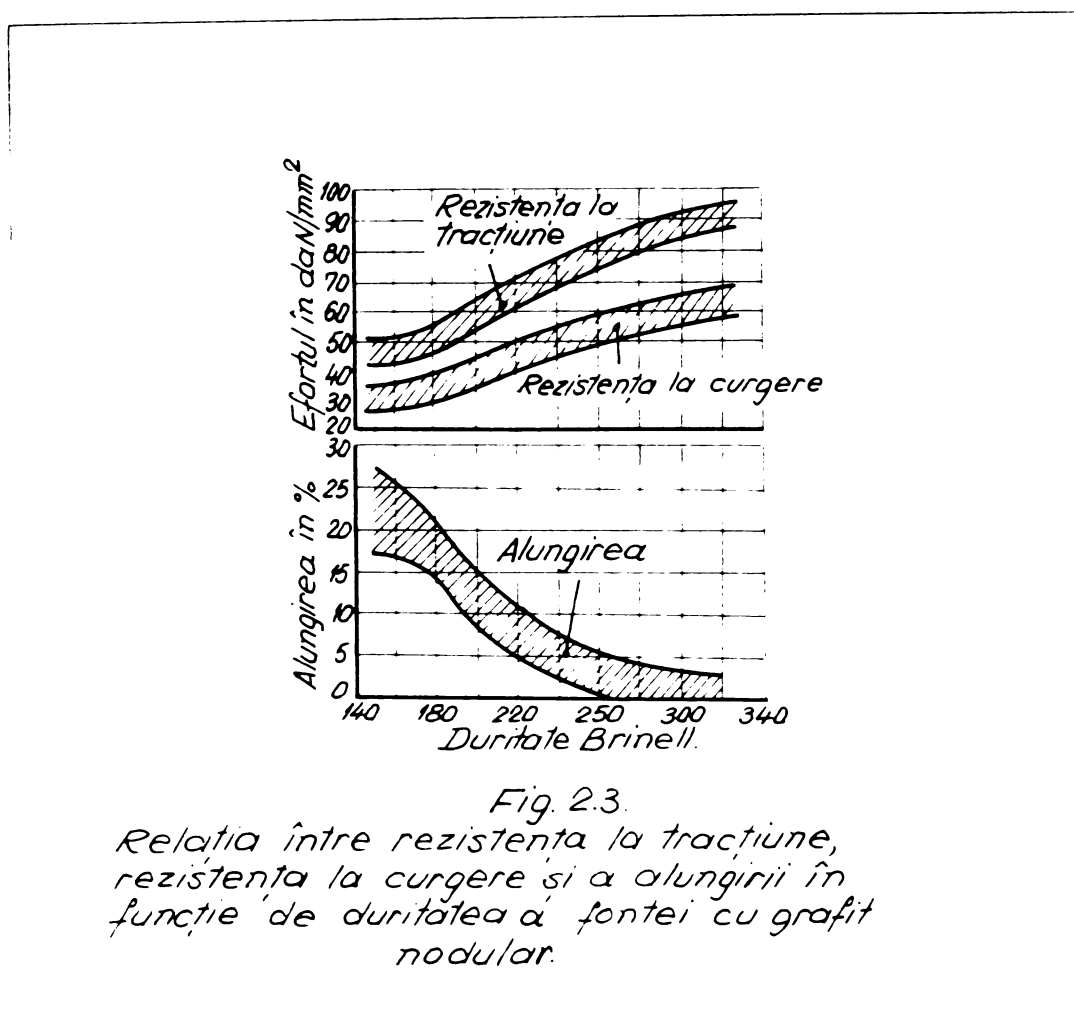
Tratamentul termic pentru obținerea fontelor cu grafit nodular cu alungire foarte mare, de exemplu, este necesar în cele mai multe cazuri, deoarece direct din turnare nu se poate obține decât foarte greu structuri complet feritice fără cementită liberă. Acelaș lucru și în cazul obținerii fontelor cu grafit nodular complet perlitice.

2.5. Proprietățile fizico-mecanice ale fontelor cu grafit nodular

2.5.1. Relații generale între caracteristicile fizico-mecanice

În fig.2.2. [103] sînt date variațiile rezistenței la

tracțiune, a rezistenței la curgere, a alungirii și a durității fontelor cu grafit nodular în stare brută după turnare sau în urma unui tratament termic.



Compoziția chimică și viteza de răcire influențează în cea mai mare măsură structura masei metalice de bază a fontelor. O masă metalică de bază perlitică imprimă fontei rezistențe la rupere și duritate ridicată dar alungire mică, în timp ce o masă metalică de bază în întregime feritică este caracteristică unor alungiri mari, în detrimentul rezistenței la rupere, a rezistenței la curgere și a durității scăzute [79; 80; 103]. Rezistențele cele mai ridicate sînt obținute în urma tratamentelor termice de normalizare (structură perlitică) de călire-revenire (structură bainitică, bainito-perlitică, etc.), pe de o parte și de compoziția chimică și a vitezelor de răcire, la piesele brut turnate, pe de altă parte.

- Modulul de elasticitate se situează, la fontele cu grafit nodular între limitele 16.000 ... 18.000 daN/mm³ [103].
- Reziliența fontelor cu grafit nodular este puternic influențată de structura masei metalice de bază și de compoziția

chimică. Fontele cu grafit nodular feritice au cele mai mari valori ale rezilienței: ea scade cu creșterea constituenților perlită și a conținutului de carbon legat [103] .

2.6. Stadiul actual al fabricării fontelor cu grafit nodular

În țările dezvoltate din punct de vedere industrial, proporția de piese turnate din fontă cu grafit nodular reprezintă cca 10% din totalul producției de piese turnate [79] . Această creștere vertiginoasă a producției unui material care numără 30...40 ani de la descoperirea și folosirea sa industrială, se explică prin proprietățile sale deosebite.

La ora actuală, cea mai răspândită tehnologie de fabricație a fontelor cu grafit nodular este aceea de modificare cu prealiaje de tip Fe-Si-Mg în oala de turnare (metoda Sandwich), piesele obținute fiind tratate termic în vederea stabilirii structurii masei metalice de bază. În anul 1963 în S.U.A. 93% din producția de fontă cu grafit nodular era obținută prin folosirea prealiajelor cu magneziu [82; 84] . În schimb în Japonia obținerea fontei cu grafit nodular se obține prin folosirea modificatorilor de tip Si-Ca sau a pământurilor rare [79;82] .

În țara noastră modificarea fontei pentru nodulizarea grafitului se face cu modificatori de tip Fe-Si-Mg, modificatori care se elaborează în țară la I.P.Cîmpina și care începînd din 1975 fabrică peste 100 tone anual [84] .

Dintre noutățile apărute în ultimii ani în tehnologia fabricării acestui material se menționează procedeele "Mag-Coke" care constă în folosirea ca material, în vederea nodulizării grafitului, a cocșului impregnat cu magneziu precum și a procedurii "Inmold", care constă în modificarea fontei cu prealiaje direct în forma de turnare, prin amplasarea acestora în rețeaua de alimentare, în camere special amenajate (camere de reacție [79; 80] .

În ultimii 10 ani cercetătorii și-au concentrat eforturile în următoarele direcții de elaborare a fontelor cu grafit nodular:

- turnarea pieselor cu structură feritică sau ferito-perlitică în stare brută după turnare, fără aplicarea ulterioară a tratamentelor termice pentru obținerea structurii dorite;

- turnarea pieselor foarte mari din fontă cu grafit nodular.

2.7. Contribuții ale cercetătorilor români la dezvoltarea fabricării fontelor cu grafit nodular

Cercetătorii români au acordat o atenție deosebită fabricării pieselor turnate din fontă cu grafit nodular încă din primii ani ai apariției acesteia în familia materialelor feroase, folosite în industria construcțiilor de mașini. Astfel, în anul 1957, la întreprinderea Semănătoarea București s-a încercat fabricarea curentă a fontei cu grafit nodular, destinată turnării pieselor pentru mașini agricole prin nodulizarea în antecreuzetul unui cubilou, fapt care constituie o premieră mondială [81] .

În aceeași perioadă, la Centrul de Cercetări Metalurgice al Academiei R.S.R. au început cercetările care au condus la punerea la punct a elaborării fontelor cu grafit nodular aliate cu 5% Si, material cu proprietăți de antifricțiune deosebite, utilizat în momentul de față la fabricarea saboților de frână pentru vagoane de tramvai sau CFR, precum și a segmentilor pentru pistoanele motoarelor cu combustie internă [15, 16, 17] .

În anul 1967, la ICTCM București s-a definitivat tehnologia de elaborare a prealiajelor de tip Fe-Si-Mg necesare elaborării pe cale industrială a fontelor cu grafit nodular cu plasticitate ridicată, pentru elaborarea de piese turnate la Întreprinderea Electroputere Craiova [83] . Ulterior, tehnologia de elaborare a prealiajelor a fost perfecționată, iar în prezent fabricarea acestor prealiaje se face în mod curent la I.P.Cîmpina [82; 84] .

În paralel cu preocuparea de introducere în industrie a tehnologiei clasice de fabricare a fontei cu grafit nodular, în ICSITPSC s-au executat o serie de cercetări vizînd perfecționarea tehnologiilor de fabricație a fontelor cu grafit nodular clasice precum și realizarea altora, aliate, cu caracteristici superioare, cum este cazul fontelor austenitice cu grafit nodular aliate cu nichel și mangan, pentru turbina de 330 MW, agregat cu performanțe ridicate ce se fabrică în mod curent la I.M.G. București [59] . În viitorul apropiat, la ICSITPSC București, va fi abordată problema obținerii fontelor cu grafit nodular cu modificarea în

forma de turnare.

Este evident că fonta cu grafit nodular, s-a bucurat iar în momentul de față cu atât mai mult, se bucură de o atenție deosebită în țara noastră, fapt care asigură premisele unei dezvoltări continue și rapide a producției de piese turnate la un număr de întreprinderi constructoare de mașini, din ce în ce mai mare.

3. Stadiul actual al sudării fontelor cu grafit nodular

Pentru sudarea fontelor se folosesc două căi, și anume la cald și la rece.

Sudarea la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular se face cu preîncălzire de 450 ... 650°C, folosind ca material de adaos materiale similare materialului de bază, în vederea obținerii în îmbinarea sudată caracteristici fizico-mecanice cât mai apropiate de ale materialului de bază.

Sudarea la rece se aplică în mod curent la sudarea sau re-manierarea pieselor din fontă cu grafit nodular, prin folosirea unor materiale de adaos nesimilare materialului de bază, cum sînt nichelul, aliajele de nichel-fier, nichel-cupru sau chiar și din oțeluri ferito-perlitice cu hidrogen redus.

3.1. Materiale de adaos folosite la sudarea fontei cu grafit nodular

În sudarea fontelor cu grafit nodular se deosebesc mai multe tipuri de materiale de adaos;

- materiale de adaos, vergele sau electrozi din fontă, similare materialului de bază,
- electrozi minimă din oțel moale, înveliți cu paste ionizante de aliere și nodulizante care depun prin sudare cu arc, fontă cu grafit nodular, similare materialului de bază,
- electrozi tubulari, care în timpul procesului de sudare cu arc electric conduc la obținerea în materialul depus prin sudare o fontă cu grafit nodular, similară materialului de bază,
- materiale de adaos, electrozi sau pulberi metalice, nesimilare materialului de bază, folosite numai în cadrul sudării la rece. În momentul de față circa 80% din cantitatea pie-

selor de fontă cu defecte de turnare, sau a reparațiilor accidentale al pieselor finite, se execută manual sau semiautomat cu astfel de materiale [24; 25; 30; 37; 40; 42; 45; 46; 63; 103; 121] .

3.1.1. Materiale de adaos pentru sudarea la cald

Pentru sudarea la cald, literatura de specialitate recomandă o gamă variată de vergele din fontă cu grafit nodular pentru sudarea cu flacără, precum și o serie întreagă de electrozi sintetici cu inimă din oțel moale și înveliș de aliere, sau electrozi continui tubulari cu înveliș din oțel moale și umplutură pulverulentă din elemente care, prin topire în arcul electric, depun fonte cu grafit nodular, similare materialului de bază [18;19; 21; 26; 31; 32; 33; 41; 48; 62; 68] .

În tabelul 4.2. se dau câteva analize chimice standard pentru vergele din fontă cu grafit nodular folosite la sudarea cu flacără [14; 18; 19; 25; 84; 103] .

Analiza chimică a câtorva tipuri de vergele din F.g.n. folosite la sudarea la cald a pieselor turnate

Tabelul 3.1

Nr crt	Analiză chimică în procente									
	C	Si	Ni	Mn	Al	S	P	Mg	Ce	Fe
1	3,80	2,50	5	2,6	0,06			sub 0,10	-	rest
2	3,25-4,00	3,25-3,75	-	0,10-0,40	-			0,14	0,03	— —
3	3,50-3,90	2,20-3,20	-	2,10-0,30	-				-	— —
4	3,60	3,05	-	-	-	0,16	0,020	0,11	-	— —
5	3,50	2,70	-	0,50	-	0,054	0,050	0,03	-	— —

Învelișul sau umplutura electrozilor sau a electrozilor tubulari pentru sudarea manuală sau sudarea semiautomată cu arc electric constituie secrete de fabricație ale firmelor furnizoare de electrozi. În compoziția lor intră însă, atât elemente de protecție a metalului topit, cât și elemente de aliere, printre care: grafit siliciu, carbonați, fluoruri și oxizi ai metalelor alcaline, magneziu, ceriu, nitriu sub formă de prealaje de nichel siliciu sau cupru, borax sau acid boric, etc. [26; 31;32;41;48; 49; 52; 61; 89; 103] .

La sudarea cu flacără se folosesc în general aceleași fluxuri ca și pentru celelalte mărci de fontă, fluxuri sub formă de pulberi sau sub forma de învelișuri aplicate pe vergele [24; 25; 26; 30; 63]. În compoziția acestor fluxuri intră de obicei carbonații de sodiu de potasiu, sărurile halogene ale metalelor alcalino-pămîntease cum sînt clorura de calciu sau de litiu, fluoruri de sodiu, de potasiu sau de calciu, etc.

Fluxurile pentru sudarea automată sau semiautomată, sînt în general fluxuri ceramice de aliere care în asociere cu sîrma electrod din oțel moale sau cu învelișul electrodului tubular, aliază și modifică baia de metal, depunînd cordoane de fontă cu grafit nodular [53; 96; 106].

La sudarea fontelor cu grafit nodular se mai folosesc și fluxuri topite de tip acid sau bazic, care în asociere cu electrozii continui tubulari sintetici au în special rol de protecție a băii de metal topit.

3.1.2. Material de adaos pentru sudarea la rece

- Electrozi din oțel ferito-perlitic. Deși cei mai ieftini, electrozii din oțel nu pot fi luați prea mult în considerație la sudarea la rece a fontelor cu grafit nodular, datorită diluției mari a carbonului din materialul de bază în cordonul depus. Datorită vitezelor mari de răcire, formarea structurilor de călire în metalul depus cît și în zona de influență termică pot conduce la apariția fisurilor în aceste zone.

Sudarea cu electrozi din oțel moale se folosește foarte rar în special la sudarea fontei cu grafit nodular cu masa metalică feritică, cu condiția ca depunerea să se facă într-un singur strat [18; 19, 24; 25; 51].

- Electrozi pe bază de nichel. În momentul de față, cele mai folosite materiale de adaos pentru sudarea pieselor din fontă cu grafit nodular sînt nichelul, aliajele de nichel-fier, și din ce în ce mai rar aliajele de nichel-cupru (monel) [14; 18; 19; 24; 25; 30; 37, 40; 62; 63; 91; 103; 121].

In tabelul 3.2 sînt date analizele chimice ale cîtorva materiale de adaos pe bază de nichel folosite curent la sudarea la rece a fontelor cu grafit nodular [8;10;14;20;27;34;35;40;46; 62; 63; 71; 91; 98; 103; 111; 112; 116.]

Analiza chimică a cîtorva materiale de adaos pe bază de nichel.

Tabelul 3.2

Nr crt	Aliajul	Analiza chimică în procente									
		Ni	C	Fe	Cu	Si	Mn	S	P	Ti	Div.
1	Nichel	95... 97	0,75... 1,00	1,50... 2,00	—	0,20... 1,20	0,10... 0,40	—	—	—	—
2	Nichel 61	93,00	max. 0,15	max. 1,00	max. 0,25	max. 0,75	max. 1,00	max. 0,01	max. 0,030	2,00... 3,50	Al max 1,90
3	Nichel - fier	55,00	0,70	43,00	0,05	0,70	0,60				—
4	Monel 60	62,00 ...69,00	max. 0,15	max. 2,50	rest	max. 1,25	3,00... 4,00	max. 0,015	max. 0,020	1,50... 3,00	Ca 0,50
5	Ni10 48	47,00... 49,00	0,15	rest.							—
6	Ni10 55	57,00	0,05	rest.	0,06	0,07	0,40	0,05			Al 0,04
7	Monel 2	min. 67,00	max. 0,08	max. 8,00	0,050	max. 0,35	2,00... 2,75	max. 0,015	max. 0,030	2,50... 3,50	Cr. 14,00...17,00

- Pulberi metalice pentru sudarea cu flacără. Unul din materialele de adaos care se aplică din ce în ce mai mult în special pentru lucrări de remaniere prin sudare îl constituie pâlberile metalice pentru procedeul de sudare cu flacără oxiacetilenică sau cu plasmă. Aceste pulberi sînt confecționate din aliaje pe bază de nichel, nichel-fier, nichel-cupru sau cobalt elaborate în vid sau gaze inerte, și au de obicei granulații cuprinse între 20 și 40 μm [5;5;37] .

3.2. Procedee de sudare.

In cadrul celor 16 comisii tehnice ale Institutului Internațional de Sudură, nu există pînă în prezent niciuna care să se ocupe în mod special de problema sudării fontelor. Cu toate acestea I.I.S. a întocmit o clasificare a procedeeleor de sudare care pot fi luate în considerație, atît la lucrări de sudare cît și la lucrări de remaniere prin sudare. Această clasificare este dată în tabelul 3.3 [3;46] .

Din anchetele și analizele întreprinse se constată că la ora actuală, pentru sudarea fontelor se pot aplica toate procedeele de sudare, începînd cu procedeele clasice cum sînt sudarea cu flacără și sudarea manuală cu arc electric cu electrozi înveliți, pînă la procedeele ultramoderne de sudare cum sînt: sudarea cu jet de plasmă

Procedee de sudare aplicate la fonte.
~Clasificare I.I.S.~

Tabelul 3.3

Natura energiei	Procedeul	Topirea materialului de bază	Observații
<i>1 - Procedee clasice utilizate în momentul de față.</i>			
Termochimice	- cu flacără oxiacetilenică	da	- sudarea se face la cald cu vergea de aceeași nuanță cu metalul de bază
	- aluminotermică	da	- sudarea se face la cald cu oțel provenit din reacția AT.
Electrotermică	- cu arc electric la rece semi-cald sau la cald.	da	- sudarea se execută cu electrozi: a). din oțel moale la rece. Cordoanele sînt neprelucrabile frără tratament termic. b). din nichel sau nichel fier. Cordoanele sînt prelucrabile. c). aliaje pe bază de cupru. Cordoanele sînt neprelucrabile. d). electrod de fontă similar cu mat. de bază. Sudare la cald. Cordoane neprelucrabile.
<i>2 - Procedee clasice mai puțin cunoscute.</i>			
Termochimice	- cu pulberi metalice	nu	- injectare în flacără oxiacetilenică a pulberilor metalice
Electrotermică	- cu arc MAG	da	- preîncălzirea pieselor în cazul că se sudează cu materiale similare mat. de bază
	- cu arc scurt	da	- pătrundere mică, reduce zona de influență termică.
	- în baie de zgură	da	- pătrundere mare
<i>3 - Procedee de studiu și încercări</i>			
Electrotermică	- cu arc	da	- preîncălzire pînă la 300°C.
	- cu fascicul de electroni	da	- zone topite și ZIT foarte îngust Sudură ameliorată prin trat term
	- cu plasmă	da	- idem
	- în capete - prin scînteiere	da	- componentele fragile sînt eliminate prin trat. termic
Mecanică	- prin șoc:	nu	
	- prin explozie	nu	
	- electrodinamică	nu	- presiune electromagnetică pentru pro și post încălzire
	- prin presiune	nu	
	- prin frecare		- difuzie în vid, preîncălzire ușoară

cu fascicol de electroni, cu laser, etc. [2;9;13;27;29;35;50; 52; 53; 64;65;66; 67; 70; 93; 101] .

După specificul lucrărilor de sudare sau remaniere se pot aplica de asemenea și celelalte procedee de sudare conform tabelului 3.3.

392935
306 E

4. Cercetări și experimentări în vederea obținerii unor materiale de adaos pentru sudarea la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular

Cercetările întreprinse pentru elaborarea unor materiale de adaos pentru sudarea la cald a fontelor cu grafit nodular au fost dictate, în primul rând de necesitatea remanierii prin sudare a pieselor cu defecte de turnare.

Materialele de adaos s-au elaborat atât pentru procedeele clasice de sudare și anume vergele și fluxuri pentru sudarea cu flacără oxiacetilenică și electrozi înveliți cu inimă din vergele din fontă cu grafit nodular, cât și pentru procedeele moderne de sudare și anume electrozi tubulari pentru sudarea semiautomată sau automată sub flux, în gaze de protecție sau cu autoprotecție.

În cadrul cercetărilor s-au definitivat tehnologiile de elaborare a următoarelor materiale de adaos pentru sudarea sau remanierea prin sudare a pieselor turnate din fontă cu grafit nodular:

- vergele și fluxuri pentru sudarea cu flacără oxiacetilenică a fontelor cu grafit nodular nealiate;
- electrozi cu inimă din vergele din fontă cu grafit nodular și învelișuri ionizante și de protecție aplicate prin imerționare;
- vergele și electrozi înveliți pentru sudarea la cald a fontei cu grafit nodular aliată cu 5% Si;
- electrozi înveliți pentru sudarea la cald a fontei cu grafit nodular austenitică de tip Nodumag (10...12% Ni; 5...6% Mn)
- electrod continuu tubular pentru sudarea la cald semiautomată cu sau fără protecție de gaze sau sub flux.

Aceste materiale de adaos au fost elaborate atât în cadrul ICSITPSC (vergele, fluxuri și electrozi pentru sudura manuală),

cît și în colaborare cu ISIM Timișoara (electrod continuu tubular brevet de invenție nr.69.162 din 14.06.1978).

4.1. Vergele din fontă cu grafit nodular pentru sudarea la cald cu flacără oxiacetilenică

Turnarea vergelelor din fontă cu grafit nodular pentru sudarea cu flacără s-a făcut în forme coji din nisip peliculizat (Croning) STAS 9719-74, executate în cutii calde fig.4.1. Dimensiunile vergelelor din fontă cu grafit nodular au variat între ϕ 6 și ϕ 20 mm, la lungimi de 450 mm. În fig.4.2 este dată fotografia seturilor de vergele din fontă cu grafit nodular în stare brută după turnare, după operația de dezbatere.



Fig.4.1. Forme coji în stare finită pentru turnarea vergelelor din fontă cu grafit nodular
 a) forma cu modelul pentru jghiabul de turnare
 b) forma în starea finită pentru turnare



Fig.4.2. Vergele din fontă cu grafit nodular în stare brută după turnare

4.1.1. Materii prime folosite la elaborarea vergelelor din fontă cu grafit nodular

Primele vergele au fost turnate din fontă cu grafit nodular folosită la turnarea pieselor. Ulterior, pentru turnarea vergelelor s-au folosit materiale selecționate, ca fier armco, fontă de înaltă puritate (FIP) fabricată la I.I.T.Cîmpina, feroaliaje de calitate superioară, carbon din cărbune de lemn sau din electrozi de grafit.

Pentru modificarea fontei s-au folosit prealiaje de tip Fe-Si-Mg cu 5 ... 12% Mg, marca SCl, precum și ferosiliciu cu 75% Si, STAS 7436-66 marca FeSi₂. S-au folosit de asemenea nichel, ferocrom și mișmetal. Analizele chimice ale principalelor materii prime folosite la elaborarea vergelelor sînt date în tabelul 4.1.

4.1.2. Elaborarea fontei pentru vergele

Elaborarea fontei destinată turnării vergelelor pentru sudarea cu flacără oxiacetilenică a fost elaborată într-un cuptor

Analiza chimică a materiilor prime folosite la elaborarea vergelelor pentru sudarea pieselor din fontă cu grafit nodular.

Tabelul 4.1

Nr. crt.	Denumirea	Analiza chimică în procente												
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ca	La	Nd	Ce	Mg	Fe
1	Fontă cenușie	3,8... 4,0	0,5... 1,5	0,4... 0,6	0,06... 0,08	0,06	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Fontă de înaltă puritate (FIP)	3,8... 4,0	0,2	0,2	0,01	0,02	0,03	—	—	—	—	—	—	
3	Fier armco	sub 0,1	sub 0,2	sub 0,15	sub 0,02	sub 0,02								
4	Prealiaj FeSiMg		44... 48						1,0... 2,5			0,1... 10	5... 10	rest
5	Mișmetal									13... 25	15... 17	40... 60	max 2	
6	Ferosiliciu ₇₅		75					0,1... 2,5		0,5... 1,0			rest	
7	Nichel	Nichel 98 alte 2%												

cu inducție, la frecvență medie, cu capacitatea de 100 kg avînd căptușeală acidă. După topire, fonta s-a supraîncălzit la 1550°C și s-a menținut în această stare 10 minute, după care s-a răcit la 1500 ... 1520°C.

Procesul de modificare s-a executat după metoda Sandwich, într-o oală cu buzunar în care s-au așezat prealiajele (2,2...2,5 prealiaj FeSiMg cu 2% și tablă din fier vechi). După modificare fonta s-a transvazat într-o altă oală tip Ciainic din care, de altfel s-au turnat și vergelele. În timpul transvazării s-a executat și portmodificarea cu 0,6% FeSi75, la o granulație cuprinsă între 0,5 ... 4 mm. Temperatura de turnare a fontei modificate în formele coaje a fost cuprinsă între 1330 ... 1400°C.

Curățirea vergelelor după dezbatere, s-a făcut cu alicie în instalații cu turbină și prin polizare.

4.1.3. Analiza chimică a cîtorva tipuri de vergele folosite la sudare

În funcție de compoziția chimică a fontei cu grafit nodular din care au fost turnate diversele piese la care s-au efectuat remanieri prin sudare la cald, s-au elaborat și vergelele respective. În tabelul 4.2 sînt date analizele chimice ale principalelor vergele elaborate, cu care s-au executat experiențele de sudare, cu flacără oxiacetilenică.

Specificăm că vergelele turnate prevăzute în tabelul 4.2 au constituit materia de bază și pentru confecționarea electrozilor înveliți.

La elaborarea vergelelor de fontă cu grafit nodular, atît la folosirea procedurii de sudare cu flacără oxiacetilenică cît și pentru sudarea manuală cu arc electric, s-a ținut seama de arderile care au loc în timpul procesului de sudare, în mod special a carbonului, siliciului și a magneziului, fapt pentru care la elaborare a fontei, șarjele au fost îmbogățite în aceste elemente, în comparație cu analiza chimică a fontei destinate turnării pieselor.

Analiza chimică a principalelor vergele din fontă cu grafit nodular elaborate în vederea remanierii prin sudare a pieselor turnate.

Tabelul 4.2.

Nr crt	Denumirea	Analiza chimică în %							
		C	Si	Mn	Ni	S	P	Mg	Ce*
1	Fg.n din șarja de turnare a pieselor	3,50	3,12	0,36	-	0,022	0,08	0,050	-
2	Fg.n. din fier armco	3,88	3,44	0,30	-	0,010	0,015	0,060	-
3	Fg.n. din FiP cu 5% Ni	3,50	2,59	0,20	4,38	0,011	0,020	0,080	-
4	Fg.n din FiP cu 0,2% Ce	3,70	3,80	0,25	-	0,014	0,050	0,070	0,2
5	Fg.n. din FiP cu 0,4% Ce	3,82	3,85	0,42	0,02	0,015	0,06	0,065	0,4
6	Fg.n. austenitică cu 12% Ni și 5% Mn	3,39	2,36	5,69	10,4	0,011	0,103	0,070	
7	Fg.n din FiP cu 5% Si	3,12	4,95	0,80	-	0,028	0,016	0,050	
* Adăugat.									

4.1.4. Structura vergelelor turnate

Structura masei metalice de bază a vergelelor în stare brută după turnare a fost în general perlitică cu carburi libere (la vergelele groase) și martensitică cu carburi libere (la vergelele subțiri) pentru fontele nealiate sau aliate cu 5% Si sau 5% Ni și austenitică cu carburi libere la vergelele din fontă nodulară de tip Nodumag (12% Ni; 6% Mn).

Separările de grafit sub formă nodulară corect conturate au prezentat dimensiuni cuprinse între 15 ... 20 μ m.

Cea mai mare cantitate de cementită în structură au prezentat vergelele din fontă austenitică.

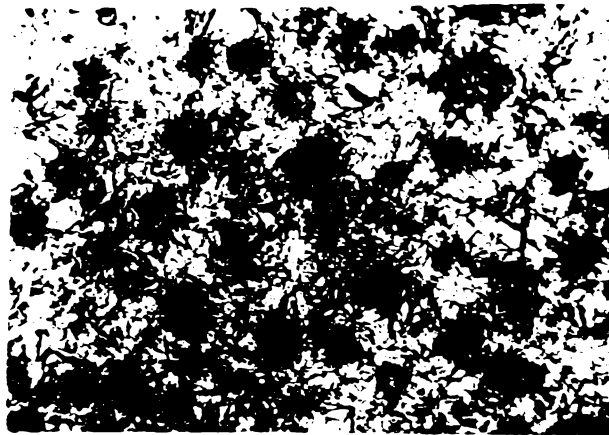
În fig.4.3, fig.4.4. și fig.4.5 sînt date fotografiile microscopice ale acestor vergele în stare brută după turnare.

Pentru descompunerea carburilor libere din vergele s-a aplicat următorul tratament termic de recoacere grafitizantă:

- menținere 2 ore la temperatura de 930 ... 950°C,
- menținere 3 ore la temperatura de 720°C,
- răcire cu 1°C/min. pînă la 650°C,
- răcire la aer liniștit de la 650°C pînă la temperatura

ambientă.

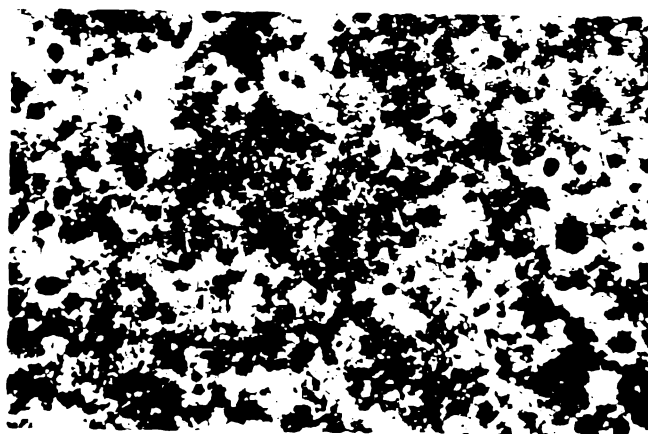
După tratamentul termic de recoacere, vergelele din fontă cu grafit nodular cu 5% Si și 5% Ni au prezentat o structură complet feritică, cu nodule de grafit de ϕ 20 μ m, corect conturate.



Atac Nitol: 2%

x 100

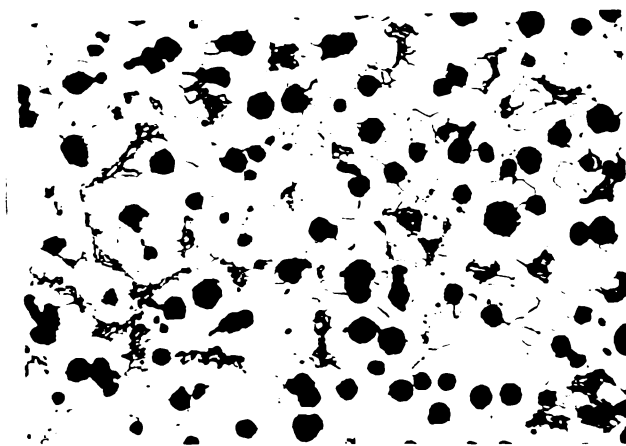
Fig.3.3. Microstructura unei vergele-electrod din fontă cu grafit nodular nealiată de ϕ 8 mm în stare brută după turnare. Nodule mărunte de grafit cu carburi libere pe fond martensitic



Atac Nitol: 2%

x 100

Fig.3.4. Microstructura unei vergele din fontă cu grafit nodular aliată cu 5% Ni de ϕ 8 mm în stare brută după turnare. Nodule mărunte de grafit cu carburi libere pe fond martensitic



Atoc Nitol: 2% x100

Fig.3.5. Microstructura unei vergele-electrod din fontă austenitică cu grafit nodular (12% Ni; 6% Mn) în stare brută după turnare. Nodule mărunte de grafit și cementită pe fond de austenită

4.2. Fluxuri și paste de protecție

În cadrul sudării cu flacără oxiacetilenică sau cu arc electric s-au folosit o serie întreagă de fluxuri și paste ionizante și de protecție. În general acestea au rolul de dizolvare a oxizilor și de trecere a lor în zgurile ușor fuzibile, care se ridică la suprafața băii de metal topit.

4.2.1. Fluxuri pentru sudarea cu flacără

Fluxurile elaborate de ICSITPSC, folosite în cadrul experimentărilor de sudare, s-au comportat foarte bine, ele fiind comparabile din acest punct de vedere cu cele de proveniență străină. Deși fluxurile folosite la sudarea cu flacără oxiacetilenică a fontei cu grafit lamelar sînt oarecum bune și pentru sudarea fontei cu grafit nodular, în componența acestora s-au introdus pe lîngă elementele oxidante și reducătoare și săruri ale elementelor modificatoare. Astfel, la cele două fluxuri elaborate în cadrul ICSITPSC, pentru sudarea cu flacără oxiacetilenică a fontei cu grafit nodular s-au mai introdus pe lîngă elementele de bază ale fluxurilor și carbonați și bicarbonați de calciu și de bariu, clorură de sodiu, de litiu și de bariu, silicați, etc.

În tabelul 4.3 sînt date analizele chimice a două fluxuri care s-au dovedit a fi foarte bune din punct de vedere tehnologic, calitatea îmbinărilor sudate, executate cu flacără

oxiacetilenică și vergelele elaborate fiind corespunzătoare.

Compoziția fluxurilor folosite în cadrul experimentărilor de sudare la cald cu flacără oxiacetilenică

Tabelul 4.3.

Nr. crt.	Componentele fluxurilor	Conținut în %	
		Flux I	Flux II
1	Borax $Na_2 B_4 O_7 \cdot 10 H_2 O$	40	40
2	Bicarbonat de sodiu $Na HCO_3$	30	15
3	Sticlă pisată	10	5
4	Clorură de sodiu $Na Cl$	5	3
5	Clorură de litiu $Li Cl$	5	3
6	Fluorură de calciu $Ca F_2$	5	4
7	Carbonat de calciu $Ca CO_3$	5	-
8	Sodă calcinată $NaOH$	-	15
9	Clorură de bariu $Ba Cl$	-	10
10	Carbonat de bariu $CO_3 Ba$	-	5

Aceste fluxuri s-au folosit sub formă de pulberi uscate.

4.2.2. Fluxuri folosite sub formă de înveliș pe vergelele din F.g.n. pentru sudarea manuală cu arc

Vergelele - electrod din fontă cu grafit nodular destinate sudării manuale cu arc electric la cald, au fost învelite prin imersionare în fluxuri ionizate și de aliere, atât pentru sudarea fontelor cu grafit nodular nealiatate cât și cele aliate cu 5% siliciu sau cele austenitice cu nichel și mangan.

În tabelul 4.4 sînt date compozițiile chimice ale învelișurilor electrozilor din fontă cu grafit nodular nealiată, aliată cu 5% Si și austenitică cu Ni și Mn.

Ca liant s-a folosit silicatul de sodiu. Grosimea învelișului a variat între 2,5 ... 3 mm. Uscarea electrozilor s-a făcut în cuptoare electrice timp de două ore la temperatura de 200 ... 250°C.

4.2.3. Electrozi sintetici tubulari pentru sudarea manuală, semiautomată și automată cu arc

Electrozii continui tubulari fac parte din categoria celor

Analiza chimică a învelisurilor electrozilor pentru sudarea manuală cu arc electric.

Tabelul 4.4.

Nr crt	Elemente de învelire sau aliere în procente	Pt. Fgr. nealiată	Pt. Fgr. cu 5% Si	Pt. Fgr. austenită
1	Carbonat de calciu (CO_3Ca)	8	8	15
2	Carbonat de bariu (CO_3Ba)	23	22	20
3	Bicarbonat de sodiu ($NaNO_3$)	-	-	5
4	Florură de calciu (CaF_2)	12	12	15
5	Pulbere de grafit (C)	-	-	15
6	Borax ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)	-	-	10
7	Sticlă pisată	-	-	10
8	Ferosiliciu (Fe Si 75)	22	25	5
9	Prealiaj (Fe Si Mg cu 12% Mg)	10	9	5
10	Prealiaj Ni Mg	5	4	-

mai moderne materiale de adaos pentru sudarea cu arc electric la cald a fontelor. Ei sînt electrozi sintetici constituiți dintr-o țeavă din oțel moale, în interiorul căreia se găsesc toate elementele necesare, care prin topire în arcul electric depun o fontă cu grafit nodular.

Electrodul continuu tubular sintetic elaborat de către ICSITPSC în colaborare cu ISIM Timișoara (Brevet de invenție nr.69162 din 14.06.1978), se poate folosi numai la sudarea la cald a fontelor în special a fontelor cu grafit nodular nealiat, atât prin procedeul de sudare manuală, semiautomată sau automată cu arc electric, sub flux în mediu protector de CO_2 sau fără protecție, cît și prin sudarea cu flacără oxiacetilenică.

Banda din oțel moale din care este confecționat electrodul continuu tubular este fabricată la C.S.Galați și este caracterizată prin faptul că are un conținut scăzut de carbon, mangan și sulf. Analiza chimică a acestei benzi de grosime 0,3 mm, este dată în tabelul 4.5.

Noutatea la acest electrod continuu tubular, cu diametre cuprinse între 2,4 ... 2,8 mm, constă în aceea că umplutura lui este constituită dintr-un prealiaj care conține toate elementele necesare nodulizării grafitului în condițiile în care

se execută sudarea cu arc electric (temperatura foarte ridicată a arcului electric, cantitate relativ mică de metal depus, viteze mari de răcire a acesteia).

Prealiajul elaborat în cuptoare cu inducție la frecvență medie se mai amestecă cu pulbere de fier, alte elemente de aliere, precum și cu elemente ionizante pentru menținerea unui arc electric stabil precum și cu elemente zgurifiante, de protecție a băii de metal topit.

În tabelul 4.6 este dată analiza chimică informativă a prealiajului elaborat, iar în tabelul 4.7, analiza aproximativă a umpluturii electrodului tubular.

Electrodul continuu tubular, în ultima fază de elaborare, depune prin sudare la cald cu arc electric o fontă cu grafit nodular a cărei masă metalică de bază în stare brută de sudare este ferito-perlitică.

În tabelul 4.8 este dată analiza chimică a fontei cu grafit nodular rezultată în urma depunerii prin procedeul de sudare semiautomată cu arc electric fără atmosferă sau fluxuri de protecție. După cât se vede din analiza chimică, fonta cu grafit nodular care rezultă în urma proceselor de aliere în arcul electric este o fontă aliată cu 4 ... 5% siliciu.

4.3. Alte materiale de adaos

În cadrul experimentărilor de remaniere prin sudare s-au mai folosit și alte materiale de adaos de proveniență străină, atât pentru sudarea la cald cât și pentru sudarea la rece. Printre materialele de adaos de proveniență străină care ne-au stat la dispoziție au fost următoarele:

- electrozi sintetici pentru sudarea manuală la cald cu arc electric Castolin 2.24 (pentru fonte cu grafit nodular);
- electrozi continui tubulari pentru sudarea semiautomată cu arc electric la cald Castolin AN 4226 (pentru fonte cu grafit nodular);
- electrozi înveliți de nichel pentru sudarea manuală cu arc electric la rece Castolin 240 și OK 92.28;

Analiza chimică a benzii de oțel moale din care este confecționat electrodul continu tubular.

Tabelul 4.5

Nr. crt.	Denumirea elementului	Conținutul în procente
1	Carbon (C)	0,07
2	Siliciu (Si)	0,40
3	Mangan (Mn)	0,40
4	Sulf (S)	0,02
5	Fosfor (P)	0,02

Compoziția chimică aproximativă a prealiajului folosit la elaborarea electrodului continu tubular.

Tabelul 4.6

Nr. crt.	Elementele componente	Conținutul în procente
1	Carbon (C)	0,10... 0,20
2	Siliciu (Si)	20 ... 50
3	Fier (Fe)	10 ... 40
4	Aluminiu (Al)	1 ... 4
5	Calciu (Ca)	2 ... 7
6	Magneziu (Mg)	15 ... 20
7	Ceriu (Ce)	0,01... 0,20

Compoziția chimică a umpluturii electrodului continu tubular.

Tabelul 4.7

Nr. crt.	Elemente componente	Conținut în procente
1	Prealiaj	45
2	Grafit	20
3	Pulbere de fier	15
4	Elemente ionizante și zgurifiante.	20

Analiza chimică a metalului depus din electrod continu tubular prin procedeul de sudare semiautomată fără gaze sau flux de protecție.

Tabelul 4.8.

Nr. crt.	Denumirea elementului	Conținut în procente		
1	Carbon (C)	3,40	3,35	3,38
2	Siliciu (Si)	4,80	4,90	4,85
3	Mangan (Mn)	0,25	0,20	0,30
4	Fosfor (P)	0,010	0,015	0,010
5	Sulf (S)	0,0055	0,0050	0,0050
6	Nichel (Ni)	0,04	0,04	0,04
7	Magneziu (Mg)	0,08	0,085	0,080
8	Ceriu (Ce)	0,01	0,015	0,015

- electrozi înveliți de nichel-fier pentru sudarea manuală cu arc electric la rece Castolin 2.23 și OK 92.58.

Se menționează că în afară de aceste materiale de adaos, la sudarea fontei cu grafit nodular s-au mai folosit și electrozi din oțel de proveniență românească de tipul Supertit și Superbaz, folosiți curent la sudarea manuală cu arc electric.

În cadrul experimentărilor de sudare la cald a fontei cu grafit nodular s-au mai folosit și alte materiale specifice diferitelor procedee de sudare și anume:

- termit fabricat în cadrul ICSITPSC, folosit curent la sudarea oțelurilor prin procedeul de sudare aluminotermică;
- fluxul silico-manganos FSM-37-B pentru sudarea sub flux și în baie de zgură cu electrodul continu tubular elaborată de ICSITPSC în colaborare cu ISIM Timișoara;
- argon pentru sudarea cu jet de plasmă folosind ca material de adaos atât vergele turnate, cât și electrodul continu tubular elaborat.

5. Cercetări și experimentări în vederea determinării parametrilor optimi de remaniere prin sudare a pieselor din fontă cu grafit nodular

5.1. Analiza comportării la sudare a materialelor.

Comportarea la sudare nu poate fi privită ca o însușire intrinsecă a materialelor (oțeluri, fonte, materiale neferoase etc.), ci ca o însușire complexă determinată de material, tehnologia de sudare, concepția constructivă și nivelul solicitărilor în exploatare.

Aprecierea comportării la sudare se face pe baza următoarelor elemente:

- comportarea metalurgică la sudare: determinată de modul în care reacționează metalul față de acțiunea unui anumit proces de sudare, acțiune localizată în zona de trecere și zona de influență termică.

- comportarea tehnologică la sudare: determinată de posibilitatea de a se realiza îmbinări printr-un anumit procedeu de sudare în vederea realizării anumitor cerințe:

- comportarea în construcția sudată: determinată de capacitatea metalului de a prelua încărcări în anumite condiții de exploatare, în cazul unei structuri sudate, fără a greva siguranța construcției.

Comportarea la sudare a metalului de bază constă din reacția sa față de procesul de sudare și se caracterizează prin procesele fizice și chimice ce au loc în zona de influență termică cu următoarele consecințe: modificarea structurii a stării tensiunilor interne, a caracteristicilor fizico-mecanice și a gradului de gaze absorbite.

Comportarea fenomenelor ce au loc în zona de influență termică la oțeluri se face de obicei prin: metoda plăcii etalon, metoda Jominy, metoda fragilizării pe nivele, metoda carbonului echivalent metoda simulatoarelor de cicluri termice și metoda implanturilor etc.

Ca și la sudarea oțelurilor, ciclurile termice exercită o acțiune esențială asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale îmbinărilor sudate la fonte și din această cauză linia modernă în cercetarea comportării metalurgice la sudare constă în predeterminarea structurii metalografice din ZIT și însușirile tehnice ale acestei zone.

Se apreciază că starea termică a unei îmbinări sudate are un caracter foarte complex, determinat de existența unei surse termice puternic concentrate și mobile în lungul axei cusăturii.

Un ciclu termic, parcurs de către un anumit punct, constă dintr-o încălzire rapidă (viteză mai mari de 1000°C/s) pînă la o temperatură apropiată de temperatura maximă, de unde viteza de încălzire scade treptat pînă la zero, după care urmează o răcire cu viteză din ce în ce mai mică, pe măsură ce temperatura scade fig.5.1. Vitezele medii se situează în jur de cîteva zeci de grade pe secundă. Aceste valori depind de procedeul de sudare aplicat, de parametri procesului de sudare, natura materialului de bază, configurația geometrică, temperatura inițială a pieselor în zona de sudare, etc.

În cazul sudării în mai multe straturi, ciclul termic al

unui punct, depinde foarte mult de poziția sa, așa cum se vede în fig.5.2. Importanța acțiunilor termice repetate depinde mai ales de durata intervalului de timp dintre depunerea a două cordoane succesive.

În fig.5.2 a este dat ciclul termic parcurs de un punct din ZIT situat la baza cusăturii A, iar în fig.5.2 b, este dat ciclul termic din punctul B, situat în partea superioară a îmbinării realizată în mai multe treceri.

Ultima trecere este prevăzută numai pentru a realiza tratamentul termic de recoacere.

Din cele două diagrame se vede clar că, datorită lungimii scurte a cordoanelor, respectiv a timpului scurt de revenire a sursei termice în dreptul punctului considerat, ramura descendentă a ciclului termic nu atinge temperatura inițială decât după depunerea ultimului strat.

În cazul sudurilor realizate în mai multe straturi cu lungime suficient de mare, sau la care timpul de depunere succesivă a două straturi este suficient de mare astfel încât între straturi temperatura să fie egală cu temperatura inițială, ciclurile termice au forma prezentată în fig.5.3.

Ciclurile termice aferente fiecărui rând sînt practic independente, parametrii lui putînd fi calculați separat pentru fiecare rând. Se subliniază însă că și în acest caz se realizează o acțiune de tratament termic a straturilor anterioare realizate de straturile ulterioare.

Pentru stabilirea parametrilor caracteristici a ciclurilor termice vom considera ciclul termic al unui punct din ZIT-ul unei îmbinări realizată dintr-o singură trecere.

a) Temperatura inițială a punctului considerat, T_0 , menținută constant pînă la începerea ciclului termic. Temperatura inițială poate fi temperatura mediului ambiant sau temperatura de preîncălzire, în cazul în care îmbinarea se realizează cu preîncălzire.

Temperatura inițială are o influență deosebită asupra vitezei de încălzire, temperaturii maxime atinse de ciclu, vitezei de răcire și asupra lățimii ZIT-ului în ansamblu.

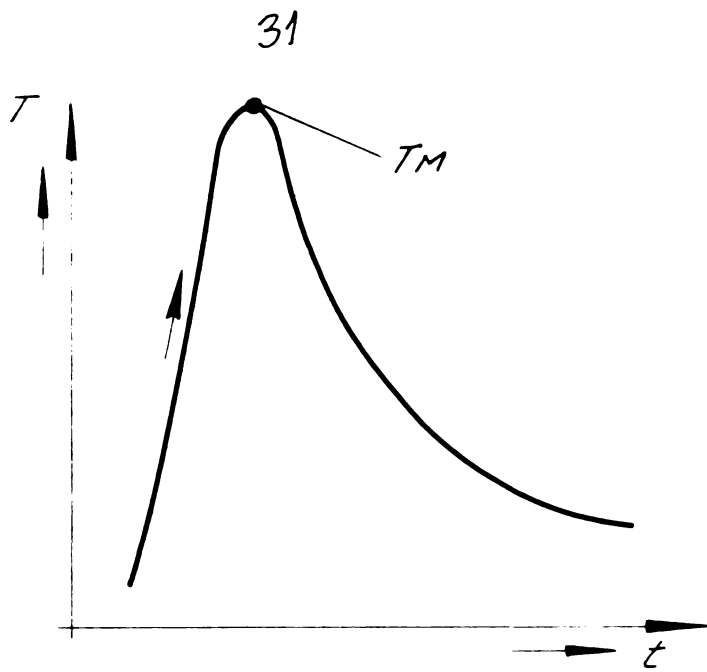


Fig. 5.1

Ciclul termic la sudarea într-un singur strat.

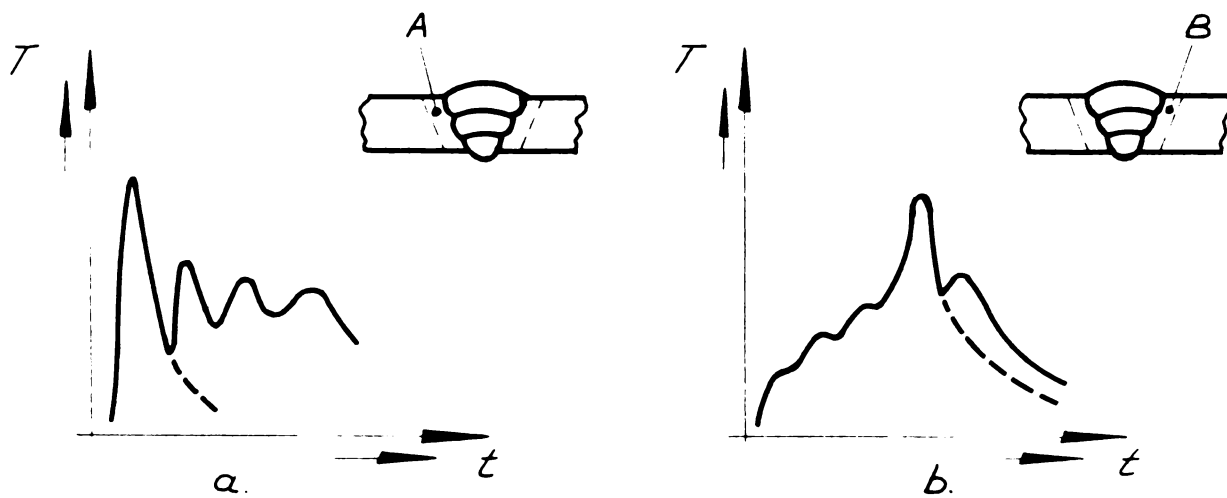


Fig. 5.2

Ciclul termic parcurs de un punct la sudarea în mai multe straturi de lungime mică.

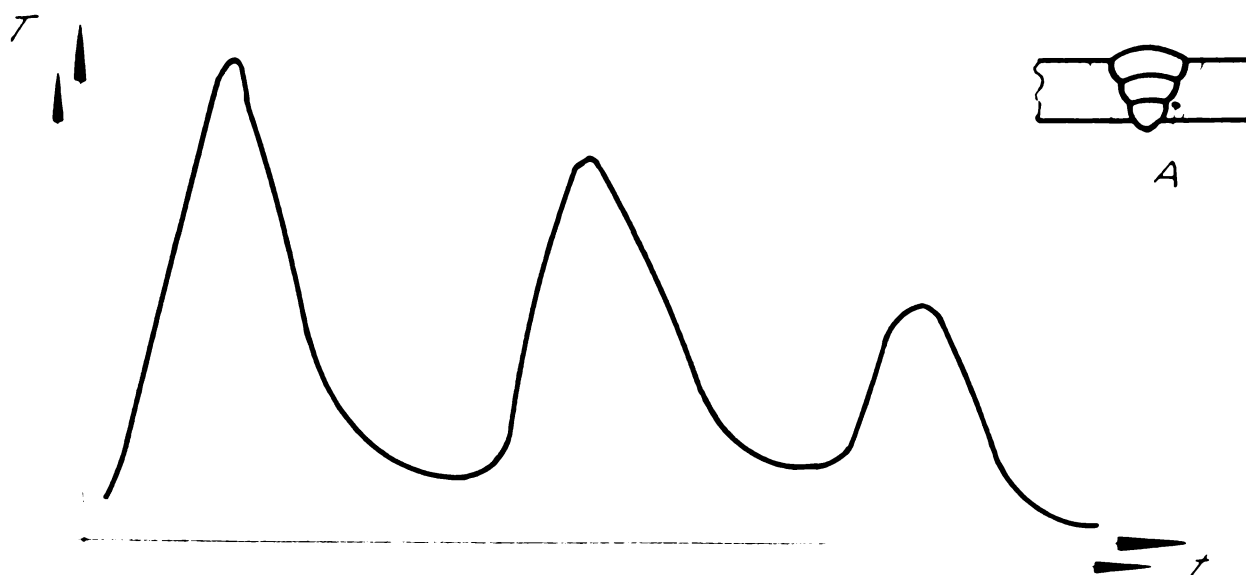


Fig 5.3

Ciclul termic parcurs de un punct la sudarea în mai multe straturi de lungime mare.

Ca valori numerice ea poate varia foarte mult, funcție de materialele care se sudează, astfel, în cazul cuprului T_{pr} poate ajunge pînă la 400°C , iar în cazul fontelor între 450 și 650°C . În cazul oțelurilor ea este cuprinsă în domeniul:

$$+20^{\circ}\text{C} < T_{pr} \leq + 300^{\circ}\text{C} \quad (5.1)$$

b) Temperatura maximă T_M a ciclului termic este unul dintre parametrii cei mai importanți. Temperatura maximă a ciclului termic al unui punct din ZIT depinde de poziția sa față de linia de fuziune, după cum se vede din fig.5.4.

Temperatura maximă, este unul din principalii parametri care determină starea structurală finală de după răcire, deci și însușirile stratului respectiv. Este parametrul care influențează natura reacțiilor metalurgice.

Domeniul valorilor temperaturii maxime T_M are o plajă foarte mare, în general fiind limitat inferior de temperatura corespunzătoare liniei AC_3 , iar limita superioară de temperatura de vaporizare (în cazul sudării cu ajutorul fascicolului laser sau fascicolului de electroni) [61].

c) Durata de menținere peste temperatura convențională, Δt , este definită de relația (5.2).

$$t = t_2 - t_1 \quad (\text{s}) \quad (5.2)$$

în care:

t_1 - este momentul cînd se atinge temperatura convențională de încălzire în secunde;

t_2 - este momentul atingerii temperaturii convenționale la răcire, în secunde.

În cazul oțelurilor temperatura convențională se consideră temperatura deasupra căreia creșterea grăunților de austenită se face rapid.

Împreună cu temperatura maximă T_M , acest parametru determină starea structurală finală de după răcire, jucînd un rol important în procesele de difuzie și de dizolvare a precipitatelor

[61].

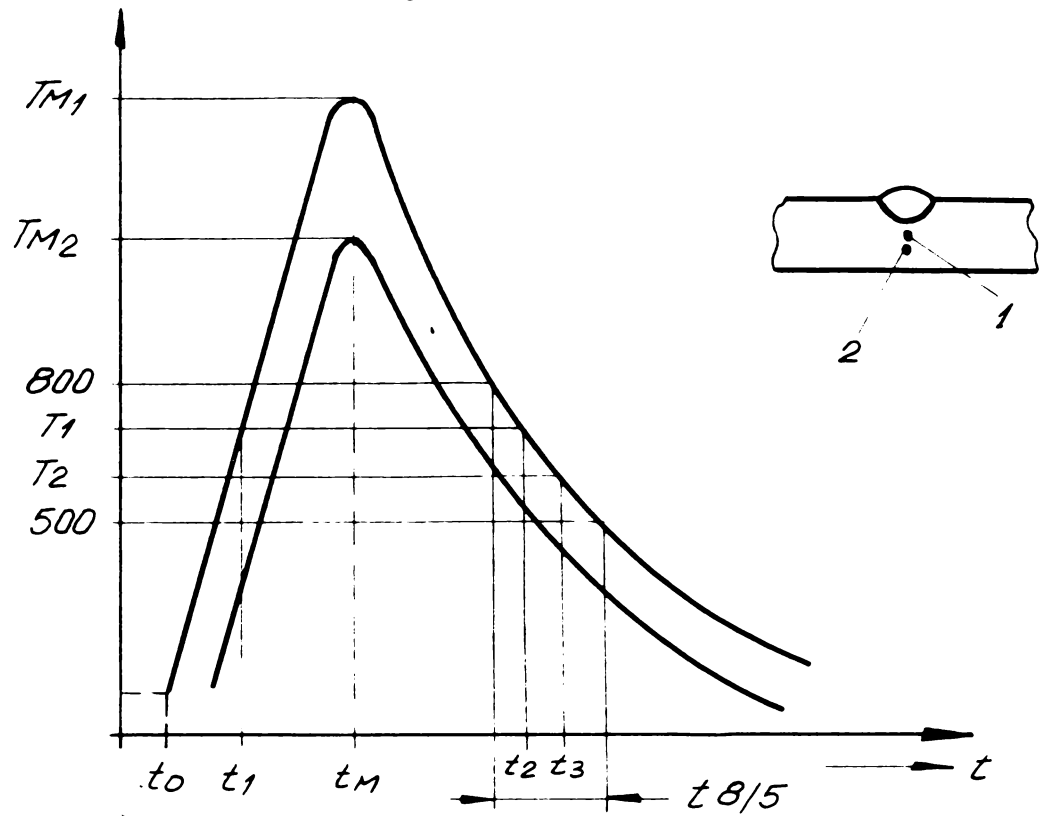


Fig. 5.4

Ciclul termic la sudarea într-un singur strat.

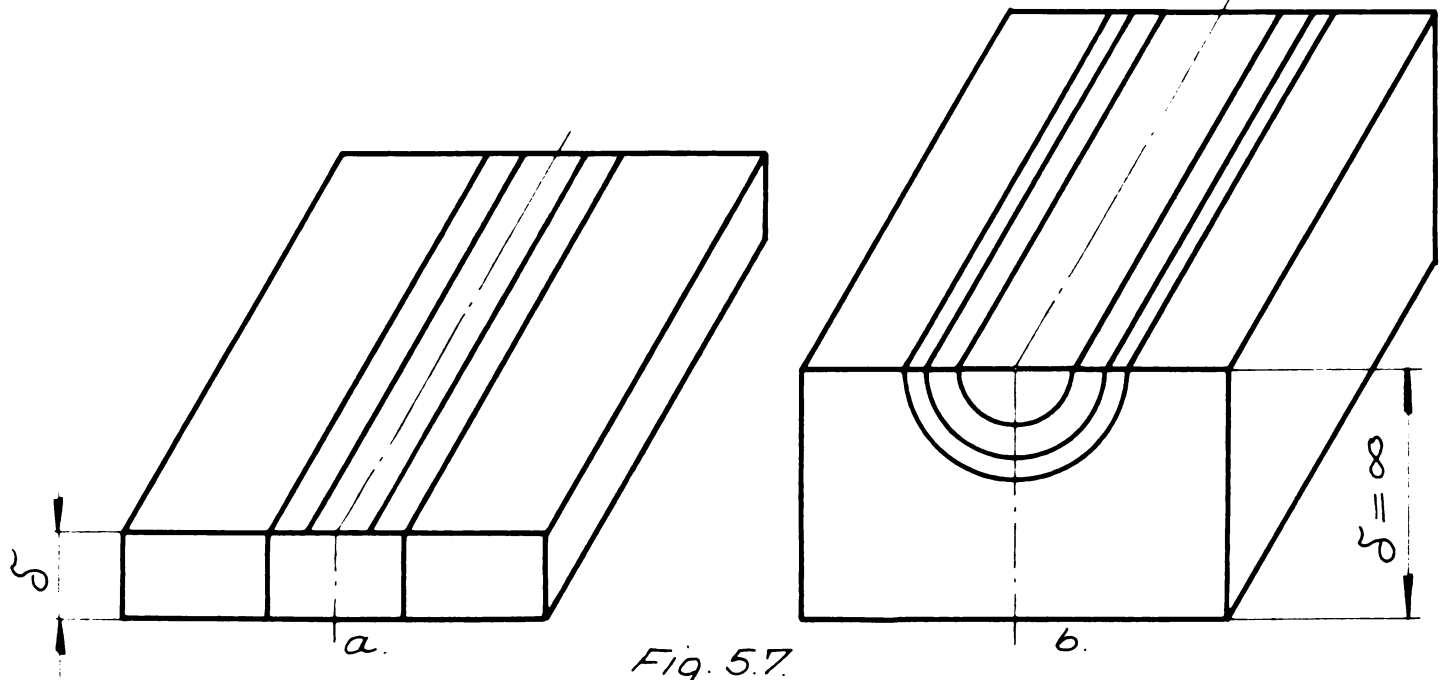


Fig. 5.7

Curbele izoterme ale câmpului termic la sudare (a - cazul răcirii bidimensionale; b - cazul răcirii tridimensionale)

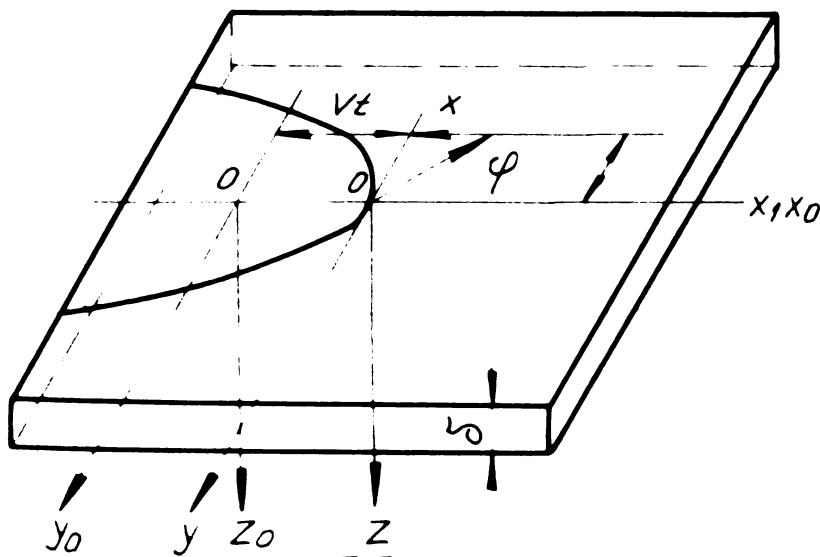


Fig. 5.5

Timpu termic la sudarea tablelor subțiri

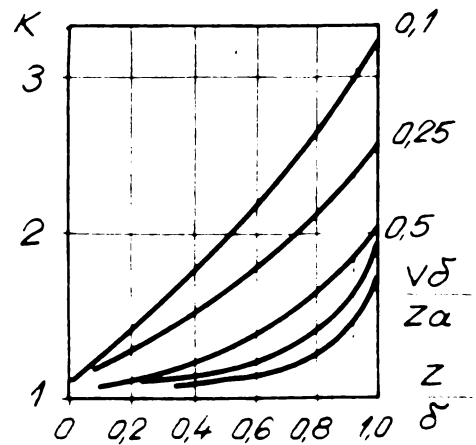


Fig. 5.6

Graficul funcției K.

d) Viteza medie de încălzire, V_i , se calculează cu relația

$$(5.3) \quad [61] \quad V_i = \frac{T_M - T_0}{t_M - t_0} \quad \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}} \right] \quad (5.3)$$

unde: T_M - este momentul în care se atinge temperatura maximă (s)
 t_0 - este momentul în care începe procesul de încălzire (s)
 V_i - este o viteză medie, pentru că viteza instantanee variază cu timpul.

În general valorile V_i sînt foarte mari, aproximativ 1000°C/s . La procedee speciale această valoare poate fi cu mult depășită (sudare cu laser, sau fascicol cu electroni).

e) Viteza medie de răcire V_{T_1/T_2} , definită ca raportul dintre intervalul de temperaturi $T_1 - T_2$ și timpii corespunzători, respectiv temperaturii

$$V_{T_1/T_2} = \frac{T_1 - T_2}{t_1 - t_2} \quad \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}} \right] \quad (5.4)$$

Viteza medie de răcire influențează în mod esențial starea structurală finală de după răcire. În plus are o influență deosebită asupra tensiunilor interne ce apar la sudare.

În cazul oțelurilor carbon mediu aliate, intervalul de temperatură pentru calculul vitezei medii este $800 - 500^{\circ}\text{C}$, iar viteza medie calculată în acest interval se notează $V_{8/5}$.

f) Viteza instantanee de răcire, la temperatura T_3 , este viteza de răcire măsurată la o anumită temperatură $T = T_3$ [61]

$$V_{T_3} = \left(\frac{dT}{dt} \right)_{T = T_3} \quad (5.5)$$

Acest parametru se determină mai greu, motiv pentru care se utilizează viteza medie $V_{8/5}$. Într-un punct dat, viteza instantanee de răcire variază continuu, scăzînd odată cu temperatura. Influența acestui parametru este analoagă vitezei medii de răcire.

g) Timpul de răcire de la temperatura T_1 la T_2 , t_{T_1/T_2} , este un parametru echivalent cu viteza medie de răcire V_{T_1/T_2} . Ca și în cazul vitezei medii de răcire, pentru oțeluri carbon și mediu aliate s-a ales reprezentativ intervalul $800 - 500^{\circ}\text{C}$, notat $t_{8/5}$. Timpul de răcire între 800 și 500°C este independent de

poziția punctului considerat față de linia de fuziune, pentru temperaturi maxime $T_M > 850^\circ\text{C}$.

Calculul câmpului termic la sudare se face după metoda propusă de N.N.Rikalın, care permite stabilirea temperaturii maxime a ciclului termic dintr-un punct de coordonate date, și a vitezei de răcire. Metoda este deosebit de laborioasă, însă permite stabilirea distribuției de temperaturi.

Funcție de grosimea materialului de bază se deosebesc trei cazuri caracteristice de propagare a căldurii.

Cazul 1 - Tablă de grosime mică, lățime și lungime mare, sudată cu ajutorul unei surse mobile, repartizată uniform pe grosimea tablei.

În acest caz, propagarea căldurii este bidimensională, cu alte cuvinte, gradientul de temperatură după axa Z, identică cu normala la suprafața elementelor îmbinării, este nul (relația 5.6 fig.5.5.).

$$\frac{\partial T}{\partial Z} = 0 \quad (5.6)$$

Propagarea căldurii în placa subțire cu lungime și lățime mare (considerată infinit în calcule), sursa de căldură de putere constantă q , deplasându-se cu viteză constantă V , este descrisă în coordonatele x, y cu centrul în O , identic cu sursa de căldură și deplasată împreună cu ea, în toate cazurile de ecuația 5.7

$$T(r, k) = \Psi \times T_M(r, x) \quad (5.7)$$

$$\text{iar: } T_M(r, x) = \frac{V}{2\pi \lambda \delta} \exp\left(-\frac{Vx}{2a}\right) k_0\left(r \sqrt{\frac{V^2}{4a^2} + \frac{b}{a}}\right) \quad (5.8)$$

unde:

Ψ_2 - este un coeficient ce caracterizează tipul propagării căldurii și este funcție de distanța de la axa sudurii timp;

T_M - este temperatura maximă atinsă ($^\circ\text{C}$);

λ - este conductibilitatea termică în placă ($\text{Kcal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$)

a - este difuzia termică a materialului de bază (cm^2/sec).

$$a = \frac{\lambda}{c \gamma} \quad (5.9)$$

b - este un coeficient ($1/\text{sec}$) care se calculează cu

relația 5.10.

$$b = \frac{2\alpha}{2 \rho \delta} \quad (1/\text{sec}) \quad (5.10)$$

în care: α - este coeficient de cedare a căldurii ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$)
 ρ - este masa specifică (g/cm^3)

K_0 - este funcția Bessel.

Utilizarea practică a ecuațiilor stabilite (5.4) este destul de dificilă, motiv pentru care s-a căutat simplificarea metodelor de calcul, ținându-se însă seama de condițiile reale. Aceasta a condus la utilizarea coordonatelor adimensionale:

$$\Theta = \frac{T}{T_0} ; \quad x = \frac{Vx}{2a} ; \quad Y = \frac{Vy}{2a} \quad (5.11)$$

$$U = \xi \cdot R, \quad \omega = \frac{X}{2} + bt$$

unde:

$$T_0 = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} \quad (5.12)$$

$$\text{iar } \xi = \sqrt{1 + \frac{4ab}{Vz}} \quad (5.12a)$$

$$x^2 + Y^2 = R^2 \quad (5.12b)$$

Utilizarea coordonatelor adimensionale în ecuația 5.8, se obține [54 16]

$$\Theta M(X, Y) = e^{-XK_0} (\xi, R) \quad (5.13)$$

Folosirea acestei ecuații este mult simplificată de existența funcției $\Theta M(X, Y)$ tabelată, funcție de parametrii X , Y și ξ . Calculul acestor parametri adimensionali este simplă, iar utilizarea tabelelor este simplă [9]. Metoda permite determinarea temperaturii într-un punct oarecare în orice moment, folosind relația 5.14 [54].

$$T(r, x) = T_0 \cdot \Theta M(X, Y) \quad (5.14)$$

Viteza de răcire instantanee la o temperatură T , în acest caz se poate calcula cu relația (5.15). [20]

$$vT = 2\pi\lambda c \gamma \frac{(T-T_0)^3}{\left(\frac{q}{\delta}\right)^2} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{s}] \quad (5.15)$$

unde: δ - este grosimea plăcilor (cm);

c - este căldura specifică ($\text{J}/\text{g}^{\circ}\text{C}$)

Cazul 2. Tablă de grosime mare de lungime și lățime infinită.

În aceste condiții sursa punctiformă nu asigură încălzirea uniformă a metalului pe toată grosimea sa, astfel încât gradientul temperaturii după axa Z nu mai este nul.

$$\frac{\partial T}{\partial z} \neq 0 \quad (5.16)$$

Aceasta înseamnă că relațiile determinate în cazul anterior pentru θ , nu se pot aplica în acest caz. Pentru determinarea propagării căldurii în cazul acțiunii punctiforme de putere constantă q , deplasându-se cu viteză constantă V , cu grosimea pieselor δ , se procedează astfel:

- după axa OZ ($X = 0$, $Y = 0$, $Z = 0$) se utilizează formula 2.17 pentru calculul mărimii adimensionale θ [9].

$$\theta = K e^{-Z} K_0 \left(\xi, Z \right) \quad (5.17)$$

unde:

$$Z = \frac{Vz}{2a} \quad (5.18)$$

$$\xi = \frac{0,455}{Z} \quad (5.18a)$$

$$K = f \left(\frac{v\delta}{2a}, \frac{Z}{\delta} \right) \quad (5.18b)$$

În fig.5.6 este dat graficul funcției K [54]

- pentru toate celelalte puncte se utilizează formula 5.18 pentru calculul mărimii adimensionale θ [9]

$$\theta = e^{-XK_0} \left(\xi R \right) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi n Z}{\delta} e^{-XK_0} \left(\xi R \right) \quad (5.18)$$

unde

$$\xi = \sqrt{1 + \left(\frac{2an}{\delta} \right)^2} \quad (5.19)$$

Din formulele (5.17), (5.19), se deduce că neuniformitatea distribuției temperaturii după grosimea secțiunii se reduce mult cu mărirea razei vectoriale r (notațiile din fig.5.5). La distanța

$r = 4 \delta$, diferența dintre temperatura inferioară și superioară a secțiunii este sub 5%.

De aceea la construirea câmpului termic în placa încălzită neuniforme pe grosimea ($\frac{2T}{Z} \neq 0$), se poate face cu suficientă exactitate cu ecuațiile (5.7), (5.14), determinate pentru răcire bidimensională, și numai pentru domeniul $r \leq 4\delta$ se vor folosi ecuațiile (5.17) - (5.19) [9]

În acest caz curbele izotermice ale câmpului termic sînt cercuri concentrice, avînd centrul în punctul de aplicare a sursei termice (fig.5.6 b), deosebindu-se față de cazul plăcilor subțiri, cînd izotermele sînt drepte, paralele și perpendiculare pe suprafața tablei (fig.5.6 a).

Viteza instantanee de răcire, calculată la temperatura T este:

$$v_T = 2\pi\lambda \frac{(T-T_0)^2}{q} \quad (^\circ\text{C/s}) \quad (5.20)$$

Metodele arătate mai sus, care pornesc de la ecuațiile propagării căldurii permit stabilirea distribuției de temperaturi în zona cusăturii și ZIT.

Calcularea timpului de răcire este foarte dificilă deoarece soluțiile ecuațiilor sînt dificil de găsit, motiv pentru care s-au căutat soluții care să permită calculul mai simplu și mai repede al timpului de răcire.

Se știe că unul dintre parametrii cei mai importanți ai ciclului termic este timpul de răcire în intervalul 800 ... 500. Acest parametru servește la calcularea curbei de răcire din ciclul termic al unui punct.

Această curbă poate fi reprodusă cu fidelitate de simulatoarele de cicluri termice, parametrul $t_{8/5}$ fiind hotărîtor în alegerea regimurilor de sudare la oțeluri.

Calculul timpului de răcire $t_{8/5}$ utilizînd ecuațiile propuse de Rosenthal, este exactă însă foarte dificil de efectuat, motiv pentru care în practică se utilizează o formulă simplificată. Această formulă nu este exactă, dar practic erorile

nu afectează în măsură importantă determinările, ele fiind neglijabile [85; 86; 26].

Pentru determinarea timpului de răcire $t_{8/5}$ este necesară stabilirea în primul rând a tipului de transmitere a căldurii.

Din punct de vedere al transmiterii căldurii există două cazuri limită - curgere bidimensională și curgere tridimensională și în caz intermediar - curgere complexă. Tipul transmiterii este funcție de grosimea materialului, de aceea s-a definit mărimea denumită grosime critică, δ_c .

Funcție de raportul în care se găsește grosimea efectivă a materialului δ , față de grosimea critică δ_c avem:

$$\begin{aligned} \delta < \delta_c & - \text{curgere bidimensională;} \\ \delta > \delta_c & - \text{curgere tridimensională} \\ \delta \approx \delta_c & - \text{curgere complexă.} \end{aligned}$$

Determinarea grosimii critice se face cu relația (5.21).

$$\delta_c = \left[\frac{q}{2 \times \gamma \times c} \left(\frac{1}{500 - T_0} + \frac{1}{800 - T_0} \right) \right]^{1/2} \text{ cm} \quad (5.21)$$

unde q - este energia liniară efectivă (J/cm) calculată cu relația (5.22).

$$q = \eta \frac{U_i}{v} \quad [J/cm] \quad (5.22)$$

în care:

U - este tensiunea arcului în V

I - este intensitatea curentului de sudare în A

η - este randa, entul termic al procesului de sudare care la sudarea manuală cu arc este de 0,8

v - viteza de sudare în cm/s

c - căldura specifică în $J/g \text{ } ^\circ C$

γ - masa specifică în g/cm^3

T_0 - este temperatura inițială a pieselor.

Din analiza relației (5.21) se constată următoarele:

a) δ_c depinde de unele caracteristici termofizice ale materialului - $\gamma \times c$. Odată cu creșterea produsului δ_c , deci prin creșterea căldurii specifice grosimea critică δ_c descrește.

b) δ_c este dependentă de parametrii regimului de sudare prin intermediul U , I , V_s dar și de tipul procedurii de sudare, prin intermediul valorii η (1 la sudarea sub flux, 0,7 ... 0,85 la MIG sau MAG și 0,65 la sudarea VIG).

c) δ_c depinde de temperatura inițială a pieselor.

La propagarea tridimensională a căldurii, relația de calcul a timpului de răcire este (5.23).

$$t_{8/5} = \frac{1}{2\pi\lambda} q \left(\frac{1}{500-T_0} - \frac{1}{800-T_0} \right) F_3 \quad (s) \quad (5.23)$$

unde:

λ - este conductivitatea termică în $W/s \times cmK$ $^{\circ}C$


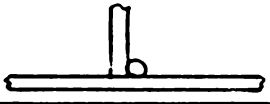


F_3 - este factor de formă pentru curgerea tridimensională

În cazul curgerii bidimensionale timpul $t_{8/5}$ se calculează cu relația (5.24):

$$t_{8/5} = \frac{1}{4\pi\lambda\gamma_c} q^2 \frac{1}{\delta^2} \left[\left(\frac{1}{500-T_0} \right)^2 - \left(\frac{1}{800-T_0} \right)^2 \right] F_2(s) \quad (5.24)$$

F_2 - este factor de formă pentru curgerea tridimensională
tabelul 5.1.

Tabelul 5.1.

	F_2	F_3
	1	1
	0,45-0,67	0,63
	0,9	0,67
	0,9	0,9

Din analiza relațiilor (5.23) și (5.24) se desprind următoarele concluzii.

a) În cazul transmiterii tridimensionale a temperaturii timpul de răcire $t_{8/5}$, depinde în ambele cazuri de parametrii de sudare (U , I , V), forma îmbinării (F_3 , respectiv F_2) și tipul procedurii de sudare aplicat (η).

b) Timpul de răcire, $t_{8/5}$ este influențat de natura materialului (λ).

c) Timpul de răcire $t_{8/5}$ poate fi modificat în limite largi prin modificarea temperaturii inițiale T_0 .

5.2. Analiza comportării la sudare a fontelor

În momentul de față pentru sudarea fontelor nu există niciun test pentru stabilirea tehnologiilor de sudare. La ora actuală, pentru sudarea fontelor nu există decât reguli generale atât pentru sudarea la cald cât și pentru sudarea la rece. Aceste reguli se referă în primul rând la gradul de preîncălzire, la natura materialelor de adaos, la forma prelucrării muchiilor sau a zonelor cu defecte din piesele turnate, etc.

Dacă ne referim numai la temperatura de preîncălzire, parametrul de cea mai mare importanță în cadrul sudării la cald, literatura de specialitate recomandă valori cuprinse între 450 - și 650°C. Literatura de specialitate nu precizează când, sau în ce condiții se poate aplica una sau alta dintre cele două valori. Nici unde în literatura de specialitate nu există motivată științific temperatura de preîncălzire de 400; 450; 500; 550 sau 650°C la care au fost sudate sau remaniate la cald piese turnate de 50 kg, 100 kg sau 30 tone.

Singura mențiune în vederea reușitei operațiilor de sudare este aceea ca temperatura de preîncălzire nu trebuie să depășească 723°C, când masa metalică de bază intră în domeniul austenitic, de unde la răcire după sudare, în lipsa unei viteze de răcire suficient de mică, în structura masei metalice de bază poate să apară cementita sau constituenții de călire cum sînt bainita, sorbita trostita sau martensita care pot conduce la apariția fisurilor sau la înrăutățirea rezistenței de rupere.

În cadrul sudării la cald a pieselor din fontă, problema elaborării unei metode pentru determinarea temperaturii optime de preîncălzire în vederea obținerii unei îmbinări sudate de calitate, este grea și complexă. Compoziția chimică, masa și configurația piesei, structura masei metalice de bază, analiza chimică a materialului de adaos, diametrul vergelelor sau al electrozilor și structura masei metalice de bază a acestora în starea în care se găsesc înainte de sudare, procedeul de sudare, etc.

sînt doar cîțiva dintre factorii de bază de care depinde reușita lucrărilor de sudare.

În momentul de față, în condițiile crizei mondiale de energie, în cadrul sudurii sau remanierii prin sudare la cald a pieselor turnate din fontă cu defecte de turnare, fiecare grad Celsius în plus peste temperatura optimă de preîncălzire înseamnă pe de o parte risipă de energie, iar pe de altă parte, creșterea nejustificată a prețului de cost al pieselor remaniate prin sudare. Din această cauză cunoașterea cît mai precisă a temperaturii de preîncălzire a pieselor din fontă, în vederea sudării sau remanierii prin sudare, constituie un factor de prim ordin atît din punctul de vedere al parametrilor de sudare, cît și din punctul de vedere al economiei de energie, mai ales atunci cînd preîncălzirea se face cu combustibili deficitari (gaze naturale sau combustibili proveniți din țiței).

Datorită conținutului de carbon ridicat și a prezenței separărilor de grafit din masa metalică de bază a fontelor, problema sudării acestora se complică prin apariția, pe de o parte a cementitei și a constituenților de călire în materialul depus și în zona de influență termică, iar pe de altă parte a influenței efectului de creștere al separărilor de grafit asupra masei metalice de bază.

Din această cauză, sudarea fontelor prezintă două particularități importante care în final impun condițiile de sudare și anume:

- inaptitudinea lor de a suporta alungiri mari datorită tensiunilor ce iau naștere în metalul depus prin sudare și în zona de influență termică;
- posibilitatea în schimb a lor, de a suporta puternice șocuri termice locale.

Datorită acestor particularități la sudarea fontelor se adoptă două soluții complet diferite și anume:

- a) Sudarea la cald, care implică o puternică concentrare de căldură în piese (preîncălzire la temperaturi cuprinse între 450 și 650°C), o execuție relativ rapidă a îmbinării, luîndu-se măsurile necesare în vederea asigurării unei răcirii cît mai lente a băii de metal topit și a zonei de influență termică cît și a întregii piese pînă la temperatura ambiantă.

De crearea acestor condiții de răcire, depinde cantitatea de cementită, a structurilor de călire în masa metalică de bază, a valorii tensiunilor interne și ca urmare a deformațiilor în piesele care se sudează sau se remaniază prin sudare.

b) Sudarea la rece, care implică foarte slabe concentrări de căldură în piese. Ea se execută prin șocurile termice provocate de arcul electric prin depunerea unor cordoane scurte (10...30 mm), executate la intervale de timp relativ mari, în scopul evitării încălzirii piesei peste o anumită limită de temperatură (60...70°C)

În cazul sudării la rece a pieselor cu gabarit complicat sau cu masa metalică de bază perlitică, uneori se aplică o ușoară preîncălzire (max.100°C) respectând tehnologia de sudare, (cordoane scurte și tasate prin ciocănire ușoară încă în starea caldă, în vederea ecruisării metalului depus și a eliminării tensiunilor interne care iau naștere în timpul procesului de sudare).

Dacă în cazul sudării la rece sau semicald, pentru execuția îmbinării sudate se folosesc materiale de adaos de altă natură decât a materialului de bază (electrozi de nichel, nichel-fier, nichel-cupru, etc...), în cadrul sudării la cald se folosesc în mod obligatoriu numai vergele sau electrozi din fontă sau alte materiale care în timpul procesului de topire în arc, asigură formarea în metalul depus a fontei (electrozi tubulari sau electrozi cu învelișuri de aliere și modificatoare) cu caracteristici fizico-mecanice, chimice de culoate, etc. similare materialului de bază.

Pentru obținerea unor îmbinări sudate cu caracteristici fizico-mecanice cât mai apropiate de ale materialului de bază, în special în cadrul sudării la cald, doi factori sînt de cea mai mare importanță și anume:

- factorul metalurgic care se referă la structura materialului depus prin sudare și a zonei de influență termică și
- factorul mecanic, care se referă la valoarea tensiunilor interne și ca urmare a deformațiilor piesei supusă operațiilor de sudare.

5.2.1. Factorul metalurgic

Este de cea mai mare importanță pentru obținerea unor îmbinări sudate cu caracteristici fizico-mecanice cât mai apropiate.

de ale materialului de bază.

Particularitățile formării structurii metalului depus prin sudare și a zonei de influență termică și anume structura primară și structura secundară, precum și influența compoziției chimice a băii de metal topit din materialul de adaos folosit (vergele, electrozi înveliți, sîrmă tubulară, etc.), împreună cu o parte din materialul de bază, viteza de răcire a acestuia și a zonei de influență termică, tratamentul băii de metal topit cu substanțele modificatoare din materialul de adaos în vederea obținerii separărilor de grafit sub formă nodulară, tratamentul metalului depus prin sudare și al zonei de influență termică după răcire (tratamentul termic), sînt mijloacele tehnologice hotărîtoare pentru obținerea structurilor dorite și deci a proprietăților mecanice și de exploatare ale pieselor din fontă sudate sau remaniate prin sudare.

5.2.1.1. Structura primară a metalului depus

În condițiile unei răciri lente a băii de metal topit prin sudare, fontele cenușii hipoeutectice nealiate cu grafit nodular, au structura primară constituită din dendrite primare de austenită, din celule eutectice și din porțiuni de eutectic fosforos.

Dendritele de austenită primară se separă și cresc în intervalul lichidus-solidus.

În timpul transformării eutectice și la temperaturi mai joase, dendritele de austenită rămîn practic neschimbate. Celulele eutectice se formează și cresc în timpul transformării eutectice și reprezintă grăuntele primar. Ele sînt agregate policristaline, de formă mai mult sau mai puțin sferică și se separă în spațiile dintre dendritele de austenită. Celulele eutectice sînt constituite din separări de grafit și austenită.

La formarea celulei eutectice, cristalizarea este inițiată de grafit care crește dintr-un germene de cristalizare.

La temperaturi mai scăzute, dar totuși deasupra celei de transformare eutectică din acești germeni se formează nodule de grafit care se acoperă cu un înveliș de austenită, întrerupîndu-se astfel contactul dintre grafit și fonta lichidă.

La transformarea eutectică agregatele sferoidale grafit-austenită se dezvoltă prin creșterea ambelor faze: austenita crește în contact cu lichidul pînă la epuizarea lui, iar grafitul pe baza difuziei carbonului prin învelișul de austenită.

În cazul fontei cu grafit nodular, fiecare nodulă de grafit corespunde unei celule eutectice.

Forma nodulară a grafitului dispare și degenerază în forme vermiculare sau lamelare de grafit, dacă baia de metal topit este menținută la o temperatură peste sau în domeniul de temperaturi eutectice, un timp îndelungat sub acțiunea sursei de căldură. Explicația care a fost unanim acceptată, se datorește dezactivării germinilor, adsorbția unor elemente vătămătoare la interfața grafit-topitură, dispariția elementului nodulizant din topitură sub acțiunea sursei de căldură.

Cu alte cuvinte, la limita celulelor eutectice segregă o proporție ridicată de elemente, în general sub formă de faze eutectice (de exemplu: eutectic bogat în fosfor și sulf mai puțin în cazul fontei cu grafit nodular.)

După terminarea transformării eutectice, aproape întreaga fază lichidă se solidifică, cu excepția fazei lichide bogate în fosfor, ușor fuzibilă, care se găsește la limita celulelor eutectice. Eutecticul fosforos se solidifică ultimul, la temperaturi de circa 950°C , ocupînd spațiile dintre celulele eutectice. Cu solidificarea acesteia se termină cristalizarea primară și procesul de formare a structurii primare a băii de metal topit prin sudare.

Cristalizarea eutectică este influențată decisiv de viteza de răcire a băii de metal topit. Cu cît această viteză este mai mare, cu atît numărul de germeni de cristalizare este mai mare.

La viteze de răcire foarte mari cristalizarea celulelor eutectice se modifică esențial în sensul că este favorizată cristalizarea cementitei și nu a grafitului. La viteze de răcire medii, fapt întîlnit la sudare la preîncălziri insuficiente ale pieselor, formarea cementitei este favorizată și numai într-o mică măsură cristalizarea grafitului.

În cazul de față în aceste condiții de răcire structura primară a metalului depus prin sudare, constă din dendrite

primare de austenită și colonii eutectice. Dendritele de austenită au aceleași caracteristici ca și în cazul vitezelor mici de răcire și se separă din faza lichidă în intervalul lichidus-solidus.

Coloniile eutectice care se formează la transformarea eutectică, reprezintă agregate policristaline care constau dintr-o placă de bază de cementită eutectică în care cresc cristalele de austenită eutectică.

La viteze foarte mari de răcire a băii de metal topit prin sudare, rolul conducător în procesul de cristalizare îl are cementita.

Eutecticul fosforos este răspândit la limita plăcilor coloniilor eutectice.

5.2.1.2. Structura secundară a materialului depus prin sudare și a zonei de influență termică

La răcire, sub linia solidus pînă la 723°C , din austenita suprasaturată, carbonul iese din soluție și prin difuziune se depune (cristalizează) pe suprafețele nodulare ale separărilor de grafit eutectic. Cu alte cuvinte, pe curba ES din diagrama Fe-C, la fontele hipoeutectice se separă întotdeauna grafit secundar, care nu formează însă separări proprii, ci se contopește cu grafitul eutectic sau primar.

În funcție de viteza de răcire și gradul de aliere al băii de metal topit, și a zonei de influență termică, austenita se poate descompune la transformarea eutectoidă după una din următoarele scheme:

- $A \rightarrow P$, cu formarea perlitei, în cazul unor viteze mari de răcire a băii de metal topit și a ZIT;
- $A \rightarrow P + F + Gs$, cu formarea perlitei, feritei libere și a grafitului eutectoid, în cazul vitezelor medii de răcire;
- $A \rightarrow F + Gs$, cu formarea feritei libere și a grafitului eutectoid la viteze mici de răcire a băii de metal topit și a ZIT.
- La viteze foarte mari de răcire în structură se mai separă cementită secundară pe linia ES, precum și cementită terțiară pe linia PQ.

În toate cazurile grafitul eutectoid, ca și cel secundar și terțiar cristalizează pe suprafața separărilor de grafit eutectic sau cel primar.

În aceste fonte (hipoeutectice) ferita se formează în jurul separărilor de grafit.

Explicația constă în faptul că porțiunile de austenită care vin în contact cu grafitul, sînt mai sărace în carbon și de aceea la transformarea eutectoidă ele se transformă ușor în ferită, în comparație cu porțiunile mai îndepărtate. La fonte, ferita liberă și cea legată, se formează întotdeauna la transformarea eutectoidă a austenitei.

La temperaturi mai joase, subeutectoide, din soluția de ferită suprasaturată se separă grafit terțiar.

În funcție de gradul de preîncălzire în vederea sudării structura masei metalice de bază este constituită din ferită, perlită, cementită și constituenți de călire, de unde și faptul că în îmbinările sudate la cald nu se pot obține rezistențe la rupere egale sau mai mari decît în materialul de bază.

5.2.1.3. Tratamentul băii de metal topit cu substanțe modificatoare

În cadrul sudării, formarea metalului topit depus, la fontele cu grafit nodular se face în general cu două tipuri de material de adaos și anume:

- vergele sau electrozi cu inimă din fontă cu grafit nodular cu exces de magneziu sau ceriu;
- electrozi sintetici cu inimă din fier moale și pastă ionizantă, de protecție, de aliere și elemente nodulizante (Mg sau Ce) sau electrozi tubulari care au aceste substanțe incluse în interior.

Practica sudării a dovedit că folosind cele două tipuri de materiale de adaos, în condițiile impuse de sudarea la cald, adică în condițiile de răcire ale băii de metal topit, procesul de modificare se menține sau se realizează în procesul de formare al băii de metal topit sub influența arcului electric.

Modificarea băii de metal topit prin sudare, acționează, ca și în cazul elaborării fontelor cu grafit nodular, adică schimbă condițiile de formare a germenilor la cristalizarea primară (număr și viteză de creștere) de așa natură încât determină o mărire pronunțată a numărului de germeni (al celulelor sau a coloniilor eutectice) și o compactizare a grafitului sub formă nodulară.

Cea mai importantă particularitate a procesului de modificare, în cazul sudării, este acela că acest proces poate dispărea, la menținerea băii de metal topit mult timp în această stare.

5.2.1.4. Influența vitezei de răcire

Viteza de răcire influențează structura și proprietățile fontelor în măsură mult mai mare decât la celelalte aliaje.

Mărirea vitezei de răcire determină micșorarea temperaturii de transformare eutectică și eutectoidă, cristalizarea are loc la subrăciri tot mai mari, iar fonta devine din ce în ce mai cementitică.

Această influență a vitezei de răcire se explică prin faptul că procesele de difuziune care stau la baza cristalizării primare și secundare nu au posibilitatea să se desfășoare complet într-o perioadă dată de timp.

Ca urmare a micșorării sau chiar a lichidării intervalului în care se poate separa grafitul, precum și a măririi gradului de subrăcire la cristalizarea eutectică, creșterea vitezei de răcire determină mărirea tendinței de cristalizare a fontei în sistemul metastabil austenită-cementită, adică a tendinței de albire.

Rezultă că odată micșorarea gradului de preîncălzire al piesei în vederea sudării la cald va crește posibilitatea de a obține fonte albe.

Așadar mărirea vitezei de răcire are un efect antigrafitizant (de albire) asupra structurii primare a fontelor.

Viteza de răcire influențează de asemenea structura secundară a fontelor.

Cu mărirea vitezei de răcire crește proporția și numărul de grăunți de perlită, precum și gradul de dispersie a acesteia.

Cu alte cuvinte, viteza de răcire are la transformarea eutectoidă, un efect antiferitizant și antigrafitizant.

5.2.2. Factorul mecanic

Atît în cadrul sudării la rece, cît și la cald, în piesele din fontă se nasc tensiuni interne datorită repartiției neuniforme a căldurii provocate de sursă de căldură cu care se execută îmbinarea, tensiuni care se ridică uneori la valori foarte mari și care uneori depășesc rezistența la rupere a masei metalice, de bază.

La fontele cu grafit nodular cu masa metalică de bază feritică de exemplu, caracterizate prin rezistențe la rupere relativ mici, dar cu alungiri mari, în zonele în care se execută îmbinarea sudată se produc deformații locale care înlătură în foarte mare măsură pericolul formării fisurilor. În cazul fontelor cu masa metalică perlitică, caracterizate prin rezistențe la rupere mari, dar cu alungiri mici, pericolul formării fisurilor este mai mare: în aceste cazuri în cadrul sudării la rece, în special la piesele bridate se aplică de obicei o ușoară preîncălzire de pînă la 100°C. În ambele cazuri pericolul formării fisurilor sub cordon este accentuat de formarea unei pelicule subțiri de cementită, precum și a structurilor de călire.

Micșorarea tendinței de formare a carburilor în aceste zone este mult înlăturată prin folosirea ca material de adaos a nichelului sau a aliajelor de nichel-fier și nichel-cupru.

În cadrul sudării la cald, răcirea care succede operațiile de sudare introduce tensiuni interne în piesele din fontă cu defecte de turnare supuse remanierilor prin sudare. Pentru mărirea siguranței în exploatare, de multe ori, în funcție de importanța pieselor, se aplică tratamentul termic de detensionare, operație care de altfel se poate efectua în același cuptor, imediat după terminarea operațiilor de sudare.

Studiul tensiunilor interne de origine termică în cadrul sudării la cald, a demonstrat faptul că aplicarea unor regimuri dure aplicate la preîncălzire, sudare și răcire după sudare, chiar în cazul pieselor din fontă cu grafit nodular conduc la compromiterea operațiilor de sudare.

Preîncălzirea și răcirea după sudare, trebuie efectuate după diagrame lineare, cu gradiente de căldură mici și constante, care asigură încălziri, respectiv răciri, uniforme în întreaga piesă, pericolul formării tensiunilor interne, fiind în acest caz foarte mult diminuat.

Stabilirea diagramei de preîncălzire-răcire la sudarea pieselor din fontă cu defecte de turnare este în funcție de mulți factori, printre care forma separărilor de grafit, structura masei metalice de bază, analiza chimică a fontei, forma și configurația piesei sînt doar cîțiva dintre cei mai importanți factori.

5.2.3. Alegerea epruvetei pentru determinarea cîmpului termic la sudarea la cald, la diferitele grade de preîncălzire

Procesele de cristalizare primară și secundară la sudarea fontelor, unde volumul băii de metal topit este foarte mic în raport cu volumul piesei turnate, se produc într-un timp foarte scurt sub acțiunea vitezei de răcire. Piesa, acționează asupra băii de metal topit ca un puternic răcitor, proces de răcire, care nu poate fi frînat decît parțial prin preîncălzire. În aceste condiții, pericolul formării cementitei primare și secundare este de neînlăturat, atît în metalul depus prin sudare cît și în zona de influență termică.

Determinarea cu suficientă precizie a temperaturii de preîncălzire a pieselor din fontă cu grafit nodular, la care, funcție de acesta, cantitatea de cementită din materialul depus și zona de influență termică, în scopul obținerii unor proprietăți fizico-mecanice cît mai apropiate de ale materialului de bază, este absolut necesară atît din punct de vedere tehnic cît și din punct de vedere economic.

Din punctul de vedere al practicii de laborator, metoda de cercetare pentru determinarea curbelor de răcire a băii de metal topit și a zonei de influență termică a constat din încălcarea prin sudare a zonei centrale a unei epruvete din fontă cu grafit nodular de formă paralelipipedică, în care s-a introdus un termocuplu Pt - Pt,Rh legat la un înregistrator potențio-

metric, care a înregistrat curba de răcire a punctului format prin sudare. Aceste curbe de răcire au fost folosite drept criteriu de determinare a vitezelor de răcire a băii de metal topit și în continuare pînă la temperatura de transformare eutectoidă conform schemei din fig.5.8.

Pentru a transmite tridimensională a căldurii, grosimea e a epruvetei a fost calculată conform relației (5.21), la care s-au înlocuit temperaturile între care poate apare cementita și anume 1300°C și 723°C .

$$\delta_c = \left[\frac{q}{2 \times \gamma \times c} \left(\frac{1}{723 - T_0} + \frac{1}{1300 - T_0} \right) \right]^{1/2} \text{ cm}$$

Valoarea expresiei pentru determinarea valorii energice lineare q , a fost calculată pentru sudarea manuală cu arc electric, cu electrozi cu diametrul cuprins între $\phi 6$ și $\phi 20$ mm folosind următorii parametri de sudare:

$$I = 150 \dots 650 \text{ A}$$

$$U = 23 \dots 30 \text{ V}$$

$$V = 0,1 \dots 0,5 \text{ cm/S}$$

$$\gamma^v = 720 \text{ g/cm}^3$$

$$C = 0,129 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$$

$$T_0 = 20^{\circ}\text{C}; 300^{\circ}\text{C}; 400^{\circ}\text{C}; 450^{\circ}\text{C}; 500^{\circ}\text{C}; 550^{\circ}\text{C}; 600^{\circ}\text{C} \dots$$

și 650°C

Cu majorările respective, s-a convenit ca dimensiunile epruvetei pentru determinarea temperaturii de preîncălzire și a vitezelor de răcire să fie de $200 \times 200 \times 40$ mm.

În fig.5.9 este dată schița epruvetei experimentale. Pentru ușurarea condițiilor de localizare a băii de metal topit, epruveta a fost prevăzută cu o cavitate de $\phi 30$ mm cu adîncimea de 5 mm.

În fig.5.10 este dată schema de principiu a instalației experimentale pentru determinarea temperaturii de preîncălzire, în vederea obținerii în îmbinare și în zona de influență termică a unor structuri metalografice cît mai apropiate de ale

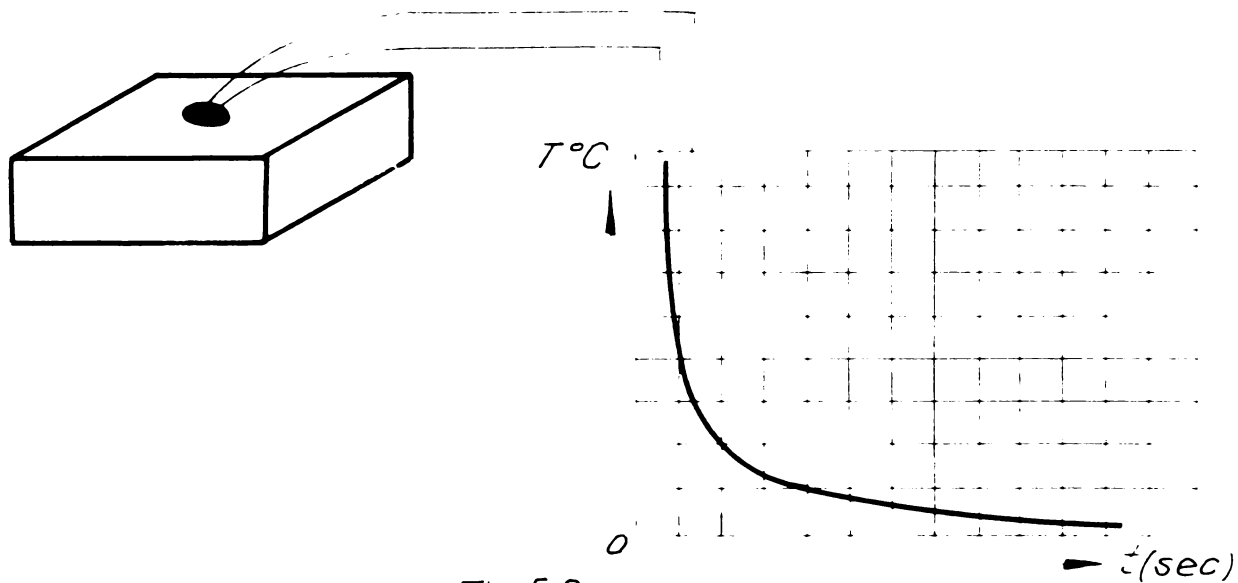


Fig. 5.8.

Curba de răcire a punctului de sudură realizat cu ajutorul termocoplului legat la înregistratorul potențimetric.

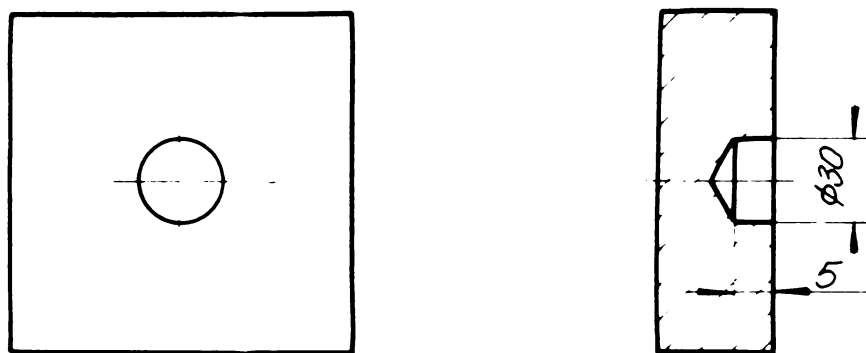


Fig. 5.9

Forma epruvetei din fontă cu grafit nodular pentru determinarea temperaturii și a vitezei de răcire a îmbinărilor sudate.

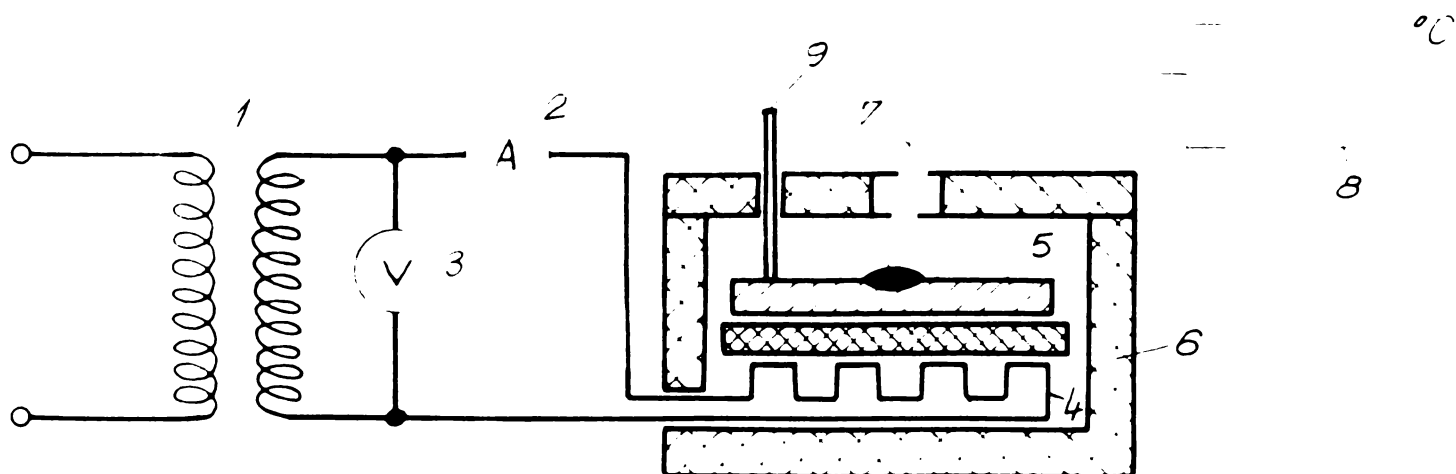


Fig. 5.10

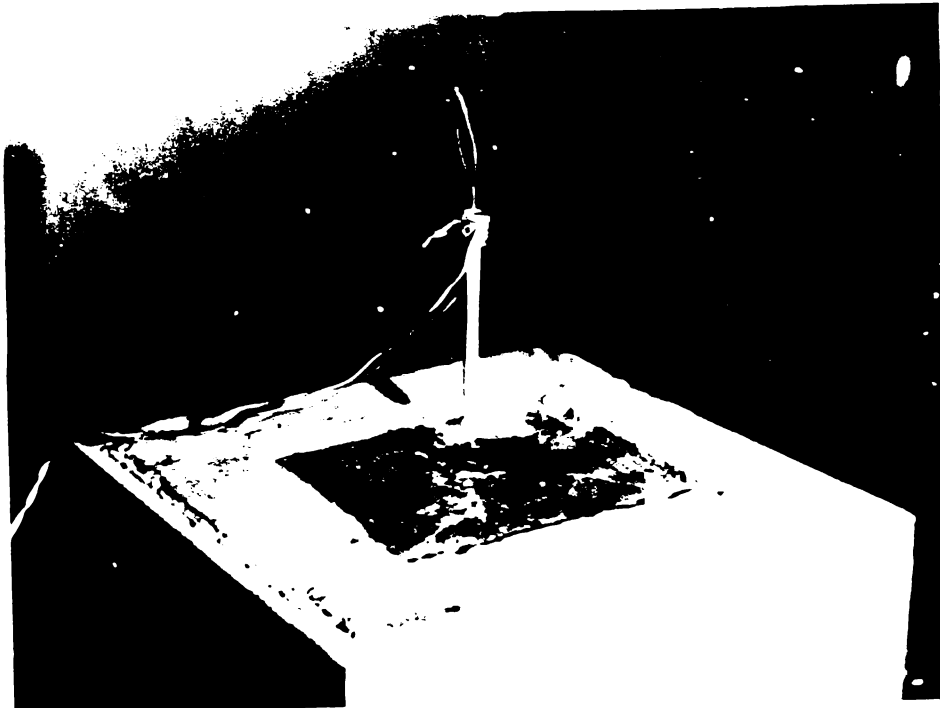
Schema instalației de determinare a temperaturii și a vitezei de răcire în intervalul 1300°C - 723°C a răcii de metal topit pentru fontă cu grafit nodular.
 1 - Transformatorul de sudură; 2 - Ampermetru; 3 - Voltmetru; 4 - Rezistență electrică; 5 - Epruveta din fontă; 6 - Tuptor; 7 - Termocoplu; 8 - Înregistrator potențimetric; 9 - Termocoplu și măsurarea temperaturii

materialului de bază.

Cu ajutorul transformatorului de sudură (1) se încălzește pînă la temperatura prescrisă epruveta (5), așezată în cuptorul (6), plasată deasupra rezistenței ohmice (4). După umplerea prin sudare a cavității practicate în epruvete, se introduce termocuplul (7) în baia de metal topit, termocuplu racordat la potențimetrul înregistrator (8).



a



b

Fig.5.11. Instalația experimentală pentru determinarea curbelor de răcire a băii de metal topit la diferite grade de preîncălzire a epruvetelor din fontă cu grafit nodular (a). Vedere de ansamblu a epruvetei din fontă cu termocuplul Pt-PtRh introdus în punctul sudat

In fig.5.11 este dată fotografia cuptorului de preîncălzire, a epruvetei încărcate și a termocuplului implantat în metalul depus prin sudare precum și a potențiometrului înregistrator tip Servogor 310 BBC Goerz, cu ajutorul căruia s-au obținut curbele de răcire.

Experimental, prin intermediul instalației de laborator s-au trasat 8 curbe de răcire, la un lot de 40 epruvete din fontă cu grafit nodular turnate din aceeași șarje din care s-au turnat piesele din producția curentă a ICSITPSC București.

Curbele de răcire pentru lotul experimental au fost identice în intervalul de temperaturi de 1300 ... 723°C la aceleași grade de preîncălzire.

In fig.5.12 sînt date curbele de răcire ale băii de metal topit și a ZIT create la sudarea manuală cu arc electric cu electrozi din f.g.n. în intervalul de cristalizare și a intervalului eutectoid.

Din analiza acestor curbe, se constată că vitezele de răcire a băii de metal depus prin sudare și a ZIT în intervalul cuprins între linia lichidus și temperatura de transpunere eutectoidă scade foarte mult de la epruveta încărcată la 20°C la cea încărcată cu preîncălzire la 650°C.

In tabelul 5.2 sînt date vitezele de răcire ale materialului depus prin sudare în intervalul de cristalizare cuprins între 1294°C - 1148°C, iar în tabelul 5.3, vitezele de răcire în intervalul de transformare eutectoidă de la 1148°C și paleta de temperaturi eutectoide 676°C și 716°C, măsurate pe cele 8 curbe de răcire din fig.5.12.

Intervalul de cristalizare s-a apreciat între temperaturile 1294°C și 1148°C, iar timpul în care s-a efectuat acest fenomen, s-a măsurat în milimetri la punctul de intersecție al curbei de răcire cu dreapta care măsoară temperatura de 1148°C, ținînd seama de viteza benzii care a fost de 60mm/min.

Intervalul de transformare eutectoidă s-a măsurat în intervalul de temperaturi cuprins între 1148°C și 616°C pînă la 723°C. Măsurarea timpului parcurs în acest interval s-a măsurat

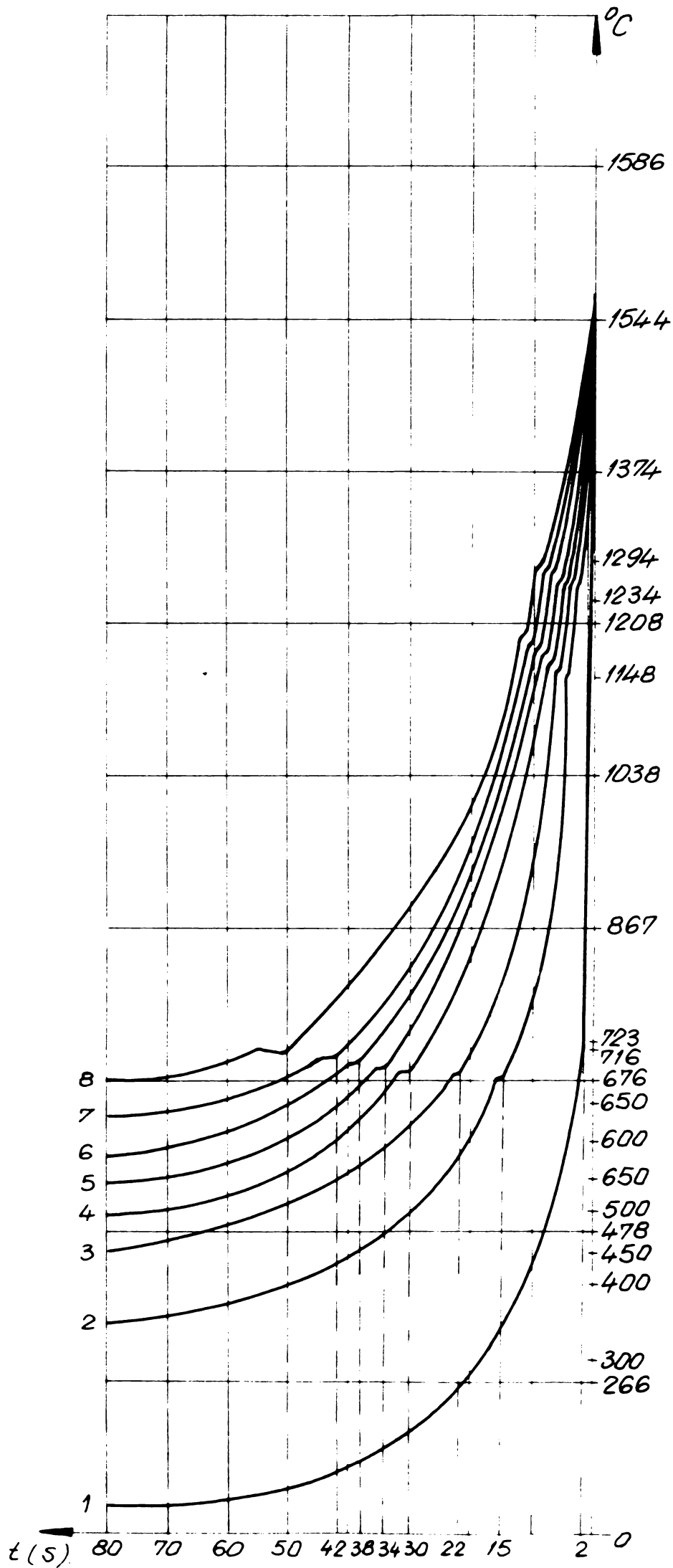


Fig. 5.12.

Curbele de răcire ale metalului depus prin sudare la diferite grade de preîncălzire.

Vitezele de răcire ale băii de metal topit în intervalul de cristalizare

Tabelul 5.2.

Nr. crt.	Temperatura de preîncălzire °C.	Media intervalului de cristalizare 1294°C - 1148°C °C.	Timp de răcire în intervalul de cristalizare s.	Viteza de răcire în intervalul de cristalizare °C/s.
1	20	46	1	46,00
2	300	46	3	15,33
3	400	46	4	11,50
4	450	46	5,2	8,86
5	500	46	6,5	7,09
6	550	46	8	5,75
7	600	46	9	5,11
8	650	46	10	4,60

Vitezele de răcire ale materialului depus și a ZIT în intervalul eutectoid.

Tabelul 5.3

Nr. crt.	Temperatura de preîncălzire	Intervalul de transformare eutectoidă	Timpul de răcire s.	Viteza de răcire în intervalul eutectoid °C/s.
1	20	1148 - 723 = 425	2	212,50
2	300	1148 - 676 = 462	15	31,46
3	400	1148 - 680 = 468	22	21,27
4	450	1148 - 685 = 463	30	15,43
5	500	1148 - 700 = 448	34	13,17
6	550	1148 - 705 = 443	38	11,65
7	600	1148 - 710 = 438	42	10,42
8	650	1148 - 716 = 432	50	8,64

pe curbele de răcire din fig.5.12, și anume timpul în milimetri de la punctul de intersecție al acestora cu dreapta care marchează temperaturile 716°C până la 723°C (Fiecare milimetru de pe această dreaptă corespunde timpului de o secundă (la viteza de avans a benzii înregistratorului potențiomtric de 60 mm/min).

Din analiza curbelor din fig.5.12 se poate trage concluzia că viteza de răcire a băii de metal topit prin sudare, în intervalul de cristalizare primară scade de la $46,00^{\circ}\text{C}/\text{S}$, la epruvetele fără preîncălzire la $4,60^{\circ}\text{C}/\text{S}$ la epruvetele cu preîncălzire de 650°C și anume:

- Curba de răcire nr.1 (epruvete sudate fărăpreîncălzire).

Această curbă de răcire coboară brusc de la temperaturi situate sub 1500°C și nu prezintă devieri care să marcheze nici procesul de cristalizare și nici procesul de transformare eutectoidă. Din calculul vitezei de răcire, reiese că aceasta a fost de $46^{\circ}\text{C}/\text{S}$ în intervalul de cristalizare primară și $212,50^{\circ}\text{C}/\text{s}$ în intervalul de cristalizare secundară.

Analiza microstructurii din fig.5.13, demonstrează că în aceste condiții cementita primară și dendritele de austenită sînt singurele faze prezente în structura depunerii.

În zona de influență termică, grafitul sub formă nodulară este încastrat într-o masă metalică de perlită fină și cementită.

Se apreciază un conținut de cementită în MD și ZIT de pînă la 100%. (Aprecierea cantității de cementită s-a făcut cu aproximație în comparație cu micrografiile etalon din STAS 6905-76).

- Curba de răcire nr.2 (epruvete sudate cu preîncălzire la 300°C). Această curbă realizează viteze de traversare a intervalului de cristalizare de $15,33^{\circ}\text{C}/\text{S}$ și a intervalului eutectoid de $31,46^{\circ}\text{C}/\text{S}$.

La aceste viteze, se constată pe curba de răcire că apare începutul și sfîrșitul cristalizării, prin devieri evidente, care marchează intervalul de solidificare al materialului depus prin sudare.

Transformarea eutectoidă este de asemenea marcată prin devierea curbei de răcire la temperatura de 676°C .

În aceste viteze de răcire se constată în microstructură, fig.5.14, apariția germenilor de grafitizare în asociație însă cu dendrite de austenită și cementită aciculară, precum și cu

perlita care s-a separat la temperatura de 676°C , o perlită foarte fină, trostitică.

Din microstructura din fig.5.14 se apreciază un conținut de cementită în MD și ZIT cuprins între 20 și 30%.

- Curba de răcire nr.3 (epruvete sudate cu preîncălzire la 400°C). Această curbă de răcire realizează viteze de răcire în intervalul de cristalizare de $11,50^{\circ}\text{C/S}$, iar în intervalul transformare eutectoidă de $21,27^{\circ}\text{C/S}$.

Și la aceste viteze de răcire se constată începutul și sfârșitul cristalizării.

Devierea curbei de răcire la transformarea eutectoidă se face la această preîncălzire la 680°C .

La aceste viteze de răcire se constată, (microstructura din fig.5.15), că germeii de grafit bine conturați sînt înconjurați de ferită și perlită fină.

Din fig.5.15 se apreciază un conținut de cementită de pînă la 15%.

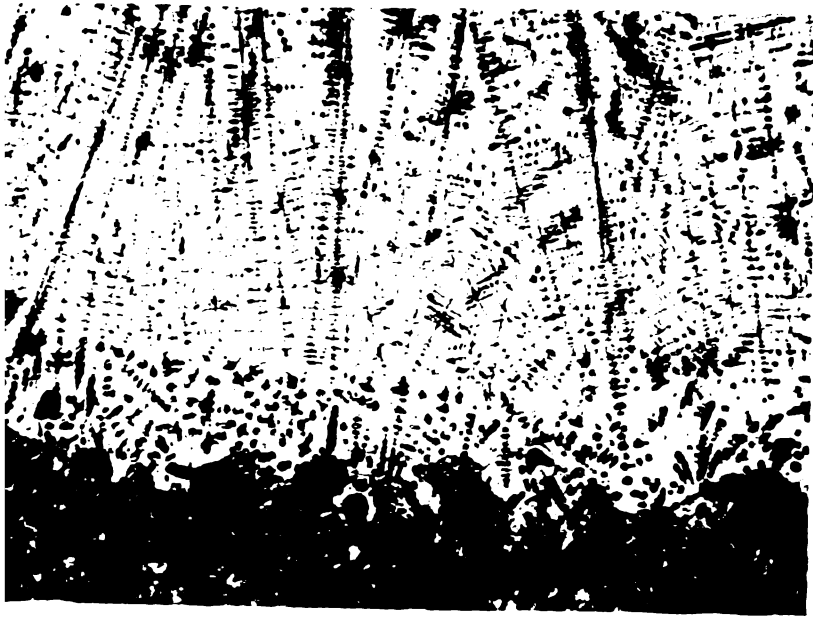
- Curba de răcire nr.5 (epruvete încărcate cu preîncălzire la 500°C). Această curbă de răcire realizează viteze de răcire de $7,09^{\circ}\text{C/S}$ în intervalul de cristalizare și de $13,17^{\circ}\text{C/S}$ în intervalul de transformare eutectoidă.

Ca și la celelalte curbe de răcire realizate cu preîncălzire, și în acest caz începutul și sfârșitul cristalizării este pus în evidență prin devieri evidente.

Transformarea eutectoidă este evidentă prin devierea curbei de răcire la 700°C .

Din microstructura prezentată în fig.5.16 se apreciază un conținut de pînă la 5% cementită. În aceste condiții de răcire separările de grafit sub formă nodulară sînt bine conturate. Cementita este prezentă în special pe linia de topire dintre MDB și MD.

- Curba de răcire nr.6 (epruvete sudate cu preîncălzire la 550°C). La această curbă de răcire este de asemenea bine evidențiat intervalul de solidificare pentru temperatura de început și sfârșit de solidificare, iar temperatura eutectoidă este sesizabilă și la temperaturi mai ridicate decît la curba precedentă. Viteza de răcire în intervalul de cristalizare este

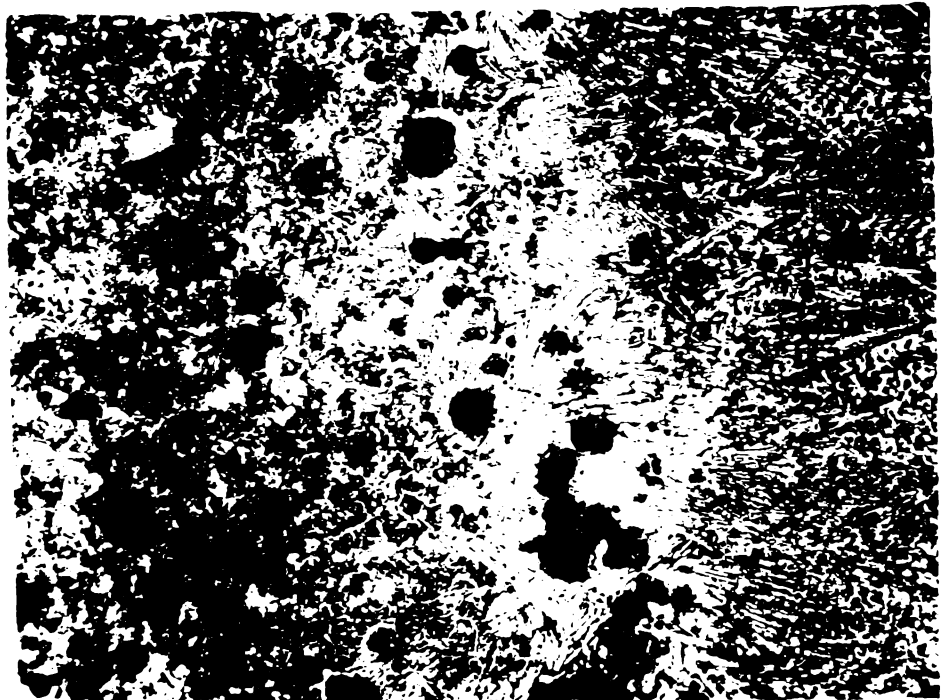


Atac Nitrat: 2%

x 100

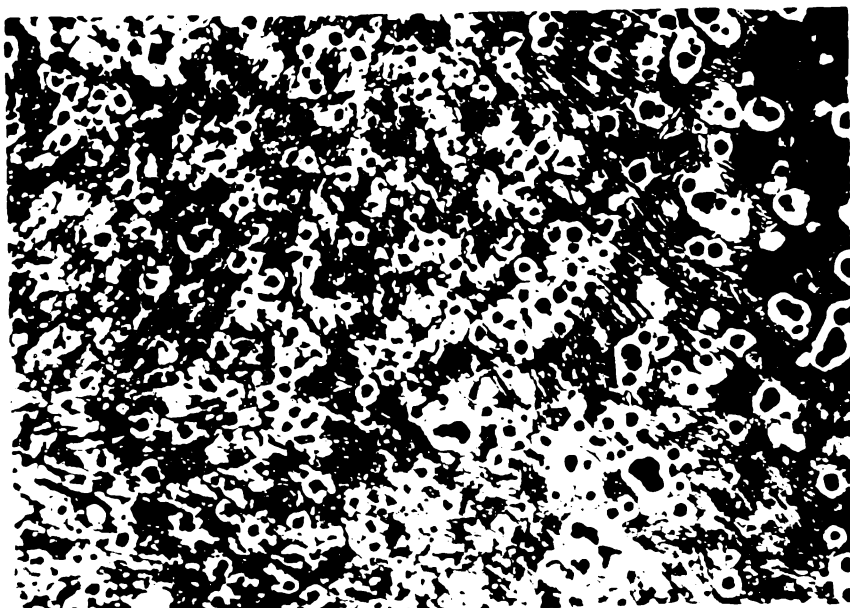
Fig.5.13. Microstructura
MDB, ZIT și MU la epru-
vetele încărcate fără
preîncălzire

Fig.5.14. Microstructura
MDB, ZIT și MD la epru-
vetele încărcate cu
preîncălzire la 300°C



Atac Nitrat: 2%

x 100



Atac Nitrat: 2%

x 100

Fig.5.15. Microstructura
MDB, ZIT și MD la epru-
vetele încărcate cu pre-
încălzire la 400°C

de $5,75^{\circ}\text{C/S}$, iar în intervalul eutectoid de $11,65^{\circ}\text{C/S}$.

În aceste condiții solidificarea băii de metal topit prin sudare, a avut loc cu separarea de dendrite de austenită, iar la temperatura eutectică, cu eutecticul grafit-austenită fig.5.17,

Din microstructura de mai sus se apreciază un conținut de cementită de pînă la 3%. Si în acest caz cementita este plasată în special pe linia de topire dintre MDB și MD.

-Curba de răcire nr.7 (epruvete sudate cu preîncălzire de 600°C). Si la această curbă de răcire, intervalul de început și sfîrșit de solidificare este evidențiat, temperatura eutectică fiind puțin mai ridicată decît la curba precedentă, iar temperatura transformării eutectoide este de asemenea sesizabilă și la temperaturi ceva mai ridicate decît la curba precedentă. Vitezele de răcire în intervalul de cristalizare este de $5,11^{\circ}\text{C/S}$ iar în intervalul eutectoid de $10,42^{\circ}\text{C/S}$.

În aceste condiții, solidificarea a avut loc cu separarea de dendrite de austenită, iar la temperatura eutectică cu eutecticul grafit-austenită.

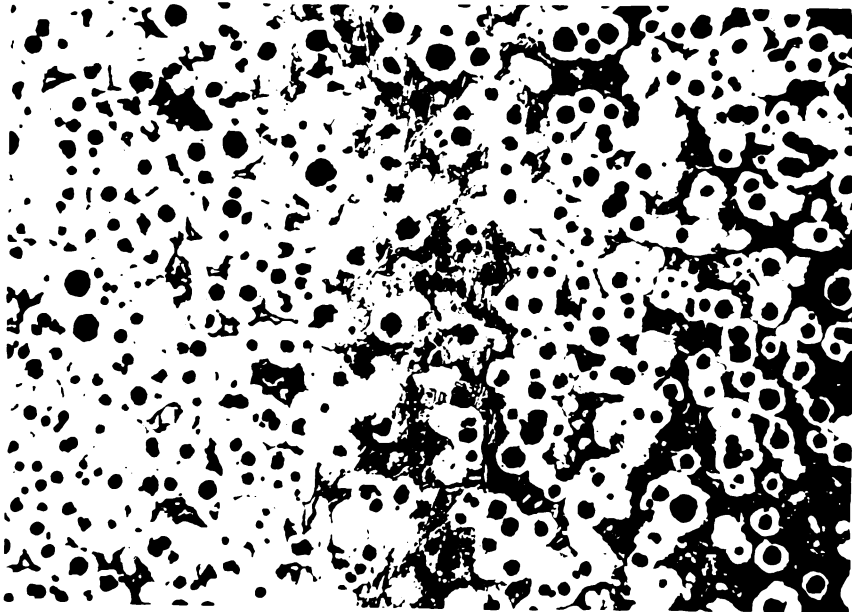
În intervalul dintre temperatura eutectică și eutectoidă la viteza de $5,13^{\circ}\text{C/S}$, austenita din jurul nodulelor de grafit a alimentat cu carbon procesul de creștere al nodulelor de grafit fig.5.18. La temperatura eutectoidă, austenita mai îndepărtată de nodula de grafit s-a transformat în perlită, iar în jurul nodulelor s-a separat ferita.

Din microstructura din fig.5.18 se apreciază un conținut de cementită de pînă la sub 1%.

- Curba de răcire nr.8 (epruvete sudate la 650°C). Se desfășoară ca și curba precedentă cu evidențierea cristalizării și transformării eutectoide. Cantitatea de cementită este de pînă la sub 1%.

Tinînd seama de faptul că la epruvetele din fontă cu grafit nodular preîncălzite la 550°C , conținutul de cementită din ZIT și M este sub 3%, procent care nu influențează substanțial proprietățile fizico-mecanice ale îmbinărilor sudate, s-a

trecut la verificarea acestor caracteristici pe placă din care s-a prelevat epruvetele de tracțiune precum și la remanierea prin sudare a unui lot de piese din fontă cu grafit nodular cu defecte de turnare, folosind ca materiale de adaos vergele, electrozi cu inimă de f.g.n. și electrozi tubulari elaborați în cadrul ICSITPSC.

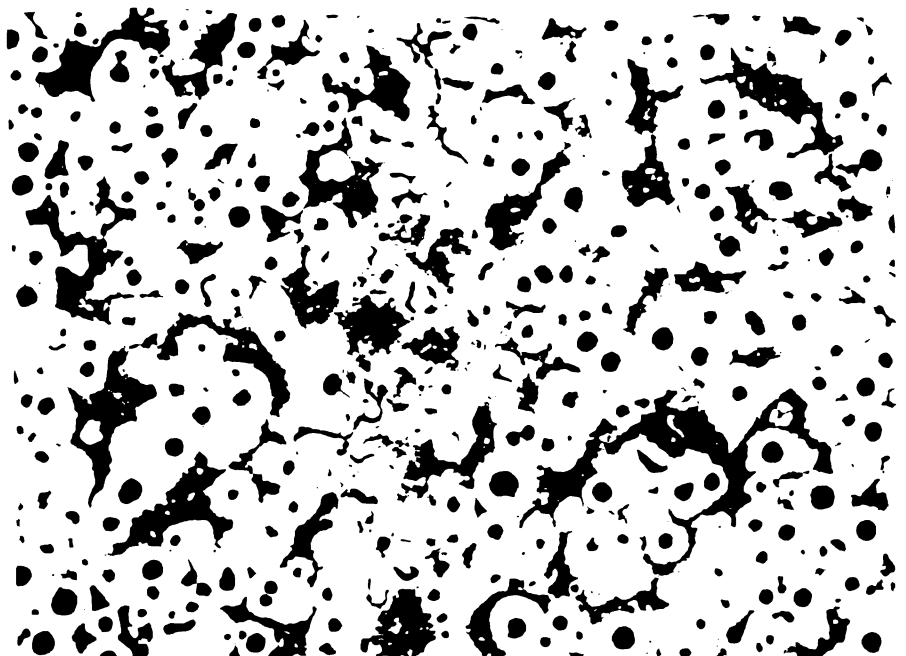


Atac Nitral: 2%

x 100

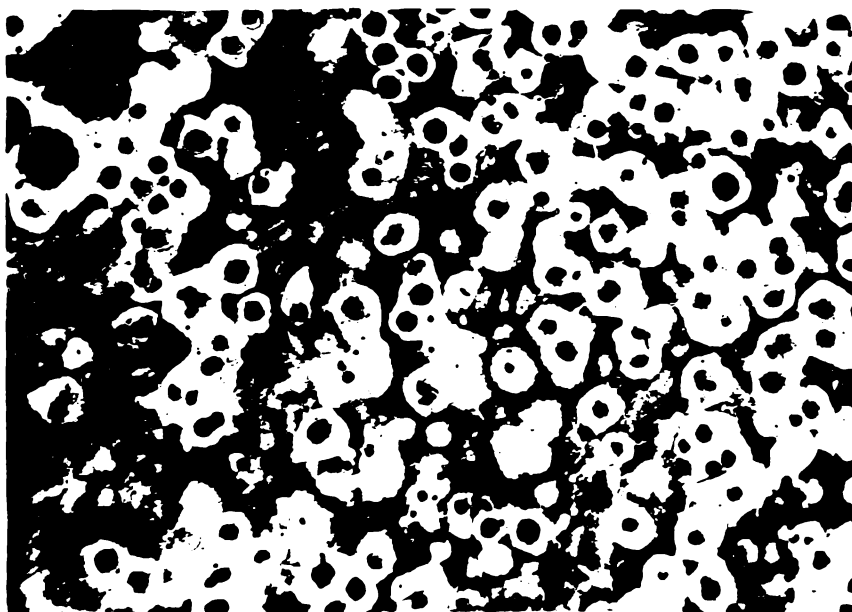
Fig.5.16. Microstructura MDB, ZIT și MD la epruvetele încărcate cu preîncălzire la 500°C

Fig.5.17. Microstructura MDB, ZIT și MD la epruvetele încărcate cu preîncălzire la 550°C



Atac Nitral: 2%

x 100



Atac Nitol: 2%

x100

Fig.5.18. Microstructura MDB, ZIT și MD la epruvetele încărcate cu preîncălzire la 600°C

5.3. Remanierea prin sudare la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular cu defecte de turnare

In general, prin sudare la cald și la rece se pot remania aproape toate piesele din fontă cu grafit nodular cu defecte de turnare.

Cele mai frecvente defecte de turnare la piesele remaniate în cadrul acestei faze, au fost incluziuni de zgură și amestec de formare, sufluri, pori, retasuri deschise, fisuri, etc.

Aceste defecte de turnare au fost remaniate atât prin metoda de sudare la cald cât și prin metoda de sudare la rece.

In cadrul remanierii prin sudare a lotului experimental de piese turnate, alegerea procedurii de sudare, s-a făcut numai pe baza mărimii defectului de turnare și anume pentru defectele mici, defecte care depășesc limita aplicării chiturilor metalice remanierea prin sudare la rece, iar pentru defectele mari, metoda sudării la cald.

5.3.1. Pregătirea pieselor în vederea sudării

In vederea sudării la cald piesele din fontă cu defecte de turnare se pregătesc, în sensul înlăturării complete a defectelor respective. Indepărtarea acestor defecte s-a făcut atât pe cale mecanică cu dălta sau cu arc electric cu electrozi speciali de craițuire a fontei.

În îndepărtarea defectelor nu s-a folosit crdituirea arc-aer, datorită pericolului formării cementitei în zona de influență termică, sub acțiunea aerului comprimat, care răcește brutal zona dizlocuită de baia de metal topit.

La îndepărtarea defectelor de turnare s-a avut în vedere faptul de a nu se executa cavități nejustificat de mari, fără însă de a se neglija îndepărtarea completă a lor.

După îndepărtarea mecanică sau cu arc electric a defectelor de turnare, locul și zonele învecinate defectului au fost curățate prin polizare fină, îndepărtându-se de la locul de sudare atât asperitățile din interiorul cavității, cât și crusta de oxizi de pe suprafața piesei turnate împrejurul defectului fig.5.19.

Controlul îndepărtării defectelor s-a făcut vizual, cu lupa sau prin metoda electromagnetică cu pulberi magnetice uscate.

În cazul pieselor din fontă cu grafit nodular cu defecte de turnare mari, sau care pentru înlăturarea lor a fost nevoie de străpungerea pereților piesei, cum au fost crăpăturile sau separări totale, pregătirea pieselor în vederea sudării s-a făcut cu plăci de grafit și cutii de formare, așa cum se vede în schița din fig.5.20.

5.3.2. Preîncălzirea pieselor în vederea sudării

După pregătirea piesei în vederea sudării, piesele din fontă cu grafit nodular au fost preîncălzite pînă la temperatura de 550°C în cuptoare din cărămidă refractară. Piesele de dimensiuni și greutate de pînă la 20 kg au fost sudate într-un cuptor mobil de dimensiuni reduse (1000 x 500 x 500 mm) cu capac segmentat, fig.5.21.

Pentru piesele de dimensiuni mai mari (100 .. 250 kg și mai mari) cum a fost, de exemplu, piesa portperie și carcasă angrenaj partea inferioară și partea superioară de la locomotiva electrică (Intr.Electroputere Craiova), cuptoarele au fost construite după gabaritul acestora așa cum se vede în fig.5.22 și fig.5.23.

Preîncălzirea pieselor din fontă cu grafit nodular s-a făcut cu arzătoare de gaz metan, care au permis o dirijare

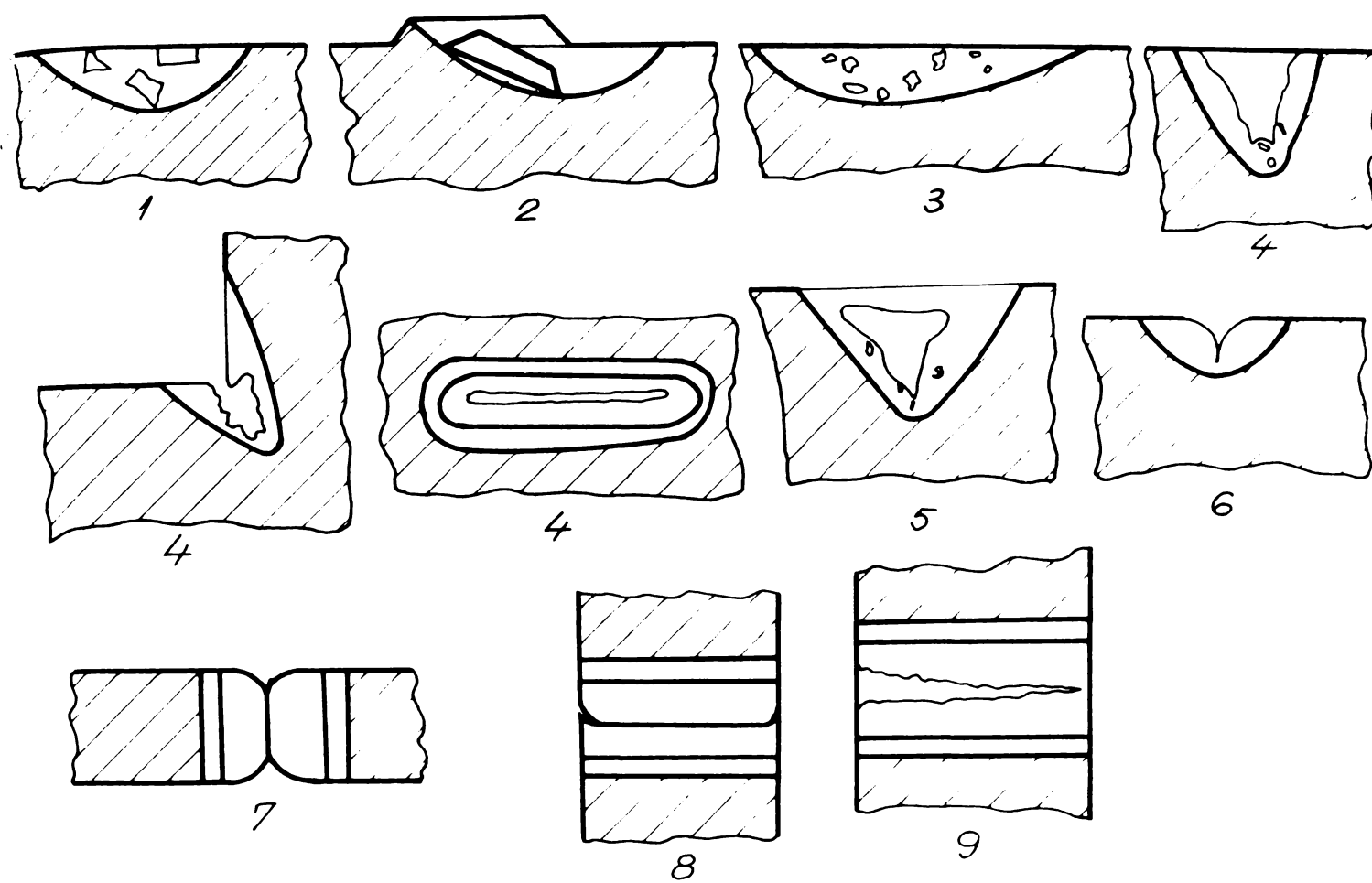


Fig. 5.19.

Cîteva defecte remaniabile prin sudură la cald.

1-Incluziuni de amestec de formare; 2-Forme căzute; 3-Sufluri, pori, sufluri cu zgură; 4-Retasuri deschise și retasuri axiale; 5-Retasuri închise; 6-Separări parțiale; 7-Separări totale; 8-Turnare întreruptă; 9-Crăpături.

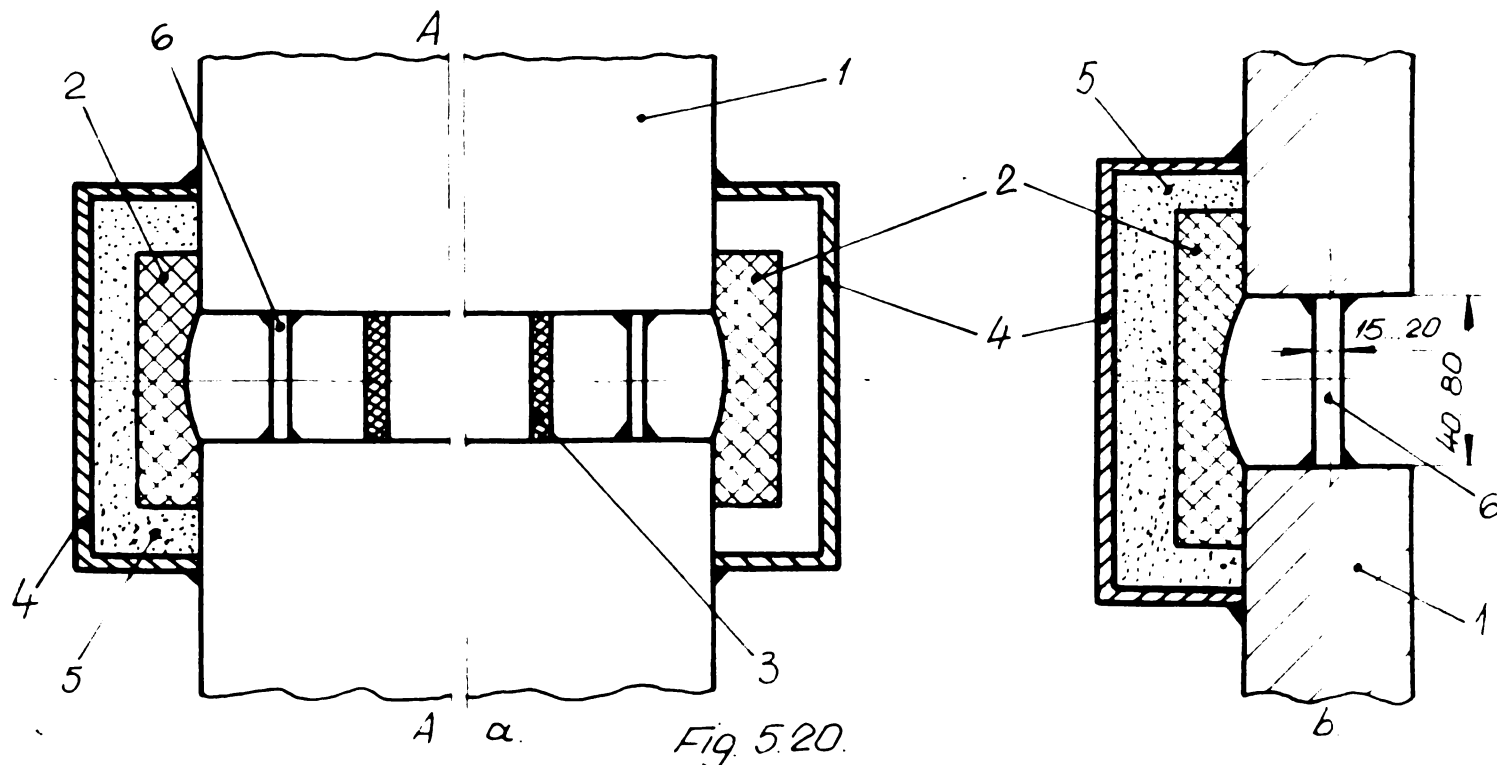


Fig. 5.20.

Pregătirea unui defect de turnare pătruns, de exemplu crăpătură sau separare totală

a - vedere de sus ; b - vedere din secțiunea A-A

1- Peretele piesei, 2- Formă fasonată din grafit; 3- Plăci din grafit pt. compartimentare; 4- Cutii de susținere; 5- Amestec de formare; 6- Bulboane distanțiere sudate.

corectă a vitezei de preîncălzire, după diagramele prevăzute pentru fiecare piesă în parte.

Forma diagramei de preîncălzire respectiv răcire după sudare este dată în fig.5.24. Valorile mari ale vitezei de preîncălzire, respectiv răcire după sudare (pînă la 80°C/ora) s-au aplicat la piesele simple în special pentru saboții de frînă (GFR) și unele repere de la I.A.Brașov, iar cu viteza de preîncălzire, respectiv răcire după sudare mai mici (20°C/oră), pentru piesele mai complicate și anume, pentru cele de la locomotiva electrică și pentru blocurile de motoare cu combustie internă și compresoare și piesele din fontă cu grafit lamelar sudate cu materiale de adăos din fontă cu grafit nodular.

Controlul vitezelor de preîncălzire respectiv de răcire după sudare s-a făcut cu termocuple de contact sau cu termocuple înregistratoare.

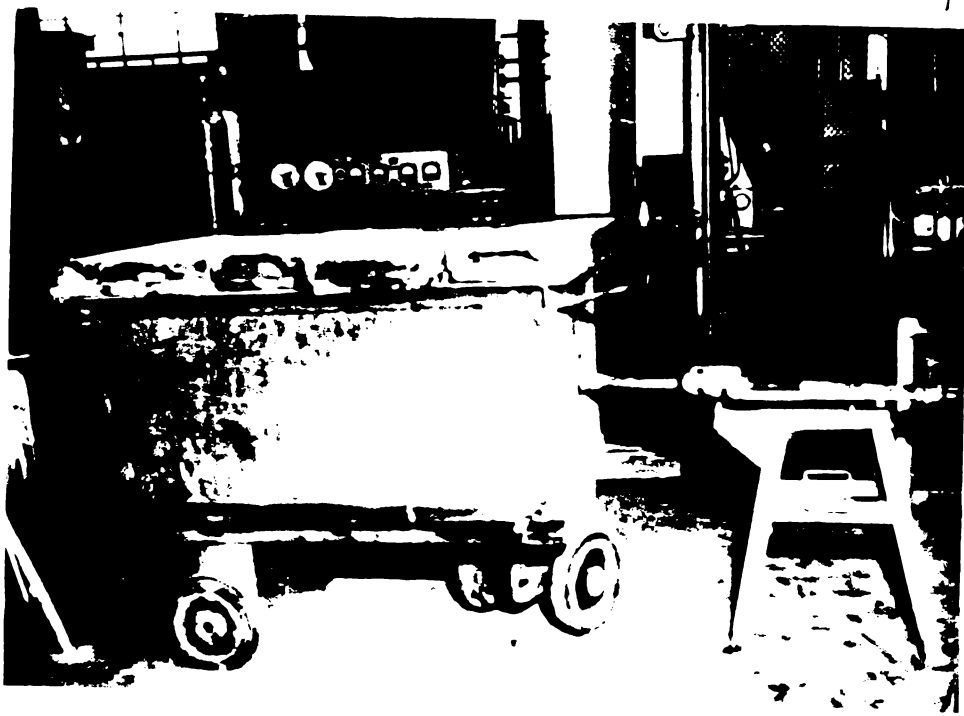


Fig.5.21. Cuptor mobil pentru sudarea pieselor mici



Fig.5.22

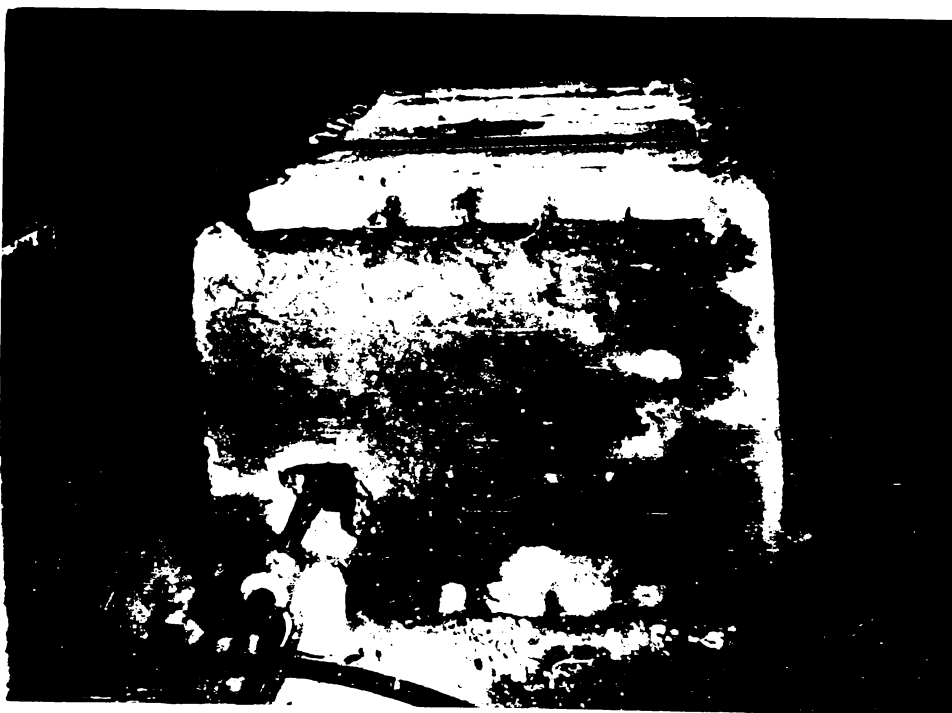


Fig.5.23

Cuptoare fixe construite după gabaritul
pieselor de sudat

5.3.3. Execuția operațiilor de remaniere prin sudare

Remanierea prin sudare la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular cu defecte de turnare, s-a făcut prin următoarele procedee de sudare: sudarea cu flacără oxiacetilenică cu vergele din fontă cu grafit nodular, sudarea manuală cu arc electric cu electrozi din fontă cu grafit nodular și prin procedeul de sudare semiautomată cu sîrmă tubulară cu autoprotecție, elaborată de ICSITPSC în colaborare cu ISIM Timișoara.

5.3.3.1. Sudarea cu flacără oxiacetilenică

Operația de sudare constă din topirea succesivă a vergelei de adaos și amestecarea intimă a metalului topit provenit din vergea și materialul de bază, în prezența fluxului dezoxidant.

Flacăra oxiacetilenică și capătul vergelei de material de adaos, trebuie astfel conduse încît aceasta să se topească în baia de metal topit, avînd grije ca, conul luminos al flacării oxiacetilenice să fie situat la cel puțin 10 mm de baia de metal topit așa cum se vede în fig.5.25.

La sudarea fontei cu grafit nodular este nevoie de astfel de precauție, întrucît conul luminos al flacării oxiacetilenice are temperatura foarte ridicată (3050°C), temperatură care poate conduce la arderea magneziului sau a altor elemente modificatoare

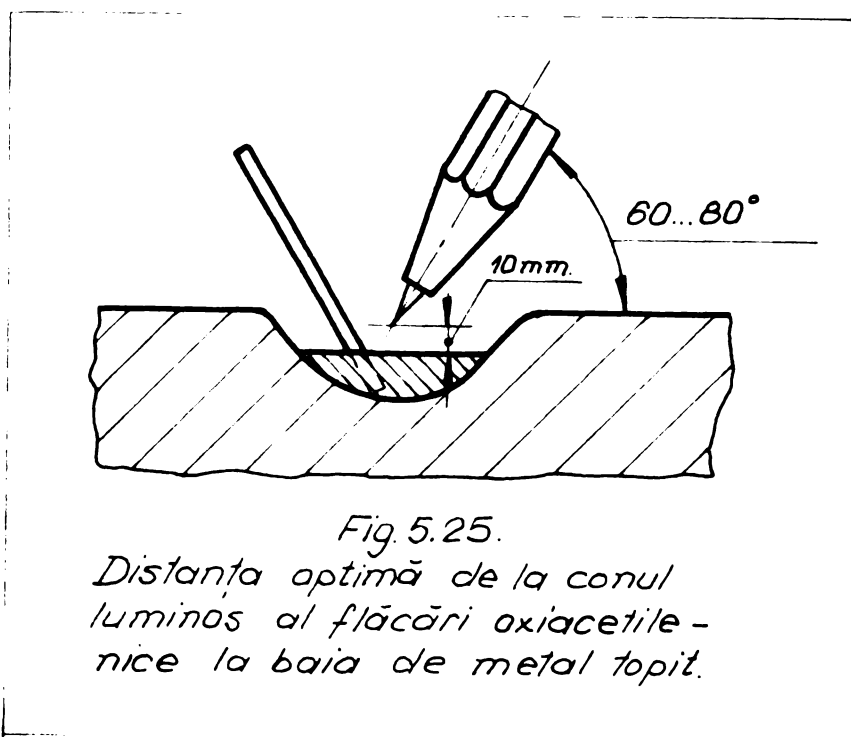
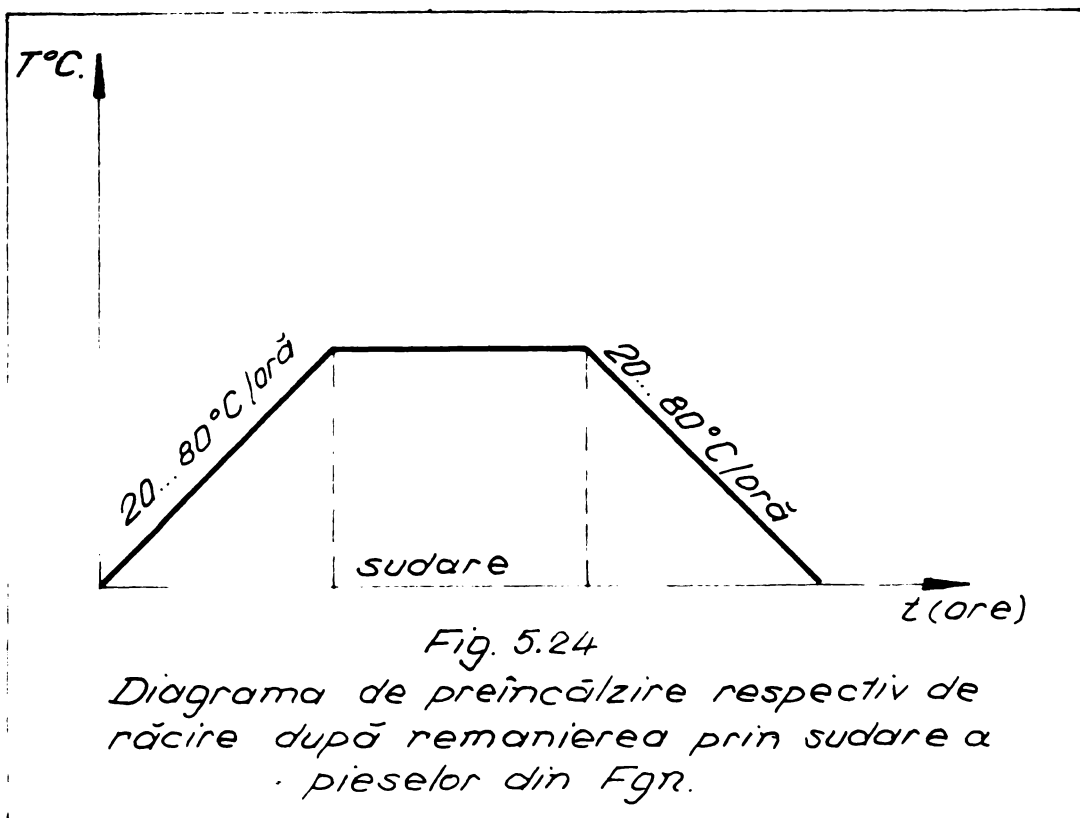


Fig. 7

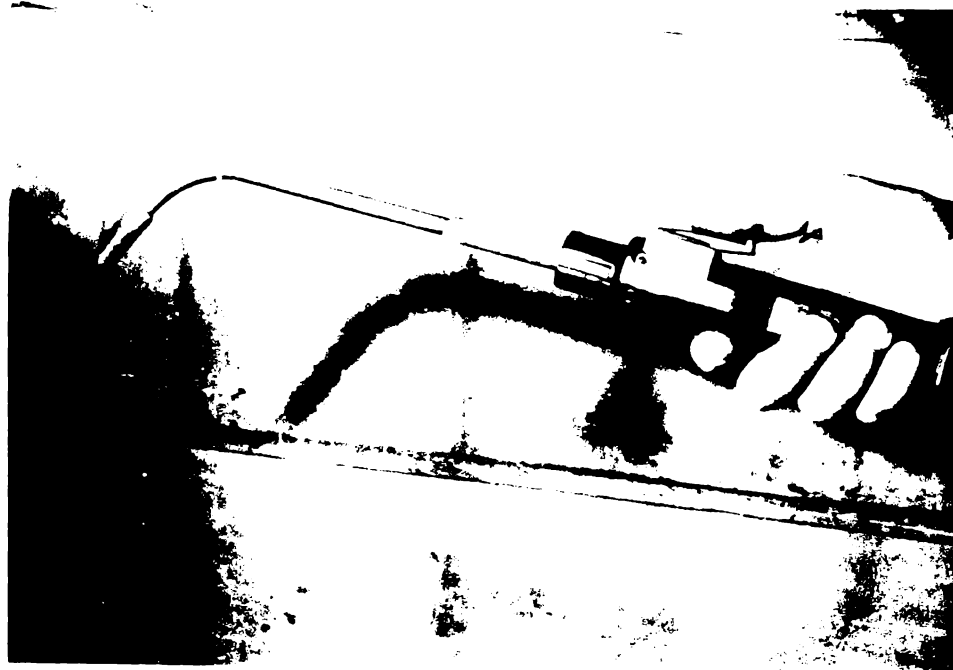


Fig. 5.26.
 Pistolet modificat.

Din aceleași considerente, baia de metal topit nu trebuie să depășească adâncimea de 3 ... 10 mm și temperaturi mai ridicate de 1500°C, temperaturi la care magneziul poate să ardă și prin aceasta să conducă la pierderea efectului de nodulizare al grafitului și la obținerea în îmbinarea sudată a unor separări de grafit degenerat. Toate acestea se resfrîng asupra caracteristicilor fizico-*mecanice* mult inferioare fontelor cu grafit nodular. Pentru aceasta, vergeaua din fontă nodulară trebuie să se mențină mereu în baia de metal topit, chiar împinsă pe fundul acesteia, în scopul răcirii ei pe de o parte, iar pe de altă parte, în scopul obținerii unei compoziții chimice cât mai omogene a băii de metal topit.

Flacăra oxiacetilenică trebuie să aibe un caracter neutru sau ușor carburant.

5.3.3.2. Sudarea cu arc electric

În cadrul remanierilor prin sudare la cald s-au folosit și electrozi din fontă cu grafit nodular, înveliți prin imersio-nare, precum și electrozii tubulari în cadrul procedurii de sudare semiautomată.

Electrozii cu inimă din fontă cu grafit nodular, nu se prea folosesc pe scară industrială datorită aoperațiilor greoaie de presare a pasteii de electrod.

Ca și în cazul sudării cu flăcără oxiacetilenică, s-a căutat evitarea creerii unei băi de metal topit adânci și supra-încălzite, în scopul înlăturării fenomenului de ardere a elementelor de nodulizare a grafitului, umplerea restului executându-s în straturi multiple. Pentru aceasta curentul de sudare, atît în cazul sudării manuale cît și semiautomate cu electrozi tubulari, s-a redus la minimum posibil, atît cît a fost necesar menținerii unui arc electric stabil.

În locașul defectului, electrodul trebuie să descrie mișcări de pendulare stînga-dreapta sau circulare, atacînd ușor materialul de bază, în așa fel încît pătrunderea să fie minimă.

În cazul în care lungimea cordoanelor, pentru remaniera pieselor turnate este mare și rostul compartimentat fig.5.20,

sudarea s-a făcut în pas de pelerin.

Înainte de sudare electrozii înveliți au fost uscați într-un cuptor electric timp de 2 ore, la temperatura de 200°C.

5.3.4. Analiza îmbinărilor sudate la cald

Pentru verificarea justetei aplicării temperaturii de preîncălzire a fontelor cu grafit nodular de 550°C, care așa nu s-a arătat, asigură în materialul depus și în zona de influență termică un conținut de cementită de pînă la 3%, s-a trecut la remanierea prin sudare a unui lot de piese din fontă cu grafit nodular din producția industrială a ICSITPSC București, a întreprinderii de autocamioane Brașov și a întreprinderii Electroputere Craiova.

5.3.4.1. Piese turnate din fontă cu grafit nodular pentru servodirecții și hidromotoare lente

Aceste piese se toarnă în cadrul producției industriale a ICSITPSC pentru întreprinderea Steaua Roșie București.

Cele mai frecvente defecte de turnare au fost retasurile descrise și zone poroase.

Procedeul de sudare folosit frecvent la remanierea acestor defecte de turnare este de obicei sudarea cu flacără oxiacetilenică.

Analizele chimice ale materialului de bază, al materialului de adaos (vergele) și al materialului depus prin sudare sînt date în tabelul 5.3.

După cum se vede în tabelul 5.3, analiza chimică a metalului depus prin sudare nu diferă cu mult de analiza chimică a materialului depus prin sudare.

În fig.5.27 este dată macrostructura unui defect de turnare (retasură deschisă), într-un element din corpul unui hidromotor și duritatea HV30 în cele trei zone caracteristice MDB, ZIT și MD.

Din macrostructură, se poate vedea că umplerea cavității defectului s-a făcut în 4 straturi cu grosimea de pînă la 5 mm, în scopul menținerii efectului de nodulizare al grafitului.

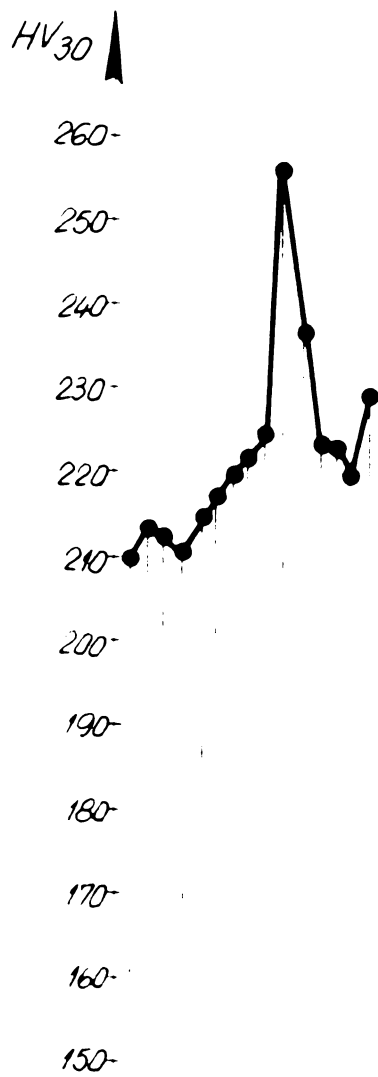
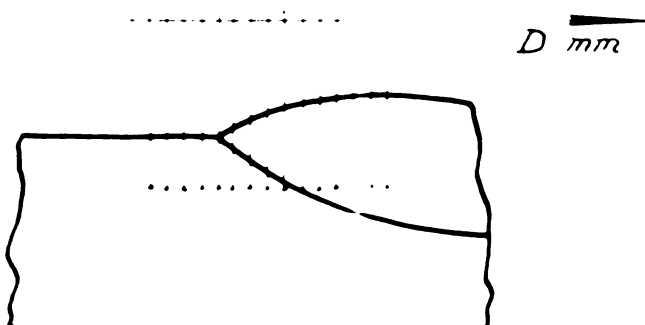


Fig. 5.27.

Macrostructura și variația durezzații HV₃₀ în MDB, ZIT și MD la un defect remanent prin sudare la cald într-un corp de hidromotor lent din fontă cu grafit nedular.



Analiza chimică a pieselor turnate din f.g.n.
pentru servomotoare lente și servodirecții

Tabelul 5.3

Denumirea	Analiza chimică în procente						
	C	Si	Mn	S	P	Mg	Ni
Material de bază	3,150	3,170	0,430	0,090	0,090	0,055	—
Vergele	3,500	2,59	0,200	0,011	0,020	0,080	4,35
Material depus	3,23	2,70	0,350	0,011	0,060	0,055	4,250
—————	3,20	2,66	0,350	0,011	0,055	0,055	4,250
—————	3,23	2,64	0,340	0,011	0,054	0,055	4,250
Media	3,22	2,66	0,347	0,011	0,056	0,055	4,250

Variația durtății HV_3 în MDB, ZIT și MD este aproape uniformă plecând de la 210 ... 215 HV_{30} în MDB, cu un vîrf de duritate de 255 HV_{30} în ZIT și continuînd cu durtăți, care variază între 220 ... 225 HV_{30} în materialul depus prin sudare.

După cum se poate vedea în fig.5.28 a microstructura materialului de bază este perlito-feritică cu nodule de grafit cu dimensiuni cuprinse între 40 ... 60 μm . Materialul depus prin sudare cu flacără și vergea cu 4,5% Ni este caracterizată printr-o densitate mai mare de nodule de grafit de dimensiuni mai mici 25...30 μm încastrate într-o masă metalică, de asemenea perlito-feritică, dar și cu un conținut de cementită (pînă la 3%). Microstructura zonei de trecere fig.5.28 c, de la materialul de bază la materialul depus prin sudură, se face fără defecte și cu trecere lentă, de la nodule de grafit de dimensiuni mai mari în materialul de bază, la dimensiuni mai mici în materialul depus prin sudare. În procentul prevăzut, se face prezentă și cementita în special pe linia de topire a îmbinării sudate.

Duritatea și structura masei metalice în cele trei zone caracteristice imprimă îmbinării sudate o ușoară prelucrabilitate pe mașinile unelte.

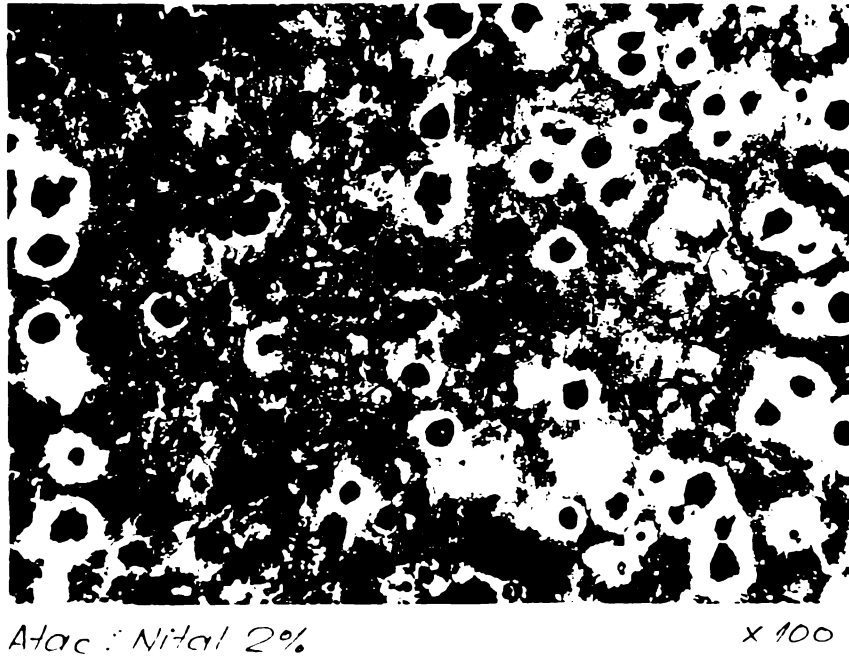
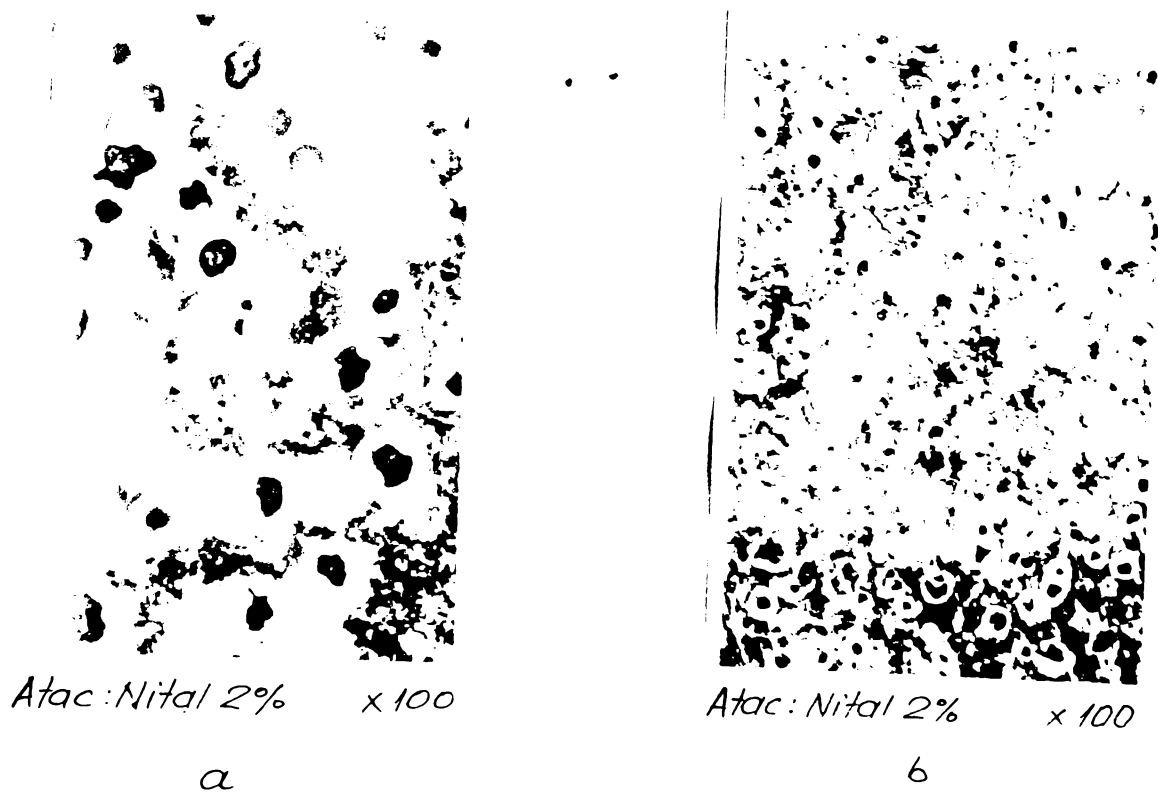


Fig.5.28. Microstructura materialului de bază a, a materialului depus prin sudură b și a zonelor caracteristice, la o îmbinare sudată cu flacără oxiacetilenică cu vergea cu 5% Ni la un corp de hidromotor lent

5.3.4.2. Piese din fontă cu grafit nodular din producția curentă a Intreprinderii de autocamioane Brașov

Piesele din fontă cu grafit nodular cu defecte de turnare din producția curentă a Intreprinderii de autocamioane Brașov, pentru care s-au elaborat tehnologii complete de reamniere prin sudare la cald și la rece, a cuprins aproape întreaga gamă de fonte cu grafit nodular nealiate (Fgn 370 - 17 ... Fgn 700-2 STAS 6071-75

Remanierea prin sudare la cald a fost executată atât prin procedeul de sudare cu flacără oxiacetilenică cu electrozi înveliți, cât și prin procedeul de sudare semiautomată cu arc electric cu sîrmă tubulară elaborată de ICSITPSC în colaborare cu ISIM Timișoara

În tabelul 5.4, tabelul 5.5 și tabelul 5.6 sînt date analizele chimice ale materialelor de bază, ale materialelor de aport, precum și ale materialului depus prin sudare la cald.

Din cele trei tabele se constată că cea mai mare pierdere de elemente de aliere din îmbinarea sudată se produce la sudarea electrică *manuală* cu electrozi înveliți prin imersionare cu inimă din fontă cu grafit nodular, unde în special carbonul, siliciul și magneziul ard în cantități mai mari decît în cazul metalului depus prin sudare cu flacără oxiacetilenică sau cu electrozi tubulari.

În fig.5.29 sînt date macrostructura îmbinării sudate (a), microstructura materialului depus prin sudare cu flacără oxiacetilenică cu vergele din fontă cu grafit nodular cu 5% Ni (b), microstructura celor trei zone caracteristice MDB, ZIT și MD (c) și variația durtății HV30 în cele trei zone (d), din piesa carcasă posterioară de la autocamioanele MAN Diesel.

După cum se vede în macrostructura din fig.5.29 a, zona defectului a fost încărcată din 4 straturi, de 4 ... 5 mm grosime, în scopul evitării arderii magneziului. În metalul depus prin sudare fig.5.29 (b) nodurile de grafit cu mărimea cuprinsă între 20 ... 30 μ m, sînt bine conturate.

Structura masei metalice este perlito-feritică cu sub 3% cementită. Trecerea de la materialul de bază cu nodule de grafit de 50 ... 60 μ m, la materialul depus prin sudare, se face printr-un briu mai mare de ferită cu puțină cementită, fapt pentru care durtatea în ZIT și pe linia de topire este mai mică, fig.5.29 (c)

Analiza chimică a pieselor de la I.A. Braşov, a vergelelor și a materialului depus prin sudare la cald cu flacără oxiacetilenică

Tabelul 5.4

Denumirea	Analiza chimică în procente						
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Mg
Material de bază	3,20	3,00	0,55	0,014	0,080	—	0,068
Vergele	3,50	3,20	—	0,011	0,020	4,35	0,070
Material depus	3,22	3,05	0,35	0,011	0,040	4,25	0,055
————— " —————	3,25	2,90	0,35	0,011	0,045	4,35	0,055
————— " —————	3,22	2,85	0,25	0,011	0,056	4,25	0,055
Media	3,23	2,93	0,31	0,011	0,048	4,28	0,055

Analiza chimică a pieselor de la I.A. Braşov, a electrozilor cu inimă din f.g.n. și a materialului depus prin sudare la cald cu arc electric

Tabelul 5.5

Denumirea	Analiza chimică în procente						
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Mg
Material de bază	3,20	3,00	0,55	0,014	0,080	—	0,068
Electrozi	3,50	3,20	—	0,011	0,020	4,35	0,070
Material depus	3,10	2,90	0,25	0,010	0,060	4,25	0,042
————— " —————	3,00	2,92	0,25	0,012	0,060	4,20	0,040
————— " —————	3,08	2,95	0,25	0,012	0,060	4,24	0,045
Media	3,08	2,92	0,25	0,011	0,060	4,23	0,042

Analiza chimică a pieselor de la I.A. Braşov, a electrozilor tubulari și a materialului depus prin sudare la cald

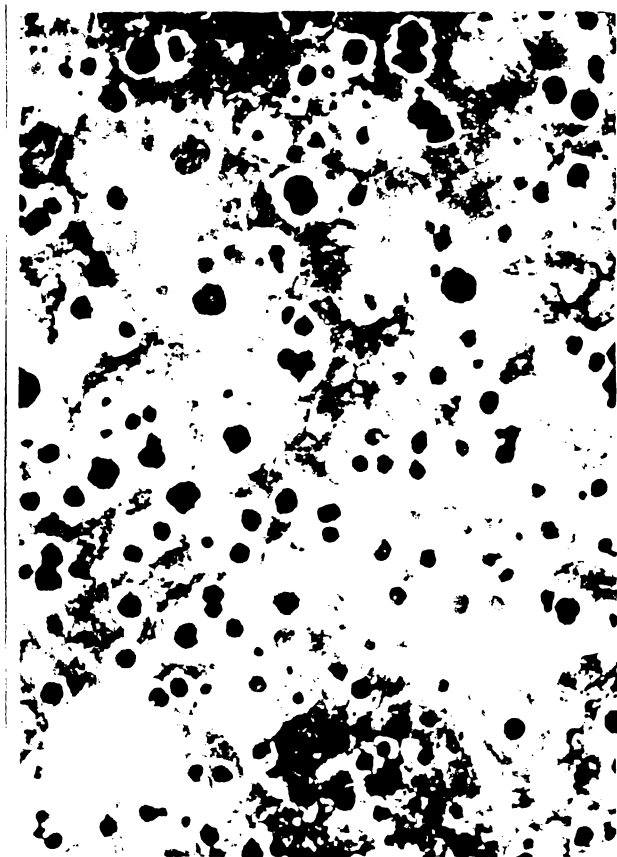
Tabelul 5.6

Denumirea	Analiza chimică în procente							
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Mg	Ce
Material de bază	3,20	3,00	0,55	0,014	0,080	—	0,068	—
Electrod tubular (metal depus)	3,25	3,95	urme	0,0095	0,053	urme	0,054	0,008
Material depus în sudură	3,23	3,80	0,30	0,010	0,60	—	0,044	—
————— " —————	3,25	3,60	0,35	0,010	0,60	—	0,050	—
————— " —————	3,21	3,40	0,35	0,010	0,60	—	0,048	—
Media	3,23	3,60	0,33	0,010	0,60	—	0,47	—



1:1

a

Atac nital 2% x 100
b

Atac nital 2% x 100

c

M.D.B

ZIT

M.D.

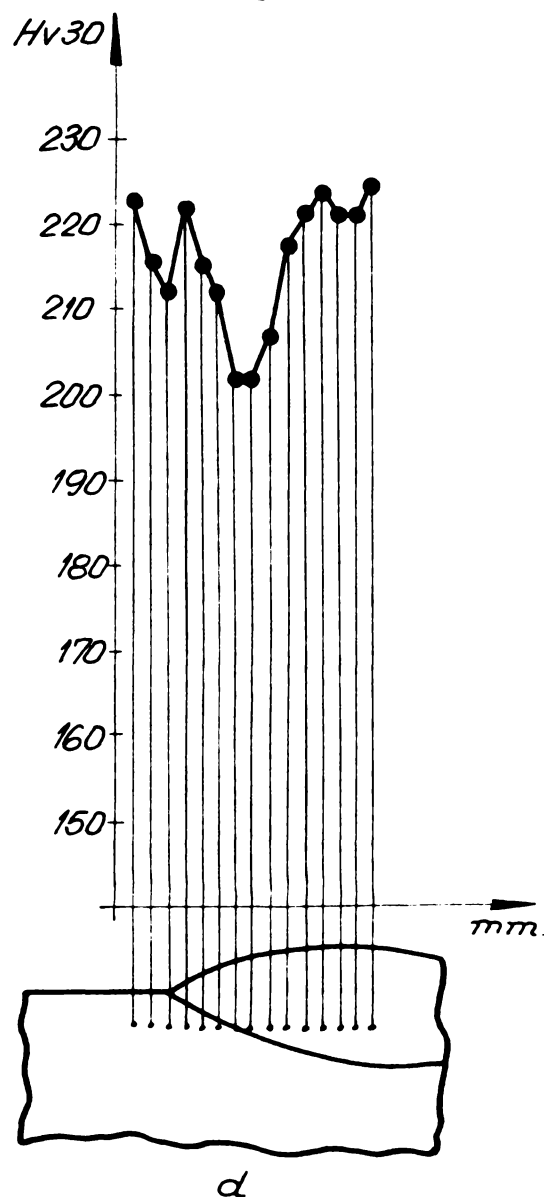


Fig. 5.29.

Macrostructura (a) și microstructura unei îmbinări sudate cu flacără oxiacetilenică și vergea cu 5% Ni (c) precum și M.D. în stare brută după sudare (b) și variația durității Hv30 în M.D.B, ZIT și M.D. (d).

a) macrostructura îmbinării sudate.

b) microstructura materialului depus prin sudare.

c) microstructura zonei de influență termică.

d) variația durității Hv30 în M.D.B, ZIT și M.D.

și (d) și anume de 200 ... 203 HV₃₀, față de materialul de bază de 220 ... 225 HV₃₀ și de 230 ... 235 HV₃₀ în materialul depus prin sudare, durități care permit o ușoară prelucrare pe mașinile unelte.

În fig.5.30 este dată macrostructura și variația durității HV₃₀ a unui defect străpuns din piesa "Flanșe interioară de la camionul MAN Diesel, executată la cald cu electrozi de \varnothing 6 mm cu inimă din fontă nodulară și înveliți prin imersionare la ICSITPSC. După cum se vede, îmbinarea sudată este compactă și fără defecte interioare.

Duritatea HV₃₀ de-a lungul celor trei zone caracteristice, variază de la 240 ... 245 HV₃₀ în materialul de bază, la 268 HV₃₀ în zona de influență termică pe linia de topire, și la 252...258 HV₃₀ în materialul depus prin sudare.

Aceste durități sînt specifice structurii masei metalice de bază din zona de influență termică și materialul depus prin sudare; unde cantitatea de cementită este ceva mai mare, și anume de pînă la 5%, așa nu se vede în fig.5.31 (b) și (c).

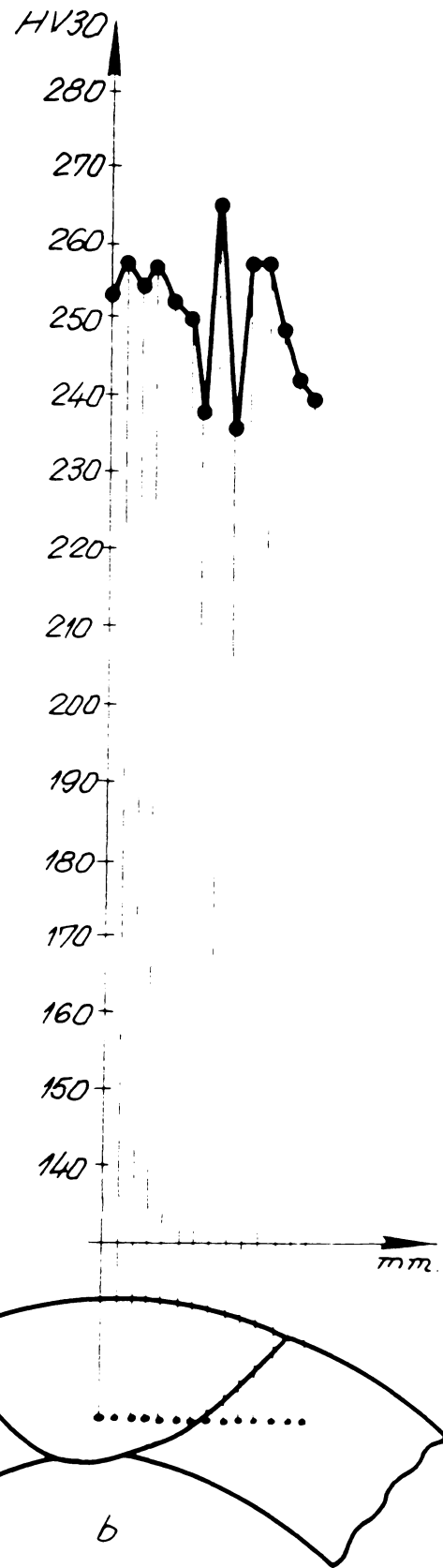
Probabil, datorită temperaturii băii de metal topit, ceva mai ridicate decît în cazul sudării cu flacără și a conținutului insuficient de magneziu (0,080% Mg) din vergelele de f.g.n. învelite prin imersionare cu pastă, numărul nodulelor de grafit degenerate din materialul depus prin sudare este ceva mai mare fig.5.31 (b) și 5.31 (c).

Duritățile de maximum 268 HV₃₀ din zona de influență termică sînt ușor de prelucrat pe mașini unelte, fapt pentru care, sudarea electrică cu electrozi cu inimă din f.g.n. este posibilă, în condițiile în care întreprinderea poate să-și fabrice electrozii

În fig.5.32 și fig.5.33 sînt date macrostructura și variația durității HV₃₀, precum și microstructura materialului de bază a metalului depus prin sudare la cald cu electrod tubular realizat de către ICSITPSC în colaborare cu ISIM Timișoara (brevet de invenție nr.69.162 din 28.09.1976).



a



b

Fig. 530

Macrostructura și variația durității HV30 în zonele caracteristice a unui defect strâncuns în piesa 2 ansă interioară 11, remaniat prin sudare la cald cu electrozi cu inimă din țigă de 6mm elaborații în cadrul ICSiTPSC



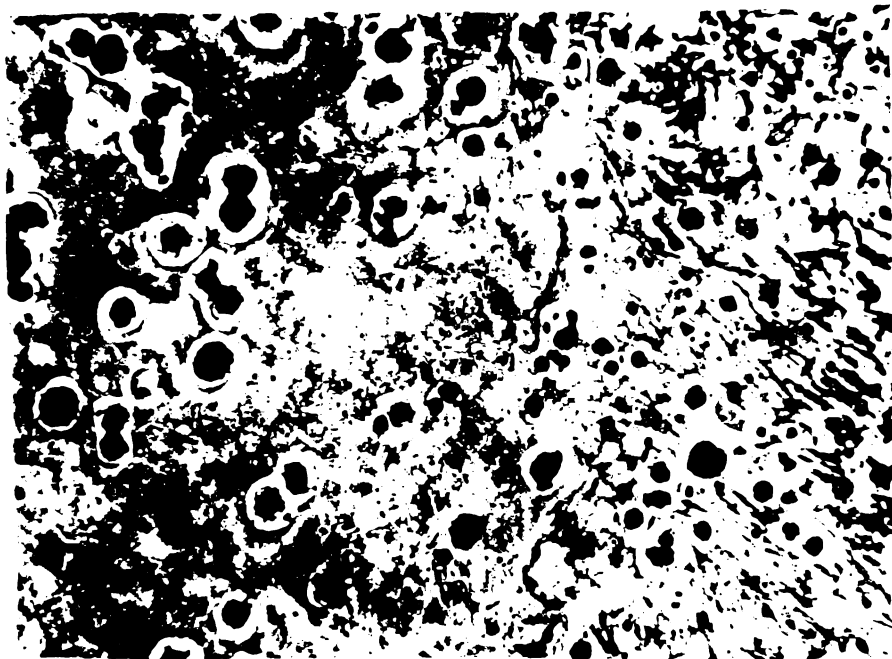
Atac: Nital 2% x100

a



Atac: Nital 2% x100

b



Atac: Nital 2%

x100

c

Fig.5.31. Microstructura materialului de bază(a) a materialului depus prin sudare (b) și a MDB, ZIT și MD a defectului străpuns din piesa "Flanșă interioară 11", remaniat prin sudare la cald cu electrozi înveliți cu inimă din f.g.n.

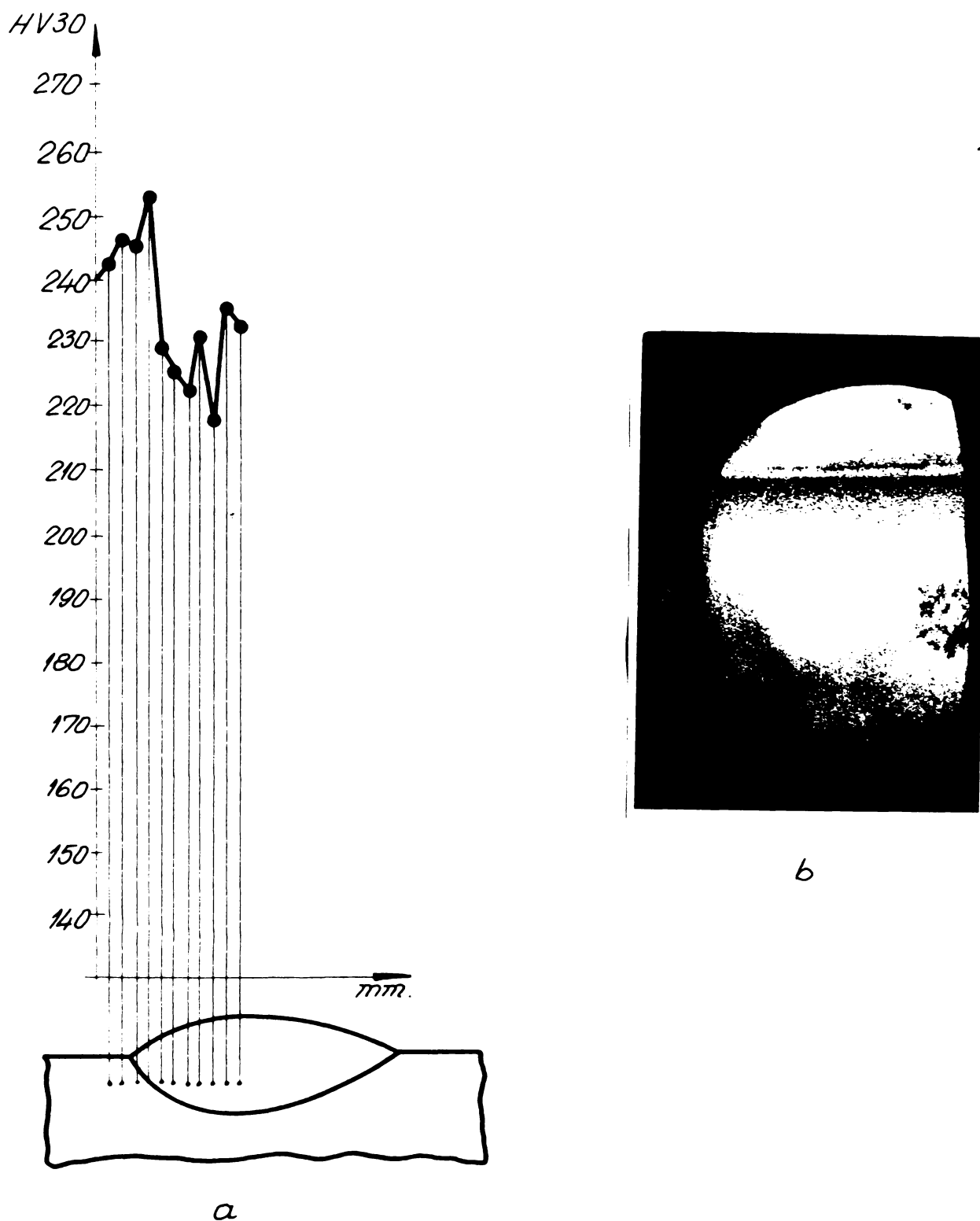


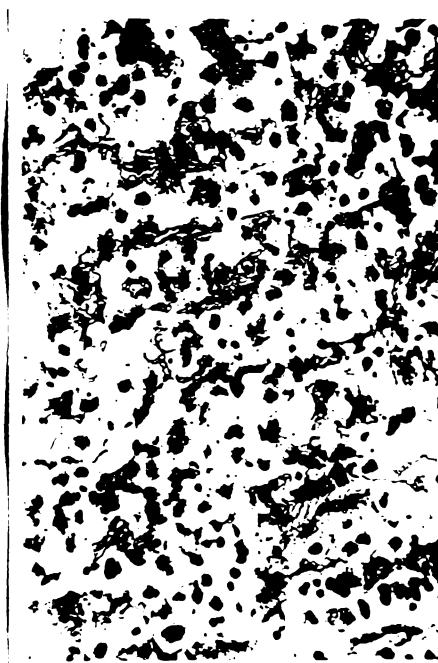
Fig 5.32

Variația durității HV30 și macrostructura unui defect de turnare la piesa „carcasă stînga” realizat prin suflare la cald cu electrod tubular elaborat de ICSITPSC în colaborare cu ISIM-Timișoara.



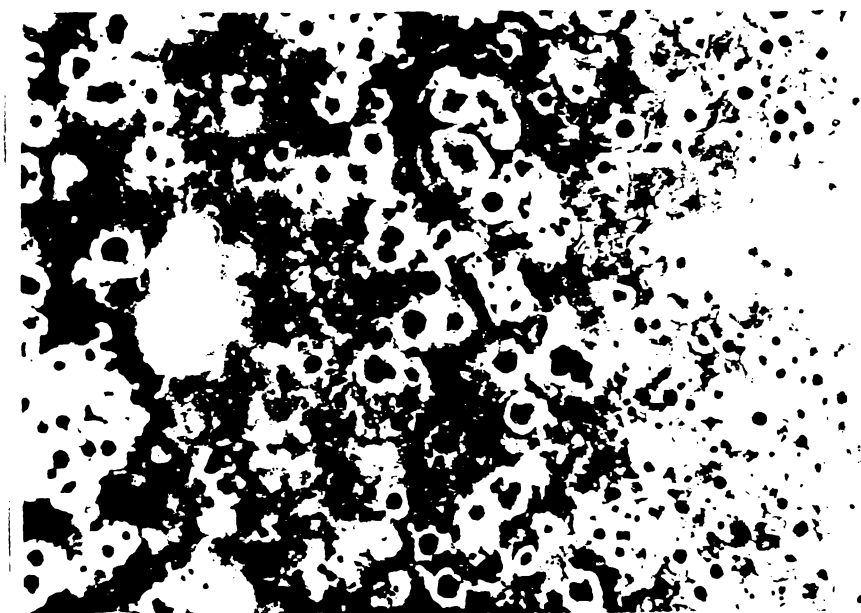
Atac: Nital 2% x 100

a



Atac: Nital 2% x 100

b



Atac: Nital 2%

x 100

c

Fig.5.33. Microstructura materialului de bază (a) a materialului depus prin sudare (b) și a zonei de influență (c) la un defect de turnare la piesa "Carcasă stînga" remaniat prin sudare la cald cu arc electric și electrod tubular realizat în cadrul ICSITPSC în colaborare cu ISIM Timișoara

După cum se vede în cele două figuri, duritatea în materialul depus prin sudare este ceva mai scăzută 220 ... 230 HV₃₀, decît în materialul de bază 240 ... 255 HV₃₀, datorită conținutului de siliciu mai ridicat în electrodul tubular (4,80% Si), decît în materialul de bază (3,00% Si). Macrostructura remanierii defectului delimitează net materialul de bază de materialul depus prin sudare.

Materialul depus prin sudare (fig.5.22(b)) are o masă metalică în care ferita este constituentul de bază, cu insule de cementită plasate la granița zonelor de fontă. În zona de influență termică fig.5.33 (c) cementita este prezentă pe linia de topire, care separă materialul depus de materialul de bază.

După cum se vede, nodulii de grafit, de dimensiuni mai mici 20 ... 25 μ m sînt bine conturați și mult mai bine repartizați în masa metalică de bază.

Pentru verificarea modului de comportare al metalului depus prin sudare la cald cu flacără oxiacetilenică și vergelele din fontă cu grafit nodular cu 5% Ni, cu arc electric cu electrozi de sudură cu inimă din fontă nodulară și cu electrozi tubulari piesele s-au supus tratamentelor termice de feritizare și normalizare, la I.A.Brașov.

Tratamentul termic de feritizare a constat dintr-o menținere de 2 ore la temperatura de 950°C, 4 ore la temperatura de 720°C, pînă la temperatura de 650°C, răcire cu o viteză de 1°C/minut, după care, răcire la aer calm.

Tratamentul termic de normalizare a constat dintr-o încălzire la 930°C, cu menținere de 3 ore la această temperatură, după care răcire la aer calm.

Microstructurile materialelor de bază, a zonelor de influență termică și a materialului depus cu cele trei materiale de adaos, vergele, electrozi și electrozi tubulari, precum și a variației durității HV₃₀ în aceste zone, după tratamentul termic de feritizare sînt date în fig.5.34, fig.5,35 și fig.5.36.

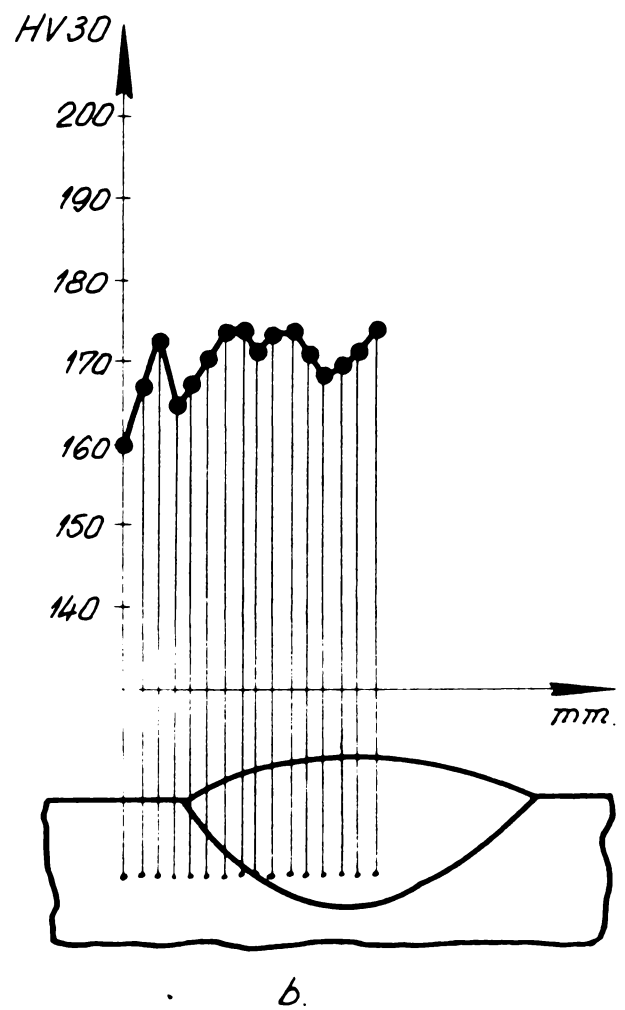
După cum se vede în cele trei microfotografii separările de grafit sub formă nodulară sînt plasate într-o masă metalică



Atac Nital 2%

x 100

a.



b.

Fig. 5.34.

Microstructura unei îmbinări sudate la cald cu flacără oxiacetilenică cu vergele cu 5% Ni după tratamentul termic de recoacere pentru feritizare (a), și variația durezzații Hv 30 în materialul de bază, zona de influență și metalul depus prin sudare (b).

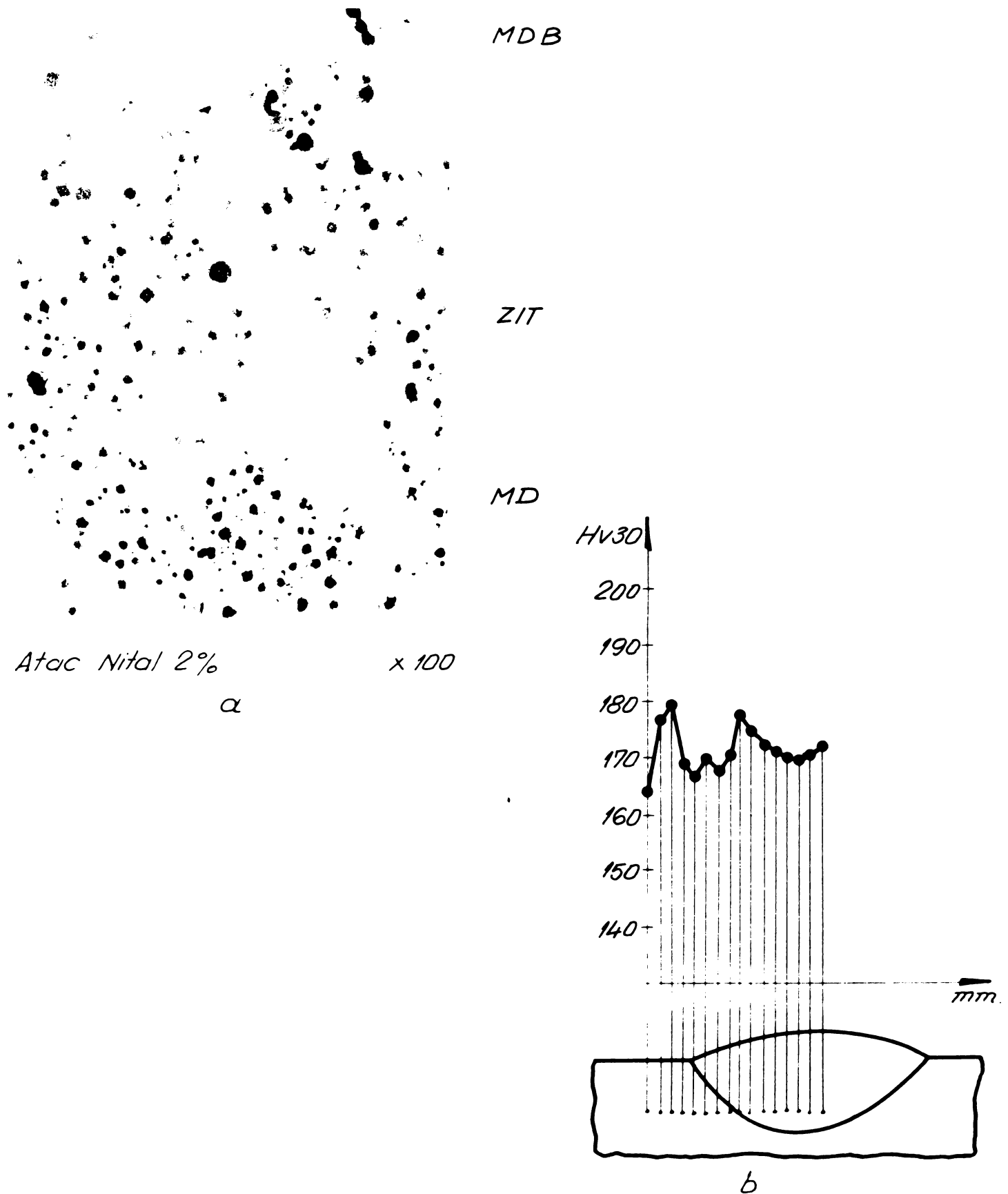


Fig 5.35.

Microstructura unei îmbinări sudate la cald cu electrozi cu inimă din f.g.n. înveliți prin imersionare după tratamentul termic de recoacere pentru feritizare (a) și variația durtății Hv 30 dealungul materialului de bază, a zonei de influență termică și a metalului depus prin sudare (b)

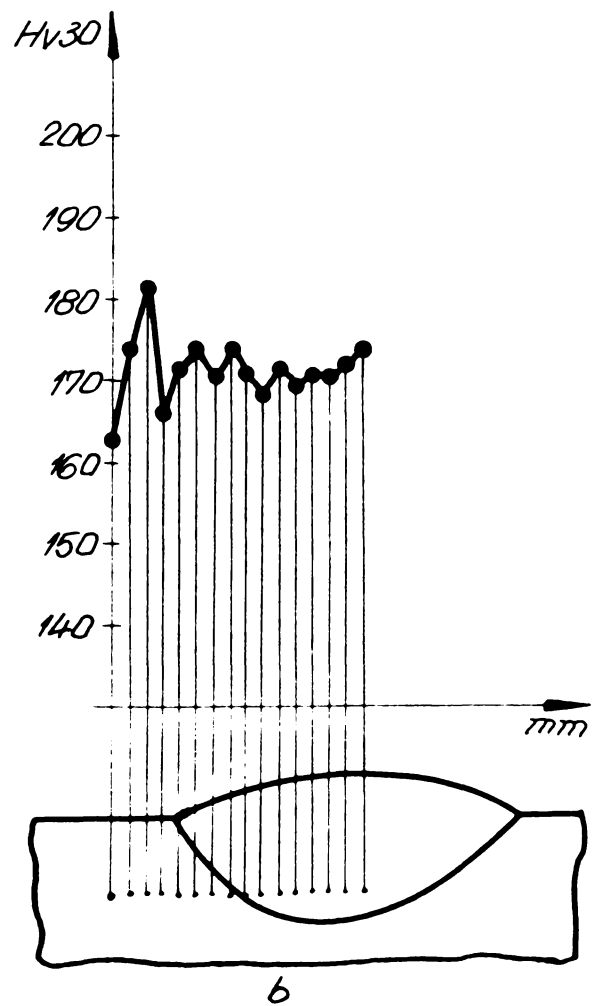
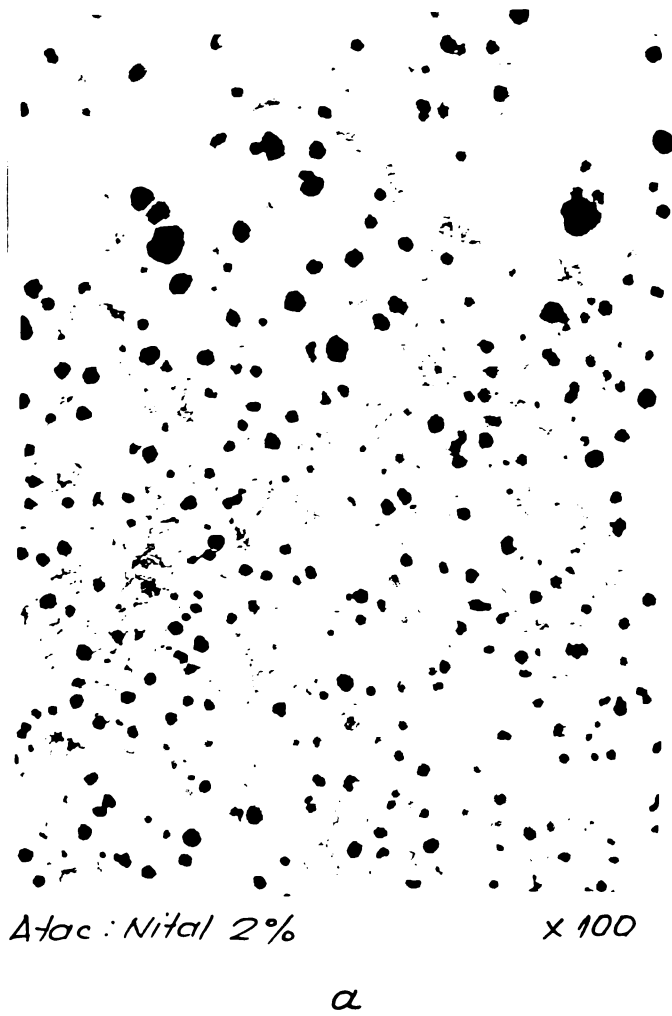


Fig. 5.36

Microstructura unei îmbinări sudate la cald cu electrozi tubulari cu autoprotecție, după tratamentul termic de recoacere pentru feritizare (a) și variația durității Hv30 de-a lungul materialului de bază a zonei de influență termică și a metalului depus prin sudare (b)

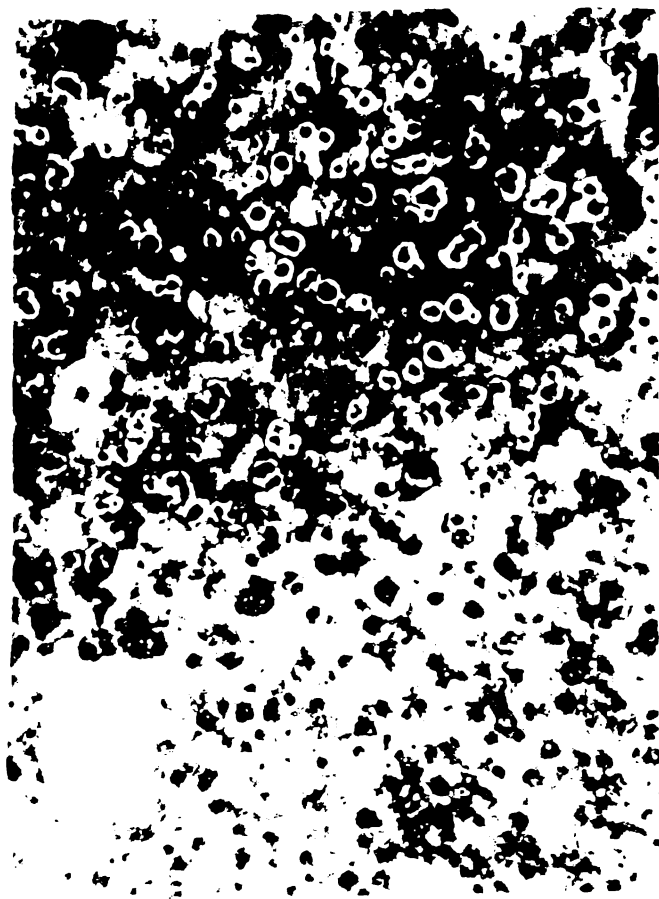
în totalitate feritică în toate zonele. În metalul depus, nodulii de grafit sînt de dimensiuni mai mici 20 ... 25 μ m, decît în materialul de bază 40 ... 60 μ m. Briul de cementită plasat în general în zona de influență termică de-a lungul liniei de topire s-a dizolvat în întregime. Se observă de asemenea grăunți fini de ferită și cementită globulizată precum și puțină cementită terțiară plasată în special la limitele grăunților de ferită.

Variația durtății HV₃₀ de-a lungul celor trei zone caracteristice este aproape nesemnificativă: 160 ... 175 HV₃₀ în materialul de bază, față de 170 ... 175 HV₃₀ în zona de influență termică și metalul depus prin sudare.

În fig.5.37 și fig.5.38 sînt date microstructurile materialului de bază, a zonei de influență termică și a materialului depus prin sudare cu flacără și vergele cu 5% Ni (fig.5.37) și cu electrozi tubulari (fig.5.38), precum și variația durtății HV₃₀ în aceste zone după tratamentul termic de normalizare. După cum se vede în cele două microstructuri, materialul de bază este constituit din separări de grafit sub formă nodulară înconjurată de ferită și perlită fină. Materialul depus prin sudare are un caracter mai pronunțat de perlitizare decît materialul de bază. Aici masa metalică de bază este perlitică cu puțină martensită aciculară care însă nu influențează prea mult variația durtății HV₃₀ 240 ... 260 HV₃₀ în materialul de bază față de 240 ... 292 HV₃₀, în materialul depus prin sudare fig.5.37(b) și 5.38 (b).

Se menționează că în cadrul lucrărilor de remaniere prin sudare la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular s-au folosit și materiale de proveniență străină, cum sînt electrozii sintetici pentru sudarea manuală cu arc.Castalin 2.26 și electrozii tubulari Castalin NodulTec AN 4226.

Rezultatele acestor încercări au fost asemănătoare materialelor de adaos elaborate de ICSITPSC, atît din punctul de vedere al structurilor masei metalice de bază pe îmbinări în stare brută după sudare, cît și după diferitele tratamente termice executate în vederea stabilirii structurii masei metalice de bază.



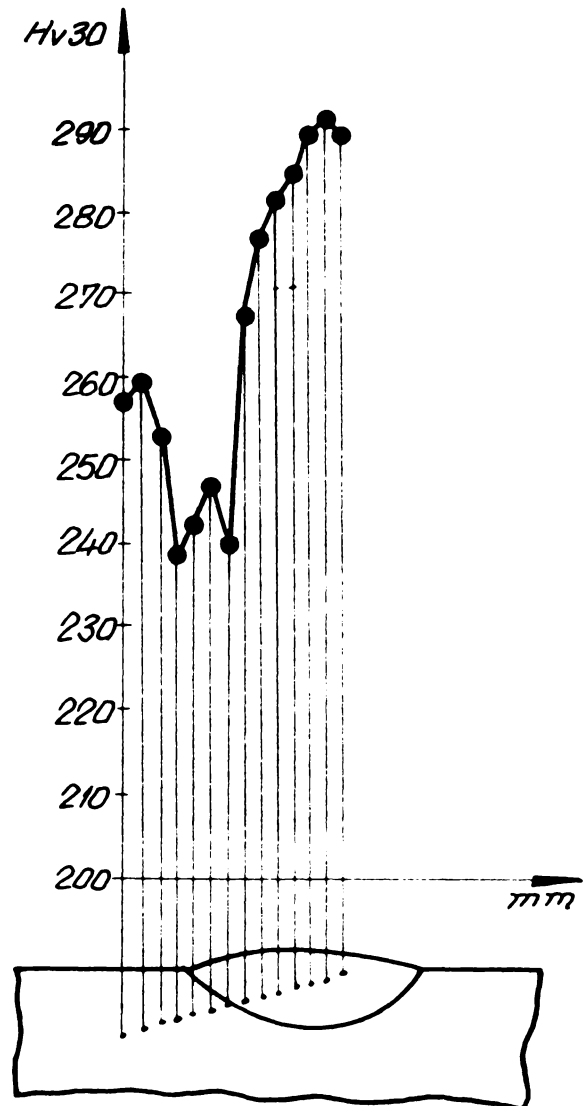
Atac Nital 2% 50:1

a

MDB

ZIT

MD



b

Fig 5.37.

Microstructura materialului de bază a zonei de influență termică și a materialului depus prin sudare cu flacără oxiacetilenică și vergele din f.g.n. cu 5% Ni (a) și a variației durității Hv 30 în aceeași zonă (b) după tratamentul termic de normalizare.

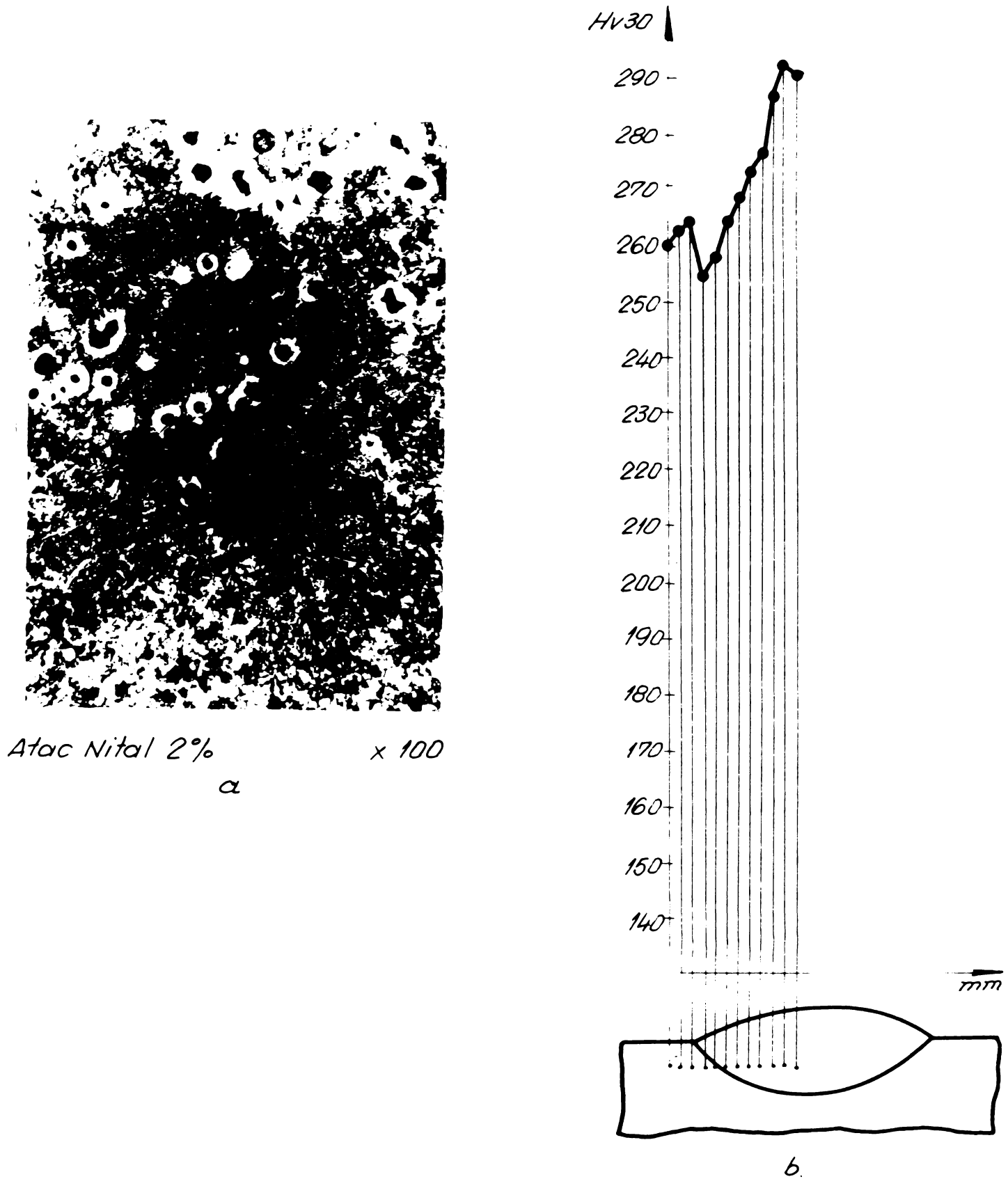


Fig. 5.38.

Microstructura materialului de bază a zonei de influență termică și a materialului depus prin sudare la cald cu electrozi tubulari (a) și variația durității Hv30 în aceleasi zone (b) după tratamentul termic de normalizare.

In fig.5.39 sînt date, cu titlul informativ, microstructura unei îmbinări sudate la cald cu arc electric cu electrozi tubulari de ϕ 2,8 mm de tip Castalin Nodul Tec AN 4226, în aceleași condiții de preîncălzire (550°C), atît în stare brută după sudare (a), cît și după tratamentul termic de recoacere pentru feritizare (b).

Din gama fontelor cu grafit nodular cu caracteristici fizico-mecanice ridicate (Fgn 500 - 7, Fgn 600-2 și Fgn 700-2 STAS 6071-25) încercările noastre de remaniere prin sudare la cald a defectelor de turnare, s-au îndreptat asupra arborilor cotiți pentru motoarele MAN Diesel și pentru autoturismul Dacia 1300, precum și a diversilor arbori cotiți pentru compresoarele cu care sînt dotate autocamioanele.

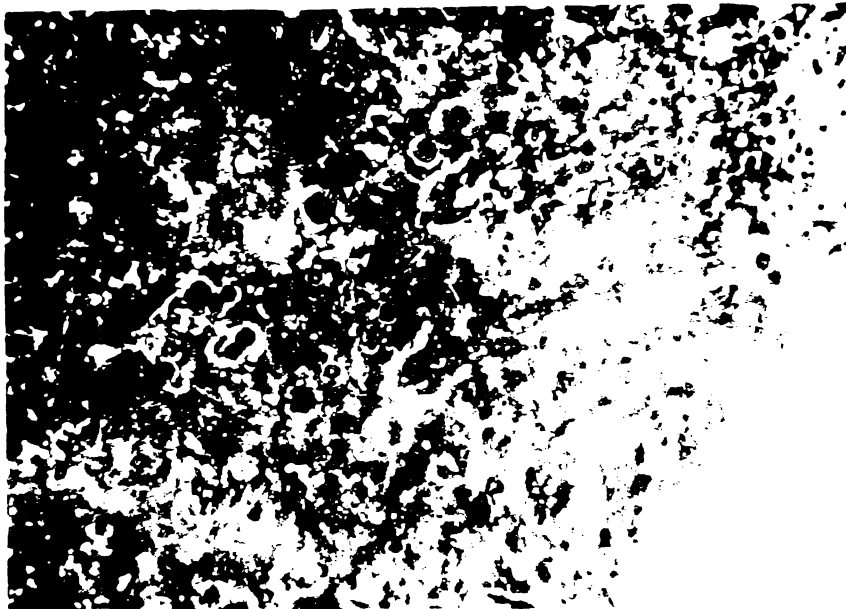
Dintre aceste mărci de fontă cu grafit nodular unele re-pere cum sînt arborii cotiți pentru motoarele autocamioanelor MAN Diesel nu necesită după turnare nici un tratament termic pentru stabilirea structurii masei metalice de bază, ei încadrîndu-se din starea brută după turnare în limitele caracteristicilor fizico-mecanice și structurii masei metalice de bază, în categoria mărcii de fontă cu grafit nodular 450-5.

Cele mai frecvente defecte de turnare la aceste piese sînt plasate pe contragreutăți, și acestea se referă la neumpleri de formă, pori și incluziuni de amestec de formare.

In fig.5.40 este dată microstructura materialului de bază, a zonei de influență termică și a materialului depus prin sudare la cald cu flacără oxiacetilenică și vergele cu 5% Ni (a), precum și variația durtății HV30 în aceste zone (b).

După cum se vede în figura de mai sus structura materialului de bază este perlitică. In zona de influență termică și în materialul depus prin sudare apare ferita care se plasează în jurul nodulelor de grafit și puțină cementită, fapt care conduce la vîrfuri de duritate care ating valori de pînă la 290 HV30.

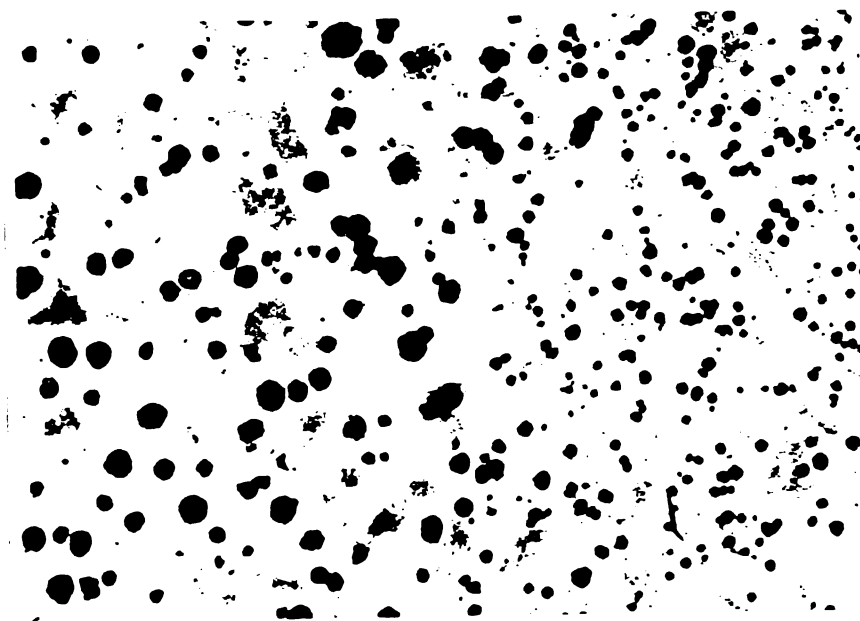
Tinînd seama de faptul că contragreutățile arborelui cotit nu sînt supuse la solicitări mecanice, remanierea prin sudare la cald a acestor piese cu defecte de turnare în această zonă se pot face fără nici-o problemă.



Atac: Nital 2%

x 100

a

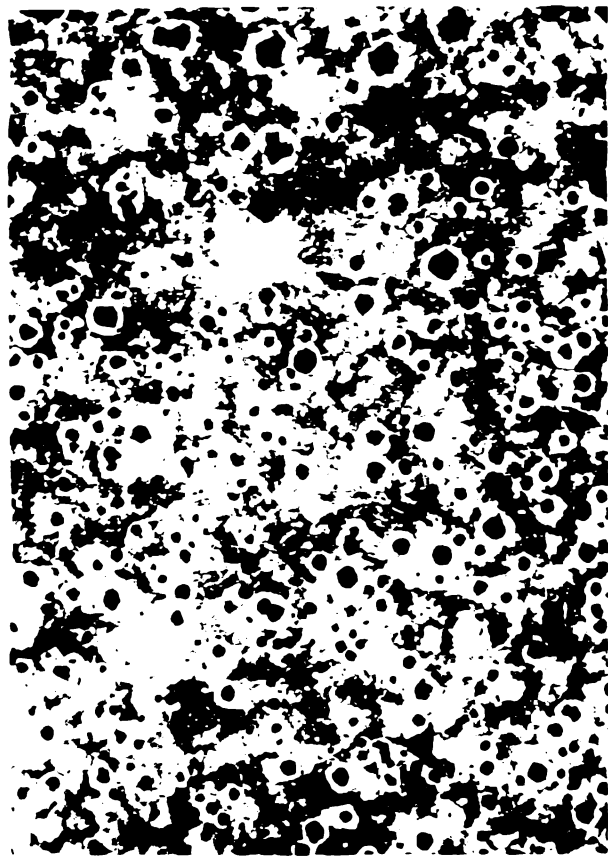


Atac: Nital 2%

x 100

b

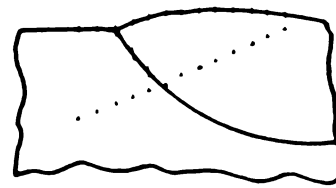
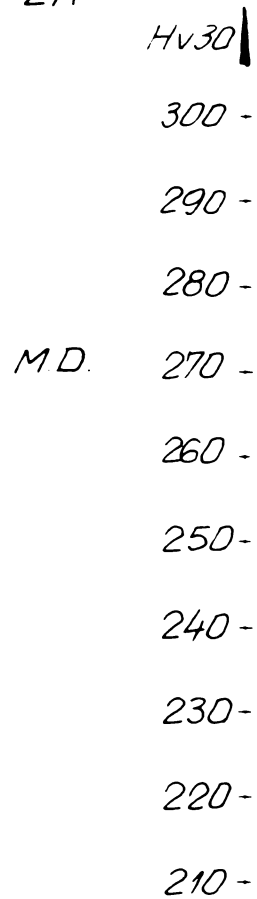
Fig.5.39. Microstructura celor trei zone caracteristice la o sudură executată la cald cu electrozii tubulari Castalin Nodul Tec AN 4226
a) în stare brută după sudare
b) după tratamentul termic pentru feritizare



Atac nital 2% x 100
α

M.D.B

ZIT



b

mm.

Fig. 5.40

Microstructura îmbinării sudate la cald cu flacără oxiacetilenică și vergele cu 5% Ni a unei contra-greutăți de la arborele cotit al unui motor MAN-Diesel în stare brută după sudare (a) și variația durității Hv30 în cele trei zone caracteristice (b)

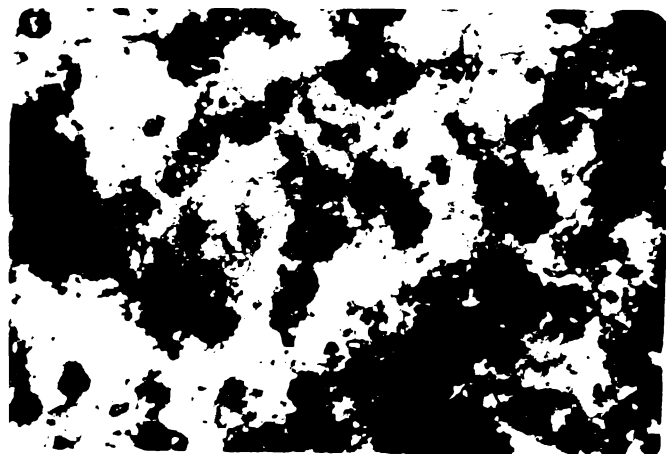
Datorită însă prezenței cementitei în zona de influență termică și în materialul depus prin sudare chiar și în cantități mici (chiar dacă se sudează la temperaturi de preîncălzire mai ridicate 650 ... 700°C), astfel de lucrări de remaniere prin sudare la cald, nu pot fi aplicate la arborii cotiți care au defecte de turnare pe manetoane.

Această afirmație este pusă în evidență în mod pregnant la sudarea unor defecte de turnare pe manetonul arborelui cotit pentru compresoarele care asigură aerul comprimat pentru autocamioane, și care sînt confecționate din marca Fgn 600-2.

În fig.5.41, fig.5.42 și fig.5.43 sînt date cercetările noastre asupra microstructurii și variației durezzații HV30 în materialul de bază, zona de influență termică și în materialul depus prin sudare la cald cu flacără oxiacetilenică și vergele cu 5%Ni, atît în stare brută după sudare, cît și după tratamentul termic de călire CIF. Astfel în fig.5.41 (a), se vede că materialul de bază are masa metalică complet perlitică în stare brută după turnare, respectiv după remanierea prin sudare la cald. Materialul depus prin sudare, pe lîngă perlită are și puțină ferită, plasată în jurul nodulelor de grafit, precum și cementită în limitele de pînă la 3%. Prezența cementitei în materialul depus a dus de altfel și la obținerea unui vîrf de duritate de 290 HV30 în metalul depus prin sudare fig.5.40 (b).

În vederea obținerii caracteristicilor fizico-mecanice, arborele remaniat prin sudare la cald, a fost supus prelucrărilor mecanice și tratamentului termic de călire prin CIF, urmată de revenire. În fig.5.42 sînt date macro și microstructurile miezului arborelui neafectat de căldură și a zonei călitate prin CIF și revenită după călire, iar în fig.5.42, variația durezzații HV30 prin secțiunea remaniată prin sudare.

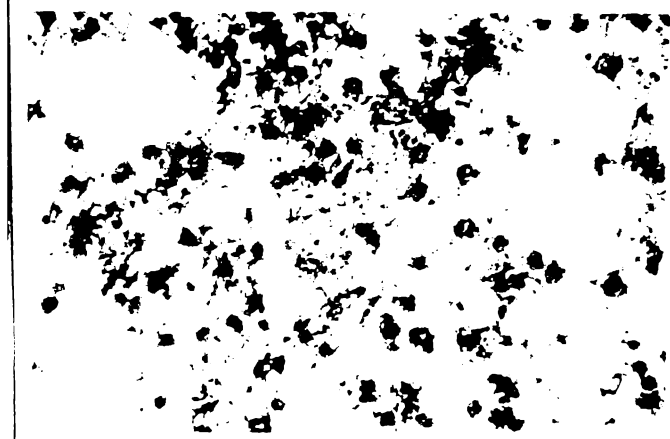
Adîncimea stratului călit este de aproximativ de 3,5 mm. După cum se vede în fig.5.42 (a) acest strat se deosebește net de miezul neafectat de căldură, care așa cum se vede în fig.5.42 (b) are structura constituită din nodule de grafit bine conturate, înconjurate de ferită și perlită globulizată, asociată cu



Atac: Nital 2%

100:1

a



Atac: Nital 2%

100:1

b

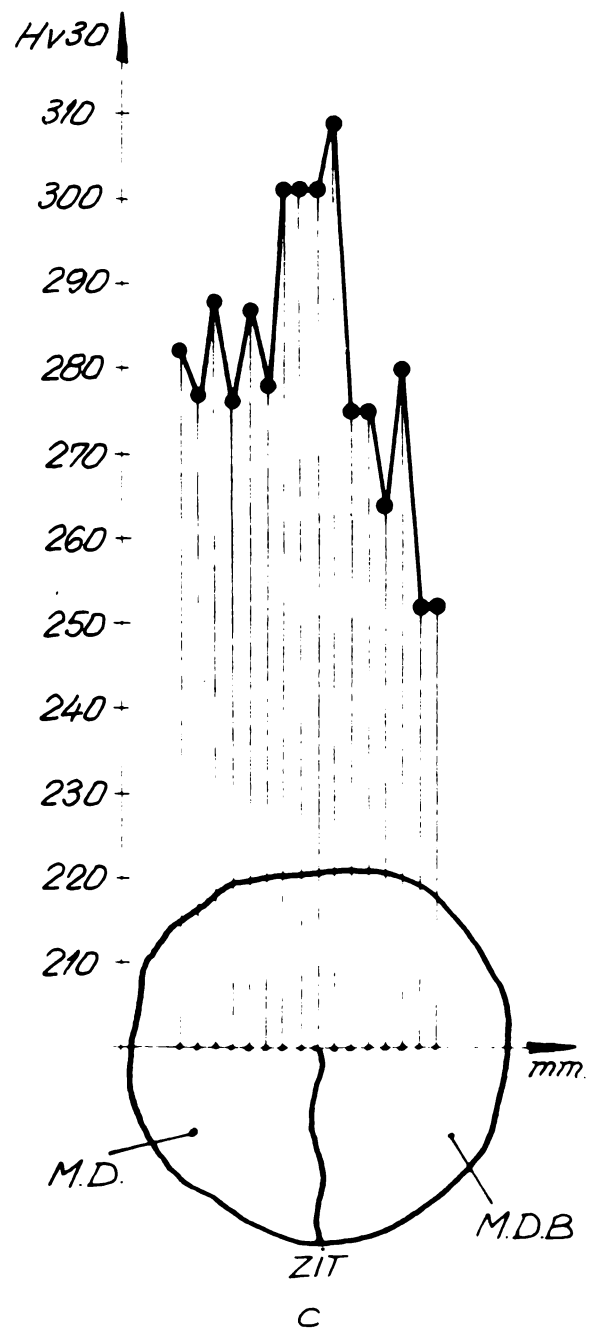


Fig. 5.41.

Microstructura materialului de bază (a) metalului depus prin sudare la cald cu flacără (b) și variația durtății Hv_{30} a unui arbore cotit pentru compresorul de la autocamionul Bucegi în stare brută după sudare.

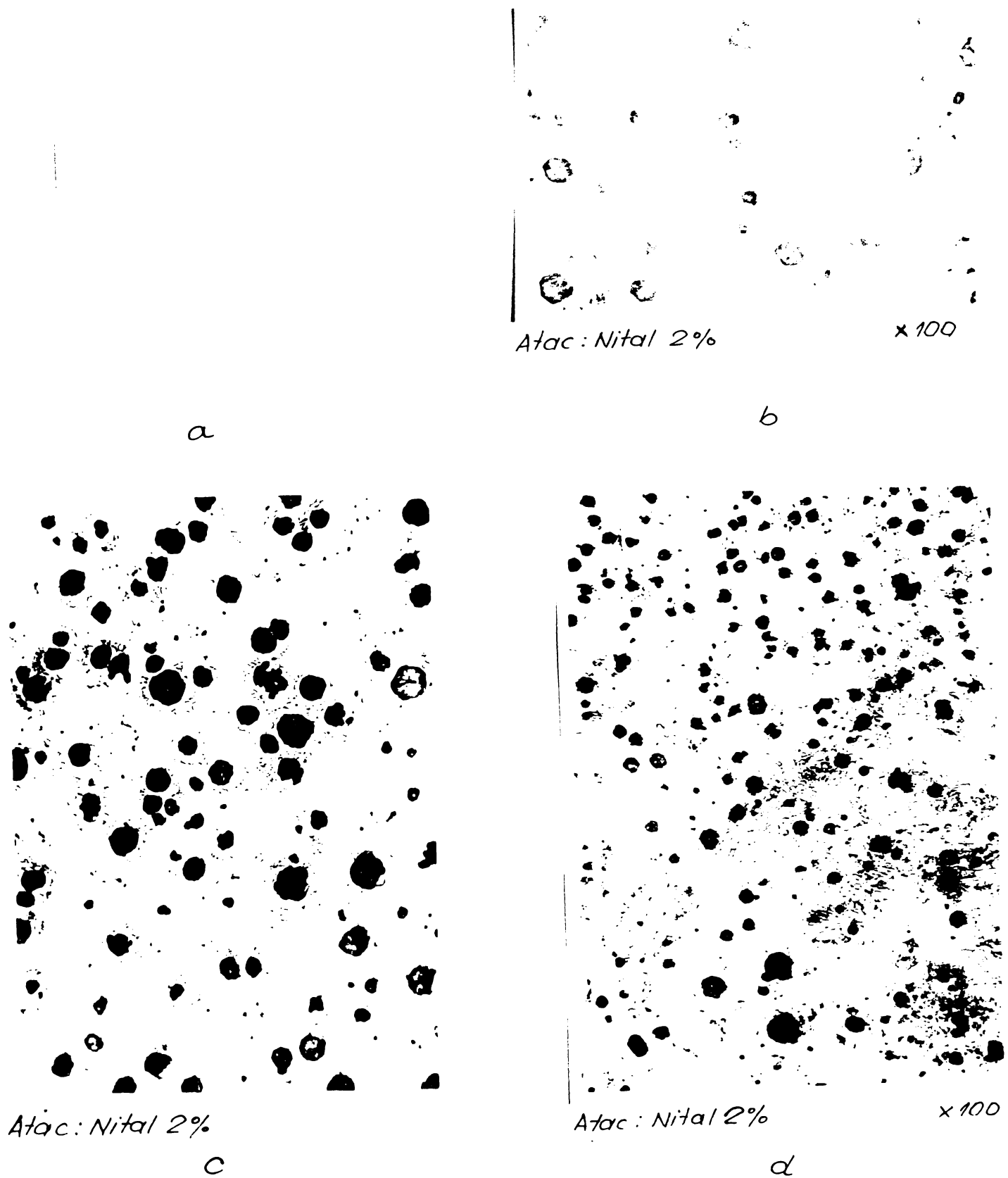


Fig.5.42. Macrostructura unei secțiuni prin arborele cotit pentru compresoare (a) și microstructurile miezului neafectat (b), a zonei călită din materialul de bază (c) și a materialului depus prin sudare la cald (c) și călită CIF și revenită (d)

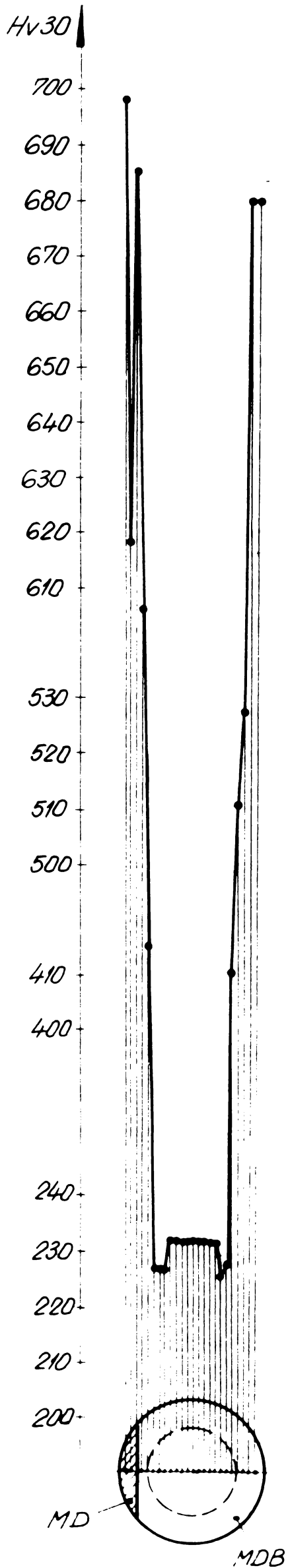


Fig. 5.43.

Variația durtății Hv30 prin secțiunea remaniată prin sudare a arborelui compresor din figura 4.24. Vîrful de durtate de aproape 700 Hv30 se află în zona remaniată prin sudare unde este semnalată prezența cemen-titei în cantități mari.

mm.

trostită și martensită. Această structură dovedește faptul că miezul arborelui a fost încălzit peste temperatura de transformare austenitică și la răcirea rapidă datorită călirii s-a obținut în această zonă și structuri de călire. În fig.5.42(c) este dată structura masei metalice din materialul de bază după tratamentul termic de călire, care este constituită din martensită foarte fină și separări mărunte de ferită, grupate în special în imediata apropiere a nodulelor de grafit. Se constată de asemenea rare separări de cementită. În fig.5.42 este dată microstructura materialului depus prin sudare, unde tratamentul de călire-revenire a condus la obținerea unei mase metalice de bază, în care martensita fină și în special cementita ocupă o suprafață de peste 10%. Nodulele de grafit sînt de dimensiuni de 20 ... 25 μ m, față de cele din materialul de bază care sînt cuprinse între 35 ... 50 μ m.

Variația durității HV30 în cele trei zone este dată în fig.5.43. În miezul arborelui duritatea variază între 225...232 HV30, față de stratul călit unde aceasta ajunge la 680 HV30 în materialul de bază și 700 HV30 în materialul depus prin sudare.

Din gama fontelor cu grafit nodular marca Fgn 700-2 cercetările noastre s-au îndreptat tot asupra unor arbori cotiți, și anume asupra arborilor cotiți pentru autoturismul Dacia 1300.

În fig.5.44, fig.5.45 și fig.5.46 sînt date rezultatele cercetărilor microstructurale și a variației durității HV30 asupra unor defecte de turnare (pori și incluziuni de zgură) remaniate prin sudare la cald cu flacără oxiacetilenică și vergele cu 5% Ni.

În fig.5.44 sînt date fotografiile unui arbore cotit cu defectele cele mai frecvente de turnare și anume pori pe contragreutăți (a) și (b) și arborele remaniat după prelevarea probelor pentru șlifurile metalografice (c).

În fig.5.45 este dată microstructura materialului de bază, a zonei de influență termică și a materialului depus prin sudare cu flacără oxiacetilenică și vergele cu 5% Ni, a unui defect provocat pe manetonul unui arbore cotit pentru auto-



a



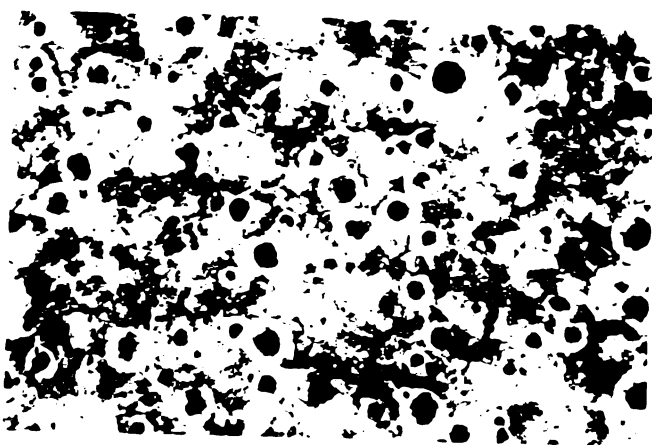
b



c

Fig.5.44. Arbore cotit din Fgn 700-2 pentru auto-turismul Dacia 1300 cu defectele de turnare caracteristic

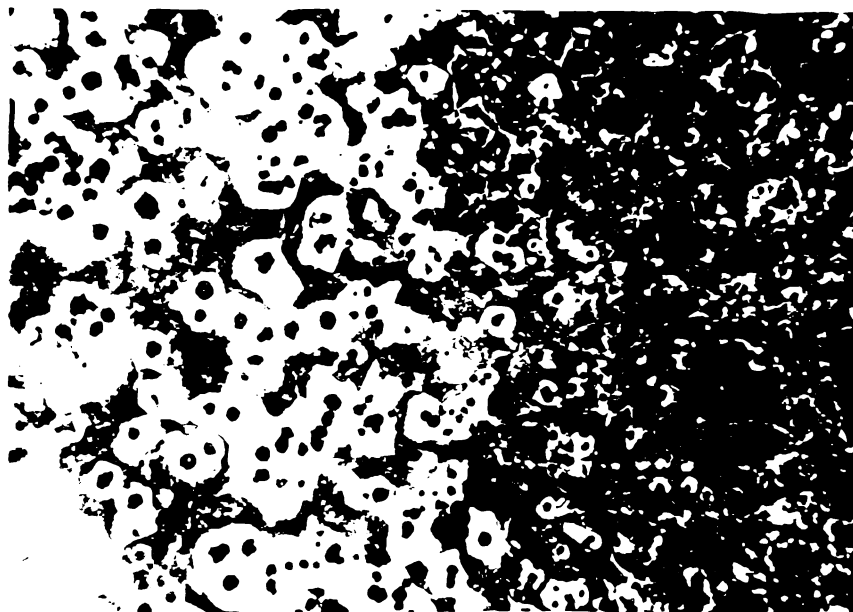
- a) arborele cu pori pe contragreutăți
- b) defectul într-o vedere mai mare
- c) arborele cotit remaniat după prelevarea probelor metalografice



Atac: Nital 2%

x100

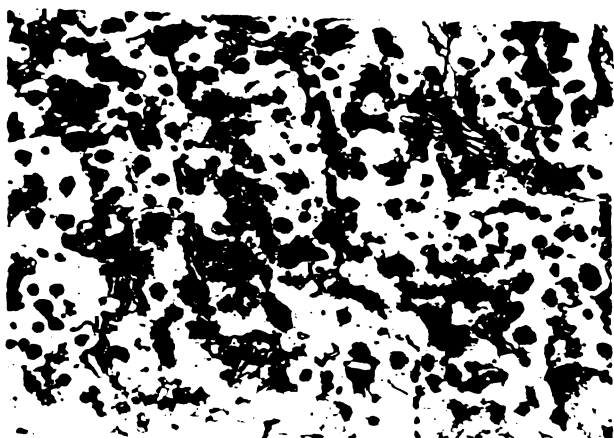
a



Atac: Nital 2%

x100

b



Atac: Nital 2%

x100

c

Fig.5.45. Microstructura materialului de bază în stare brută după turnare, a zonei de trecere b și a zonei exterioare a metalului depus prin sudare cu flacără oximetilenică și vergele cu 5% Ni a unui arbore cotit pentru autoturismul Dacia 1300 a) MIB; b) MDB, ZIT și MD; c)MD

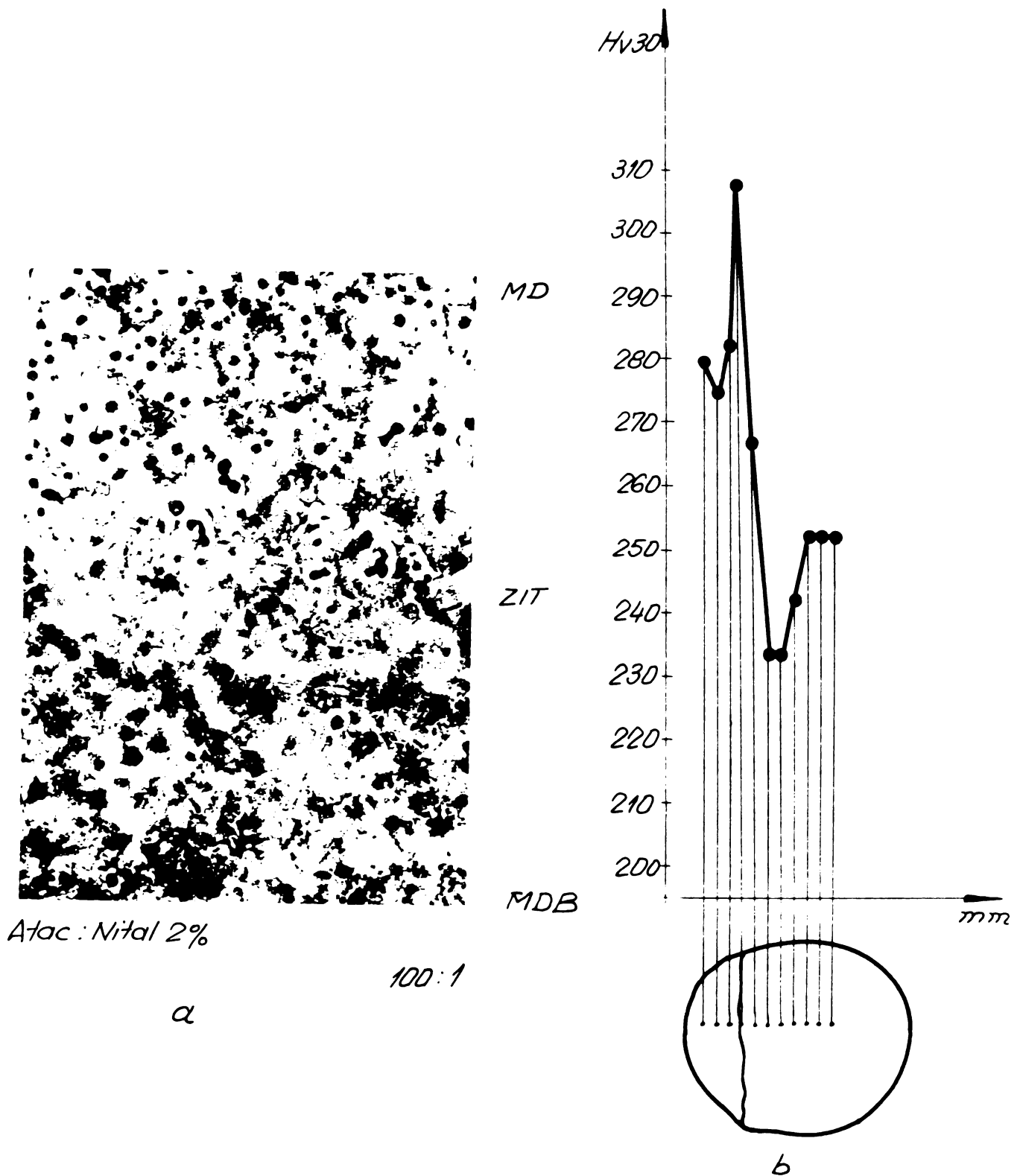


Fig. 5.46

Microstructura materialului de bază a zonei de influență termică și a materialului depus prin sudare cu flacără oxiacetilenică și variația durității Hv30 a unui arbore cotit pentru motorul autoturismului Dacia 1300 după tratamentul termic de normalizare.

turismul Dacia 1300. Masa metalică a materialului de bază în stare brută după turnare constă din perlită cu puțină ferită (a). La acești arbori cotiți, caietul de sarcini prevede ca în vederea călirii prin CIF masa metalică de bază să nu aibă un conținut de ferită mai mare de 15%. În materialul de bază această cantitate de ferită nu este depășită.

În zona de trecere de la materialul de bază la materialul depus prin sudare se caracterizează printr-o structură în care conținutul de ferită este mult mai mare decât în materialul de bază și anume depășește cu mult cele 15% ferită cît prevede caietul de sarcini fig.5.45 (b). Spre suprafața materialului depus prin sudare apare și puțină cementită fig.5.45 (c).

După tratamentul termic de normalizare (operație care se face înaintea tratamentului de călire prin CIF), structura masei metalice de bază este perlită fină cu 10 ... 15% ferită în materialul de bază fig.5.46 (a), iar în materialul depus prin sudare doar 8 ... 12% asociată cu puțină cementită. Proporția de ferită în materialul depus crește progresiv spre exteriorul îmbinării sudate.

Variația durității HV30 de-a lungul celor trei zone caracteristice după tratamentul termic de normalizare, fig.5.46 (b), scade de la 280 HV30, cu un vîrf de duritate de 380 HV30, la 235 ... 254 HV30 în materialul de bază.

După tratamentul de călire CIF și revenire după călire, în materialul depus prin sudare s-au obținut structuri și durități similare cu cele obținute în fig.5.42 (d) și fig.5.43, fapt pentru care nu se recomandă remanierea arborilor cotiți în zona manetoanelor, prin nici-unul dintre procedeele de remaniere prin sudare la cald amintite. Astfel de lucrări se admit numai la remanierea defectelor situate pe contragreutăți, care așa cum s-a arătat, nu sînt supuse la solicitări mecanice.

În momentul de față, pentru remediarea arborilor cotiți uzați la manetoane se aplică cu rezultate bune, procedeul de încărcare cu flacără oxiacetilenică și pulberi metalice, procedeu care în momentul de față aduce economii de multe

milioane de lei în cadrul întreprinderilor de reparații auto. Pentru aceste lucrări se folosesc de obicei pulberi metalice pe bază de fier, nichel și cobalt (stelite). Legătura între stratul dur depus pe suprafața manetoanelor, nu este o legătură metalurgică, care să asigure o aderență trainică între aceste materiale total diferite, dar mai bună decât cea obținută la metalizare. La trecerea pulberilor prin flacăra oxiacetilenică de mare randament, granulele de material dur se topesc parțial și la locul de impact cu suprafața materialului de bază, se produce o microsudură, fără să altereze structura îmbunătățită prin tratamentele termice ale arborilor cotiți. Legătura superioară metalizării, între materialul depus prin procedeul de încărcare cu pulberi metalice se produce prin difuzie sub acțiunea temperaturii flăcării oxiacetilenice.

Astfel de recondiționări de arbori s-au executat și în cadrul ICSITPSC folosind pulberi metalice pe bază de nichel și cobalt care au dat durități cuprinse între 50 ... 55 HRC (pulberea Matco 16 C) și 55 ... 58 HRC (pulberea Castalin 16.006) folosind instalația Metco 3 M și arzătorul 5 P din dotarea INMT București și arzătoarele Castalin - Eutaloy tip B din dotarea ICSITPSC.

Aspectul exterior al două epruvete încărcate cu cele două pulberi metalice amintite și macrostructura în secțiunile transversale și longitudinale sînt date în fig.5.47.

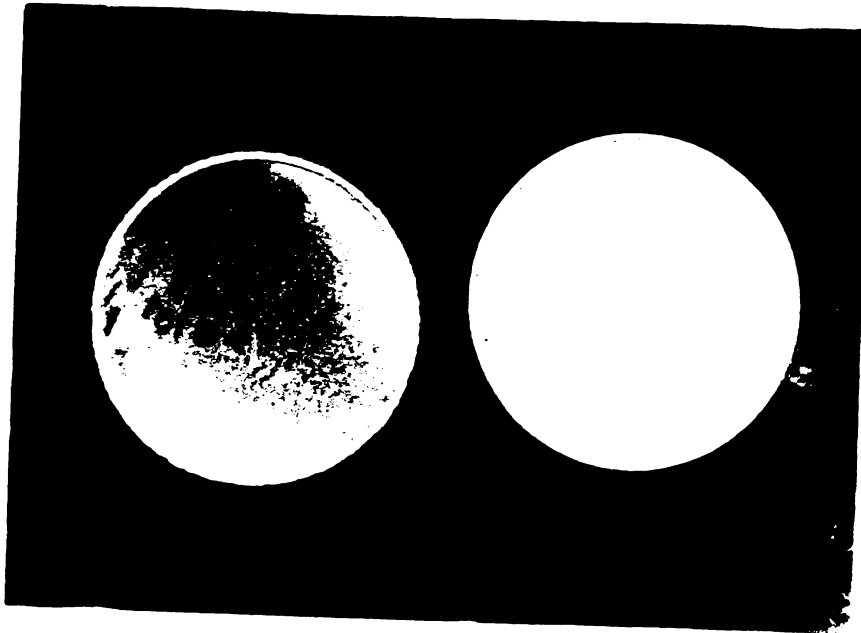
5.3.4.3. Piese din fontă cu grafit nodular din producția curentă a Intreprinderii Electroputere Craiova

Cercetări de remaniere prin sudare la cald s-au executat și pe piese turnate din fontă cu grafit nodular pentru locomotiva electrică, din producția curentă a întreprinderii Electroputere Craiova.

Cele mai importante piese turnate din fontă cu grafit nodular au fost: partea superioară a carcsei angrenajului, carcasa angrenajului, scut parte tracțiune, scut partperie și altele.



a



b

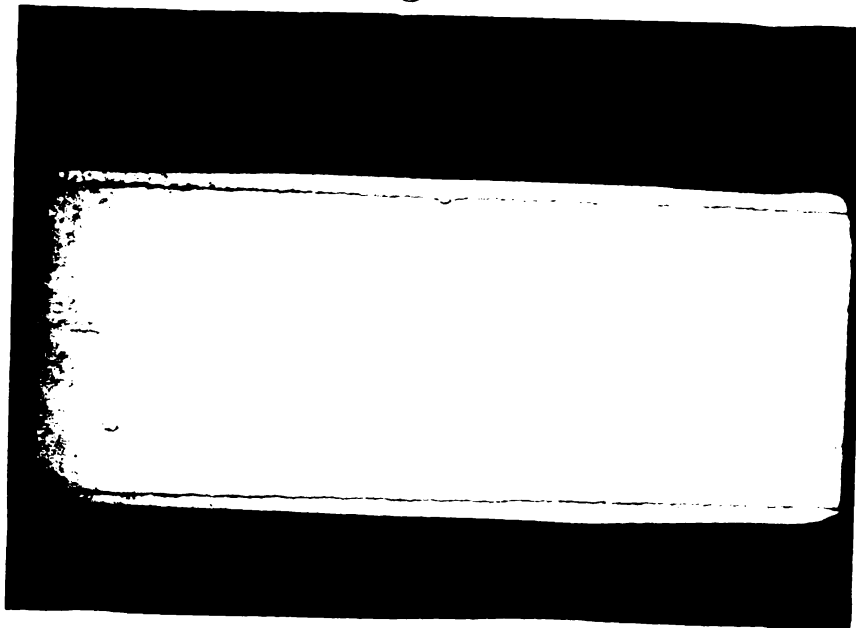


Fig.5.47. Aspectul exterior (a) și macrostructurile în secțiune transversală (b) și longitudinală (c) al unor epruvete încărcate cu flacără oxiacetilenică cu pulberi metalice de tip Metco 16 c de tip stelite.

Marca fontei cu grafit nodular din care se toarnă aceste piese este F.g.n. 420-12 STAS 6071-75.

În general remanierea prin sudare la cald cu cele trei materiale de adaos și în aceleași condiții de preîncălzire, sînt asemănătoare atît din punctul de vedere al structurilor masei metalice de bază în stare brută după sudare în cele trei zone caracteristice, cît și din punctul de vedere al mărimii nodulelor de grafit din materialul depus cu cele obținute la piesele din producția curentă a I.A.Brașov.

În fig.5.48 sînt date macrostructura unui defect remaniat prin sudare la cald cu flacără oxiacetilenică și vergele cu 5%Ni și duritatea HV30 de-a lungul materialului de bază, zona de influență termică și materialul depus prin sudare, iar în fig.5.49 microstructurile în aceste zone la piesa turnată carcasă angrenaj parte superioară.

Așa cum se vede în fig.5.48 (a) materialul depus prin sudare este constituit din 5 - 6 straturi, fiecare avînd o înălțime medie care nu depășește 10 mm, în vederea menținerii în baia de metal topit a efectului modificador al magneziului.

Materialul depus prin sudare are o duritate mai mare, 250 ... 260 HV30 (fig.5.48 b) decît materialul de bază care are durități cuprinse între 200 și 245 HV30. Duritățile mai ridicate în materialul depus prin sudare sînt confirmate și de analizele microstructurale fig.5.49 (b) și (c) unde se constată prezența cementitei în cantități mici sub 3%.

5.3.4.4. Remanierea prin sudare la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular aliate

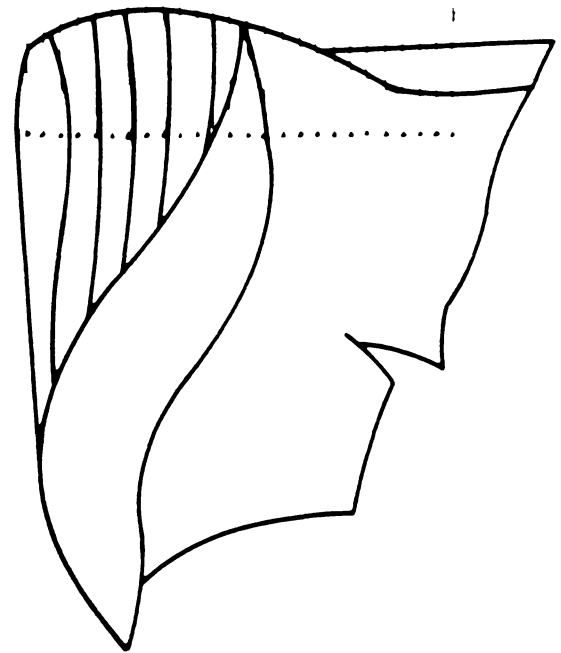
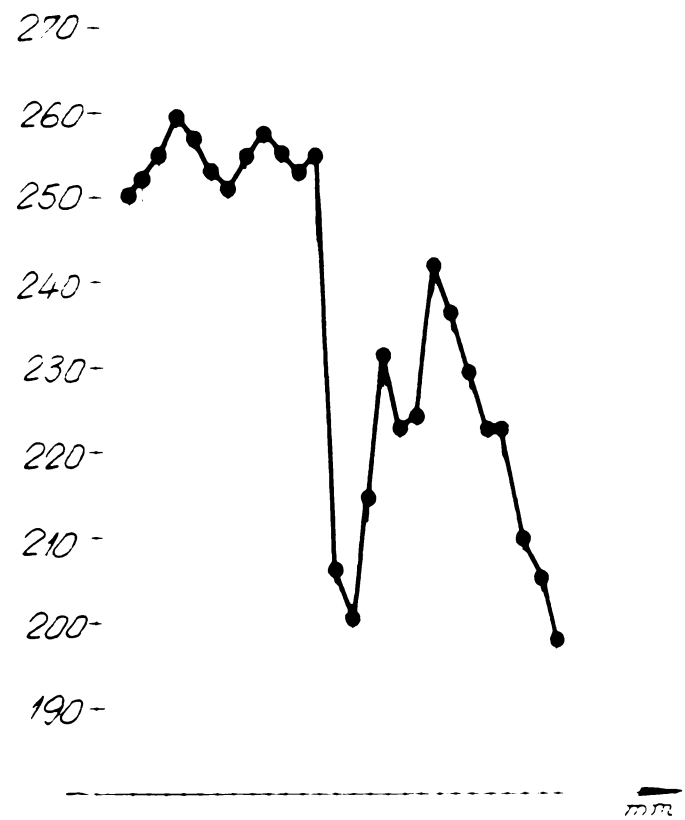
Remanierea prin sudare la cald s-a extins și asupra pieselor turnate cu defecte, din fonte aliate. Printre aceste piese se numără și suportii mari și suportii mici din fontă austenitică cu grafit nodular, pentru alternatorul turbine de 220 MW ce se fabrică în mod curent la IMGB.

Acești suportii se toarnă de către ICSITPSC în cadrul lucrărilor de producție industrială. Majoritatea defectelor de turnare la acești suportii au fost retasuri și retasuri închise sau interioare, care au fost depistate în diferite stadii de

Hv30



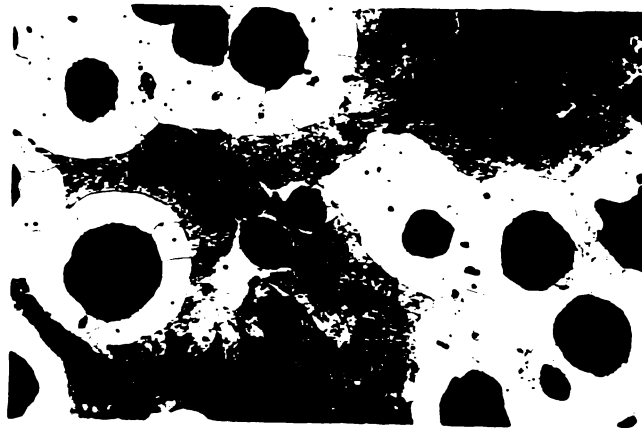
a



b

Fig 5-8

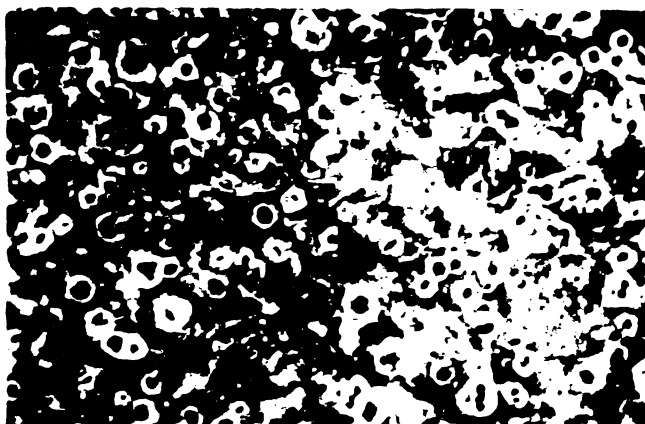
Microstructura unui defect de turnare remaniat prin sudare la cald cu fierăstră axiacețenică (a) și variația duntății Hv.30 de-a lungul celor trei zone caracteristice ale unui defect de turnare la carcasa anvelopării carte superioară



Atac: Nital 2%

x250

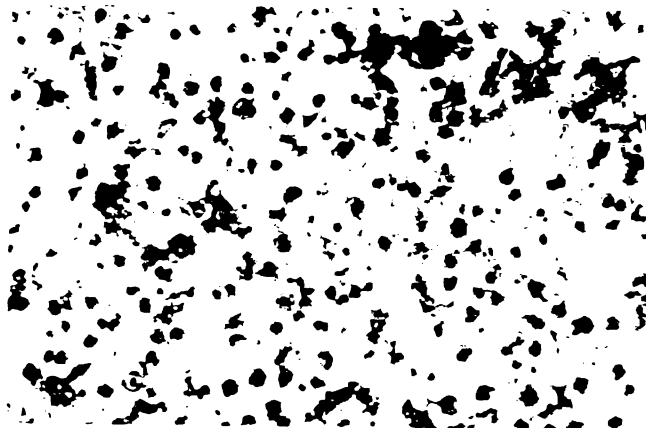
a



Atac: Nital 2%

x100

b



Atac: Nital 2%

x100

c

Fig.5.49. Microstructura materialului de bază (a) a zonei de influență termică (b) și a materialului depus prin sudare la cald la un defect de turnare re-maniat la piesa carcasă angrenaj parte superioară (c)

prelucrare mecanică.

Analiza chimică a materialului de bază, a electrozilor elaborați în cadrul ICSITPSC prin turnare în vergele și înveliți cu paste ionizante și de protecție prin imersionare și a materialului depus prin sudare este dată în tabelul 5.7.

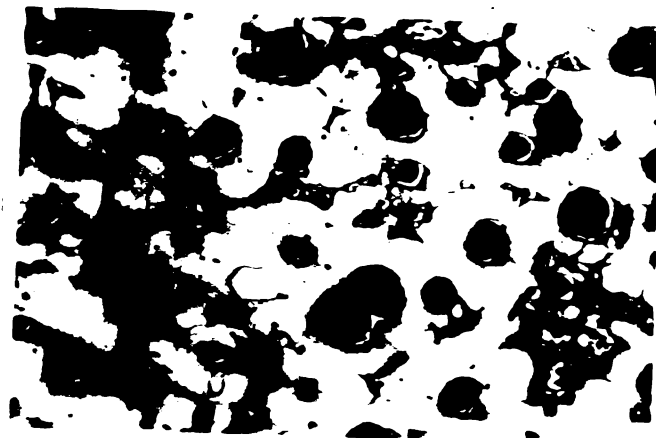
În fig.5.50 și fig.5.51 sînt date macrostructura și variația durtății HV30 în materialul de bază, zona de influență termică și în materialul depus prin sudare, precum și microstructurile în aceste trei zone caracteristice. Ca și în cazul fontelor nealia-te depunerea în zona defectelor s-a făcut din mai multe straturi în scopul evitării arderii magneziului.

Durtatea HV30 în stare brută după sudare, variază de la valori de 180... 280 HV30 în materialul depus prin sudură și zona de influență termică, la valori cuprinse între 160 ... 180 HV30 în materialul de bază fig.5.50 (b) .

Durtățile mari din ZIT și MD se datoresc cantității mari de cementită formată în aceste zone fig.5.51 (b) și (c), deși sudarea s-a făcut la temperaturi de preîncălzire ridicate 650...700°C.

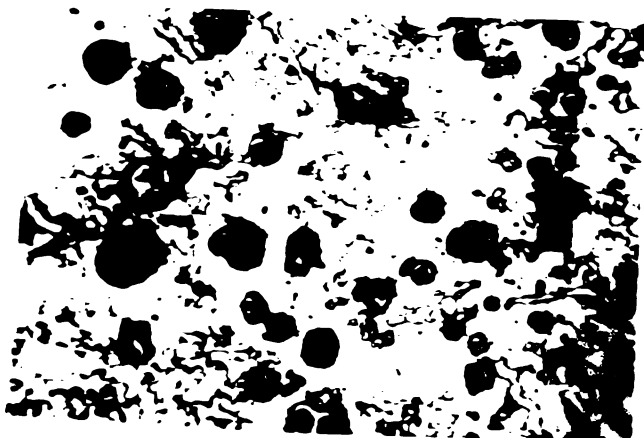
După cum se vede în fig.5.51, materialul de bază este caracterizat printr-o masă metalică de bază austenitică în care sînt înglobate separările de grafit bine conturate. La limita nodulelor se observă cementita fig.5.51 (a). Zona de influență termică fig.5.51 (b) și (c) se caracterizează prin nodule de grafit bine conturate, dar de dimensiuni mai mici 25 ... 30 μ m, încastat într-o masă metalică austenitică, dar cu o cantitate de cementită mult mai ridicată decît în materialul de bază , de unde și durtățile mai ridicate cu aproximativ 100 HV30, fapt care a îngreunat procesul de prelucrări pe mașinile unelte .

După un tratament termic de austenitizare timp de 3 ore la 1050°C și răcire la aer calm, o parte din cementită s-a dizolvat fig.5.52 (a) și (b), fapt care a permis căderea durtății HV30 în limite cuprinse între 210 ... 220 HV30 în zona de influență termică și materialul depus prin sudare, față de 160 ... 170 HV30 în materialul de bază, tratament care a condus la o prelucrare mai ușoară a acestor suportți pe mașinile unelte.



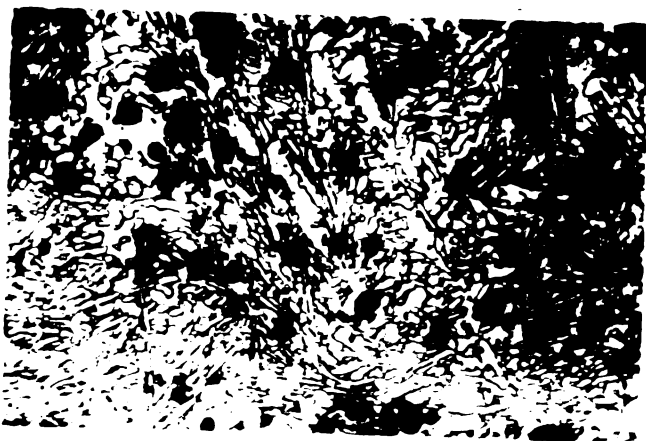
Atac: Apă regală x 100

a



Atac: Apă regală x 100

b

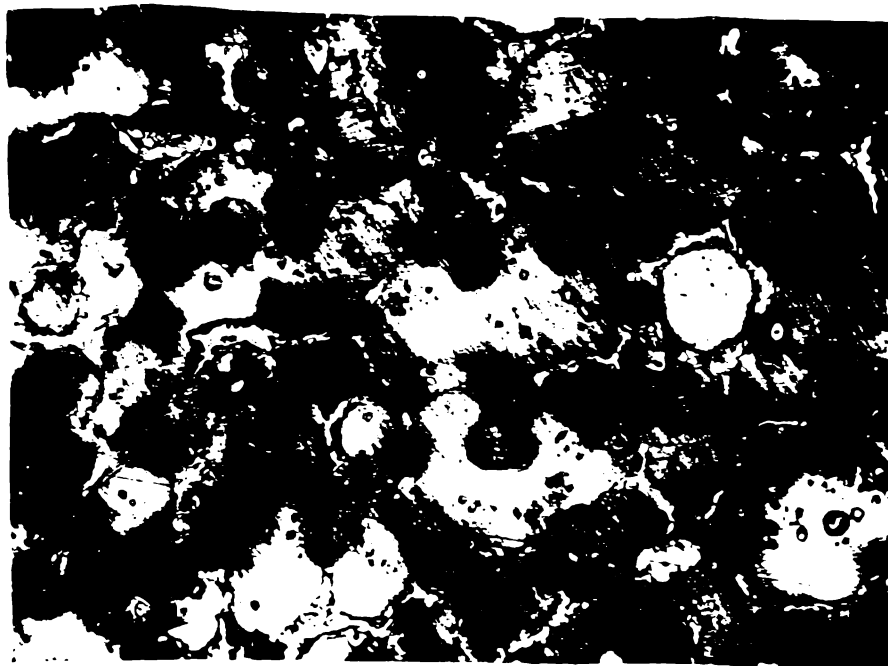


Atac: Apă regală x 100

c

Fig.5.51. Microstructura unei îmbinări sudate la cald la o piesă din fontă cu grafit nodular austenitică de tip Nodumag cu electrozi înveliți similari materialului de bază în stare brută după sudare.

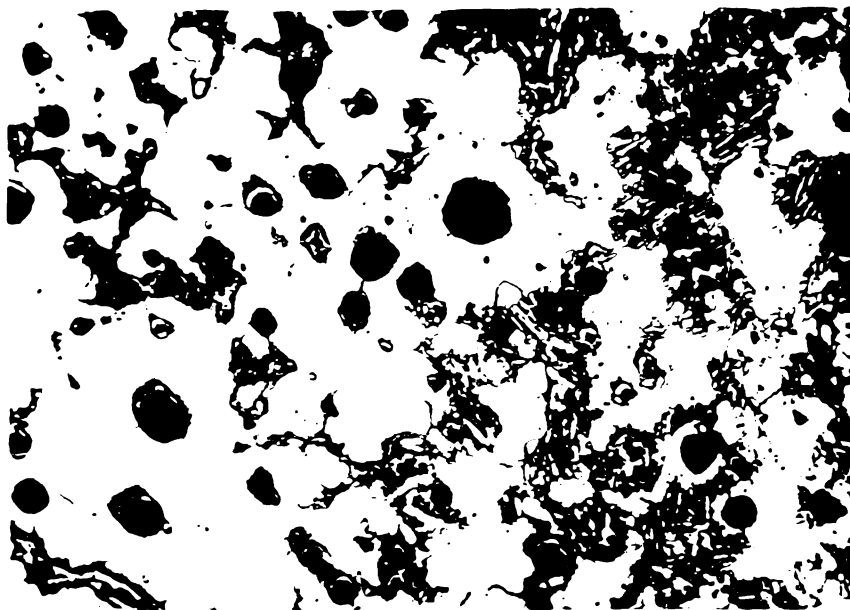
- a) microstructura materialului de bază;
- b) microstructura în zona de influență termică;
- c) microstructura în materialul depus prin sudare



Atac: Apă regală

x 250

a



Atac: Apă regală

x 100

b

Fig.5.52. Microstructura îmbinării sudate din fig.5.51 după tratamentul termic de austenitizare 3 ore la 1050°C cu răcire de la această temperatură la aer calm.

a) microstructura materialului de bază

b) microstructura zonei de trecere.

Analiza chimică a suporturilor din fontă austenitică cu grafit nodular, a electrozilor și a materialului depus prin sudare.

Tabelul 5.7

Denumirea	Analiza chimică în procente						
	C	Si	Mn	S	P	Mg	Ni
Material de bază	3,20	2,60	5,98	0,010	0,082	0,040	10,30
Electrozi	3,39	2,70	6,20	0,011	0,040	0,070	10,40
Metal depus	3,22	2,58	6,10	0,011	0,043	0,053	10,35
————— " —————	3,24	2,50	6,12	0,011	0,043	0,054	10,38
————— " —————	3,23	2,51	6,11	0,011	0,043	0,052	10,32
Media	3,23	2,53	6,11	0,011	0,043	0,053	10,35

Analiza chimică a saboturilor C.F.R., a electrozilor și a metalului depus prin sudare cu arc la cald.

Tabelul 5.8

Denumirea	Analiza chimică în procente					
	C	Si	Mn	S	P	Mg
Material de bază	3,21	4,98	0,87	0,018	0,19	0,62
Electrozi	3,25	5,20	0,82	0,0028	0,11	0,070
Metal depus	3,10	5,00	0,83	0,0030	0,12	0,059
————— " —————	3,15	4,95	0,83	0,0035	0,13	0,059
————— " —————	3,14	5,04	0,83	0,0034	0,11	0,059
Media	3,13	4,99	0,83	0,0033	0,13	0,059

Alte piese turnate din fontă cu grafit nodular aliate au fost și suportii de frână pentru CFR turnați din fontă aliată cu 5% Si.

În tabelul 5.8 sînt date analizele chimice ale materialului de bază, al electrozilor confecționați din vergele din fontă cu grafit nodular aliată cu siliciu și înveliți prin imersionare în cadrul ICSITPSC, precum și a materialului depus prin sudare.

În fig.5.53 este dată microstructura zonei de trecere de la materialul de bază la nodulii de grafit de mărime 50 ... 55 μ m și a materialului depus prin sudare la cald cu electrozi din f.g.n. aliată cu 5% Si. În materialul depus separările de grafit bine conturate de mărime 20 ... 25 μ m.

În vederea remanierii prin sudare la cald, saboții de frână CFR au fost încălziți la 650°C. După sudare piesele, au fost detensionate la aceeași temperatură timp de 3 ore.

5.3.4.5. Remanierarea prin sudare la cald a pieselor din fontă cu grafit lamelar folosind materiale de adaos din fontă cu grafit nodular

Tehnologia de remanieră a pieselor din fontă cu grafit nodular, a fost aplicată și la alte piese turnate din fontă cu grafit lamelar cu defecte de turnare, folosind materialele de adaos din fontă nodulară elaborate de ICSITPSC (vergele, electrozi pentru sudarea manuală și electrozi continui tubulari).

Cercetările noastre s-au îndreptat asupra a două piese destul de reprezentative și anume a blocului de motor de la autoturisme Dacia 1300 și a carterului LDE turnate din fontă cu grafit lamelar (Fc25) din producția curentă a I.A.Brașov, respectiv a Întreprinderii Timpuri Noi București. În fig.5.54 și fig.5.55 sînt date cîteva exemple de piese din fontă cu grafit lamelar supuse remanierii prin sudare la cald după tehnologia de sudare elaborată și cu materiale de adaos din fontă cu grafit nodular.

Piesele de mai sus au fost preîncălzite la 550°C și au fost remaniate la cald prin sudare cu flacără oxiacetilenică și vergele din fontă cu grafit nodular cu 5% Ni. Pentru menținerea efectului modificador și în acest caz s-a lucrat cu depuneri

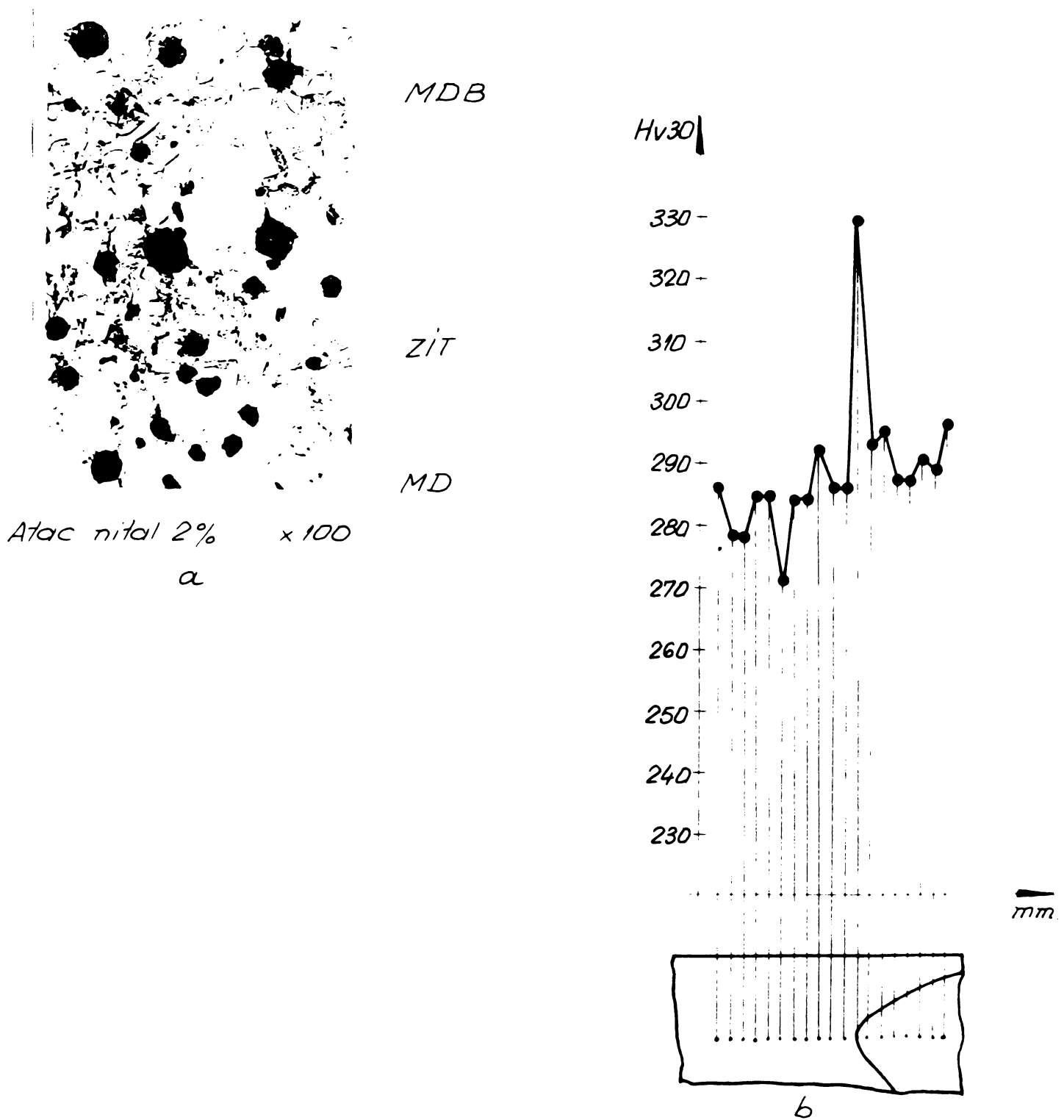
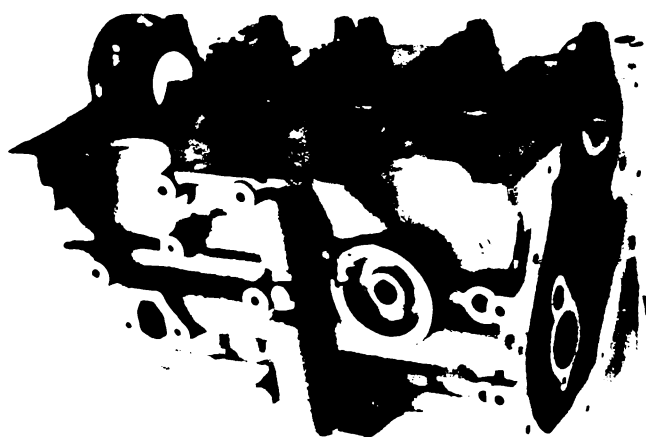


Fig. 5.53.

Microstructura zonei de trecere de la materialul de bază (a) materialul depus prin sudare la cald cu electrozi din fontă cu grafit nodular aliată cu 5% Si și înveliti prin imersie în cadrul ICSITPSC-București și variația duriității Hv30 dealungul celor trei zone caracteristice.



a



b

Fig.5.54. Blocul motor de la autoturismul Dacia 1300 cu o suflură închisă în zona filtrului de ulei, depistată în timpul prelucrărilor pe mașini unelte la I.A.Pitești (a). Aspectul defectului de turnare la o scară mai mare (b)

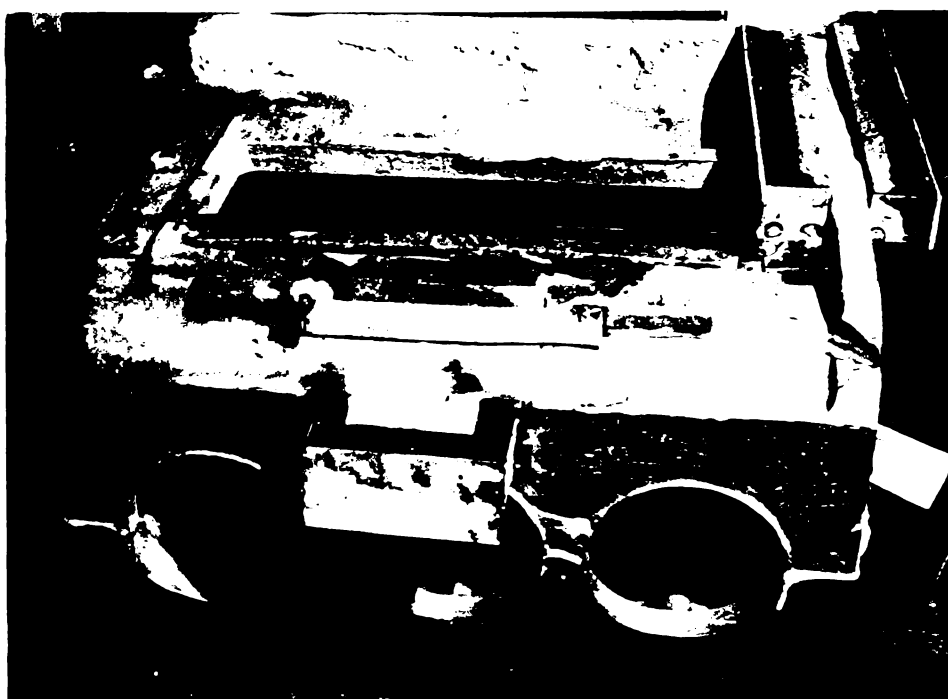
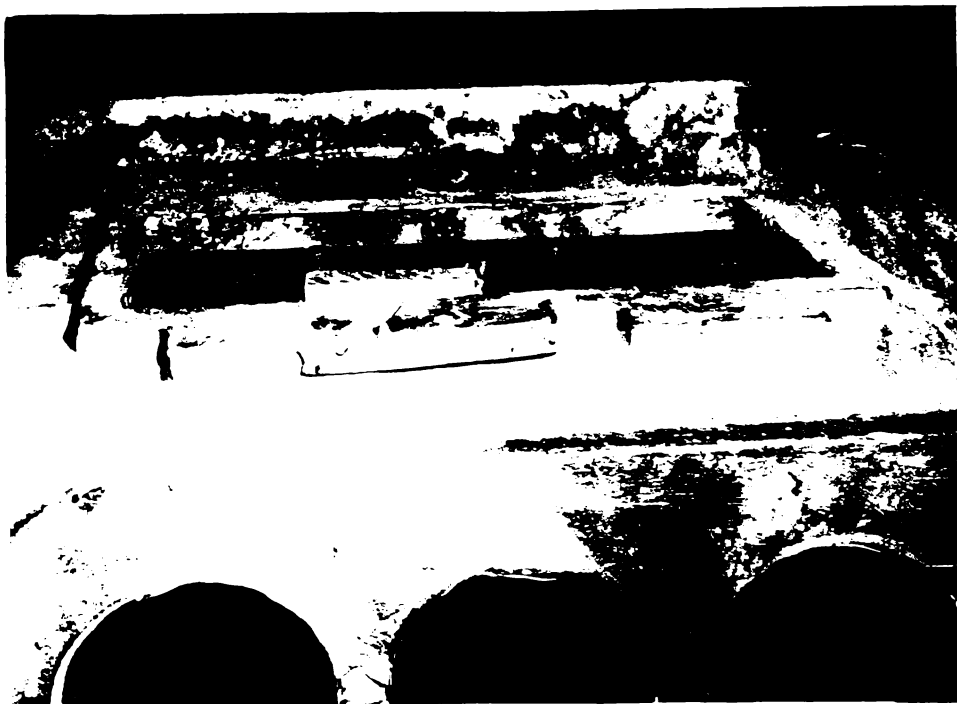


Fig.5.55. Defecte frecvente de turnare, formă neumplută și pori în peretele carterului LDE pentru compresoare, pregătite în vederea remanierii la cald cu materiale de adaos din fontă cu grafit nodular

de straturi multiple.

În fig.5.56, fig.5.57 și fig.5.58 sînt date macrostructura și microstructurile zonei de trecere de la materialul de bază din fontă cu grafit lamelar la fonta cu grafit nodular și variația durtății HV30 în aceste zone fig.5.56 (b) și fig. 5.58. Durtatea maximă de 240 HV30 obținută în materialul depus prin sudare, face ca prelucrarea pe mașini unelte să fie bună.

După cum se vede în cele două microstructuri, trecerea de la materialul de bază la cel depus prin sudare se face printr-o zonă în care grafitul trece aproape prin toate formele cunoscute ale fontelor modificate și anume separări de grafit sub formă de lamele cu vîrfuri rotunjite, degenerat vermicular, nodular degenerate și în final, la o formă nodulară de dimensiuni mici 20... 25 μ m.

Structura masei metalice de bază în piesă este ferito-perlitică. Aceasta devine perlito-feritică cu puțină cementită în materialul depus prin sudare și în zona de influență termică.

5.3.4.6. Remanierea prin sudare la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular cu electrozi din oțel

Așa cum se știe, piesele din fontă, nu se remanează prin sudare cu materiale de adaos din oțel. Totuși, în cadrul remanierii la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular s-a experimentat și remanierea unor defecte superficiale folosind electrozi din oțel ferito-perlitici de tipul Supertit 44.

În fig.5.59 sînt date microstructura zonei de trecere de la materialul de bază la materialul depus prin sudare la primul strat (a) și microstructura zonei de trecere de la primul strat la cel de al doilea strat, precum și variația durtății HV30 în materialul de bază, zona de influență termică și materialul depus prin sudare din electrodul ferito-perlitic din oțel în stare brută după sudare.

După cum se vede, din microstructurile prezentate, metalul depus prin sudare se compune din perlită fină și separări de cementită. Trecerea de la materialul de bază, cu durtatea de 180 ... 200 HV30 crește la 380 ... 460 HV30 în materialul depus

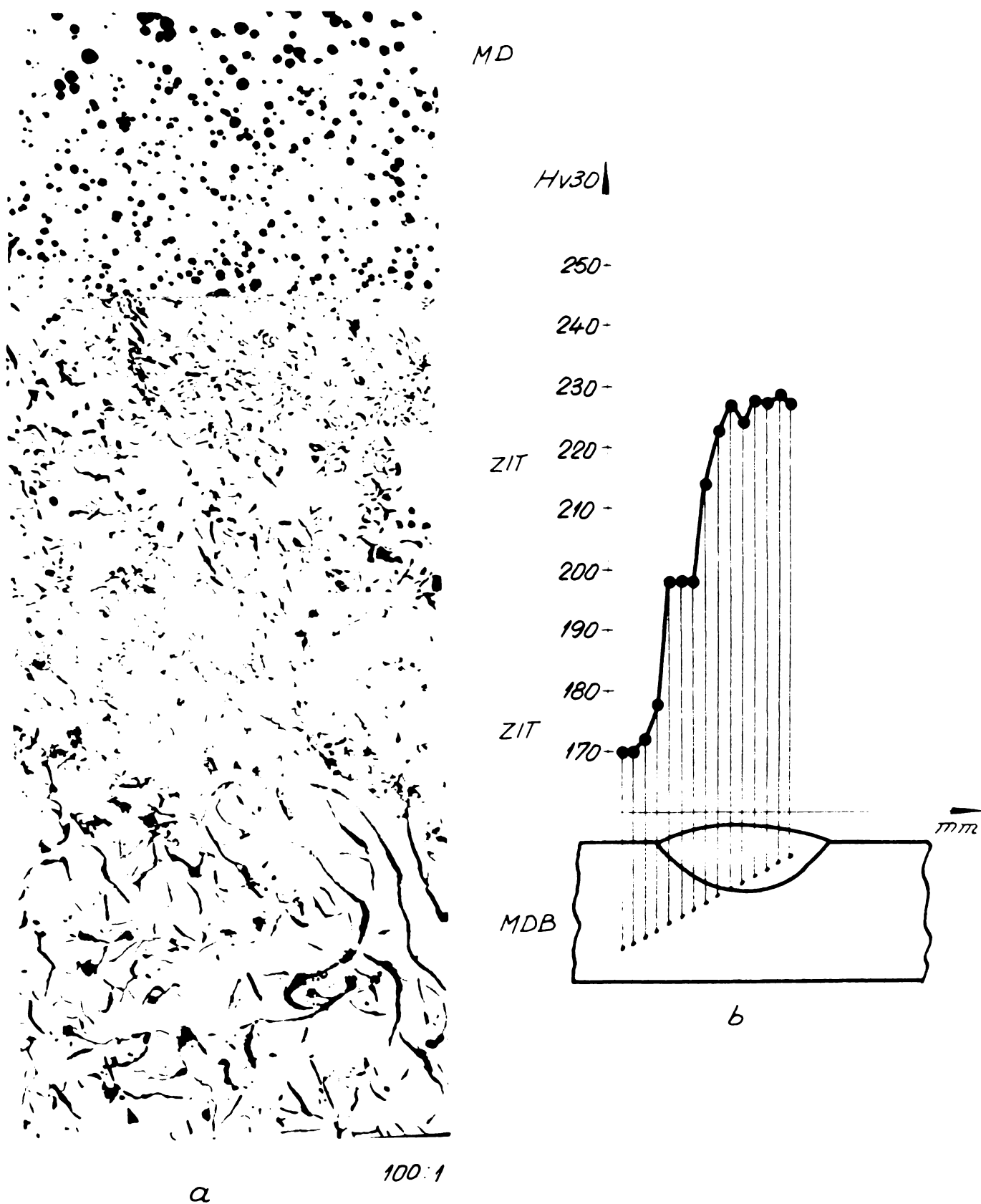
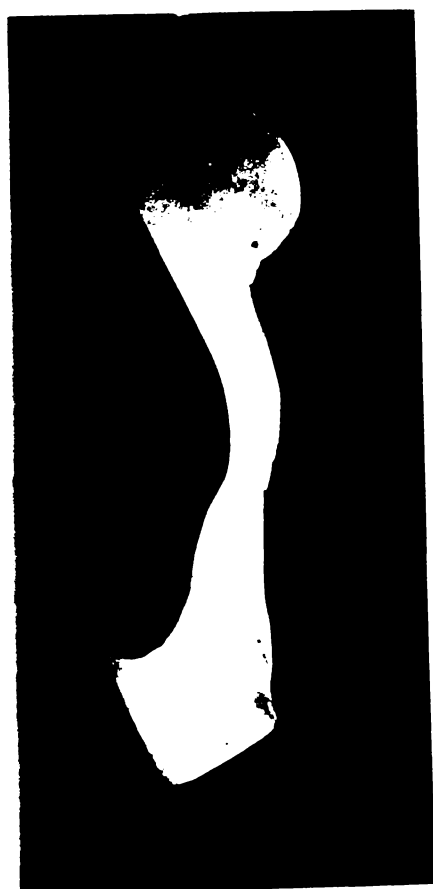


Fig. 5.56.

Microstructura trecerii de la materialul de bază din fontă cu grafit lamelar la materialul depus prin sudare cu fontă cu grafit nodular în stare neatacată, din blocul motorului Dacia 1300 (a); b - Variația duriității HV30 în cele trei zone caracteristice îmbinării sudate.



a



Fig. 5.57.

Macrostructura (a) și microstructura M.D.B., ZIT și MD (b) a unui defect străpuns și a altor două defecte de turnare dela un carter de compresor (carter LDE).

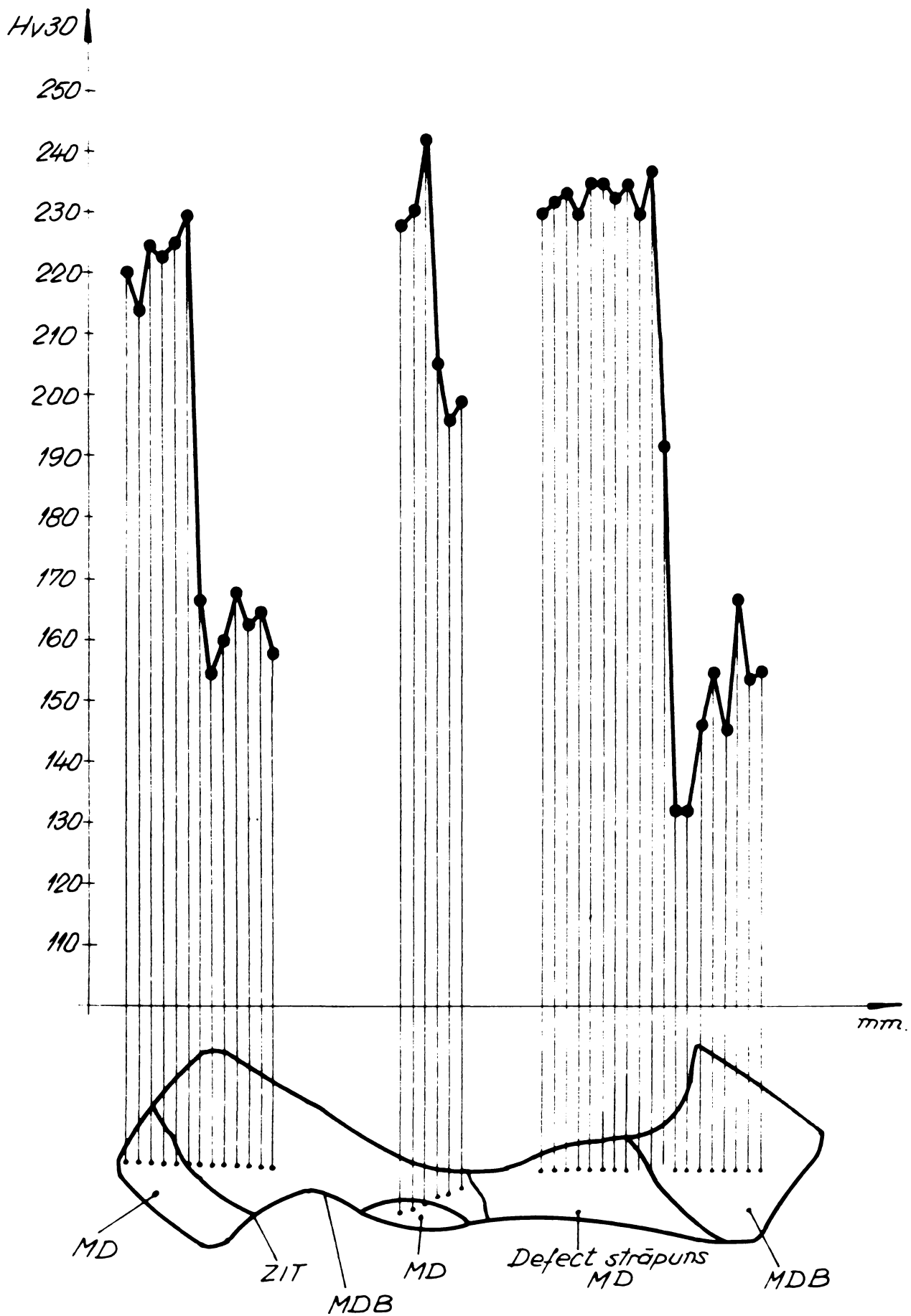


Fig 5.58

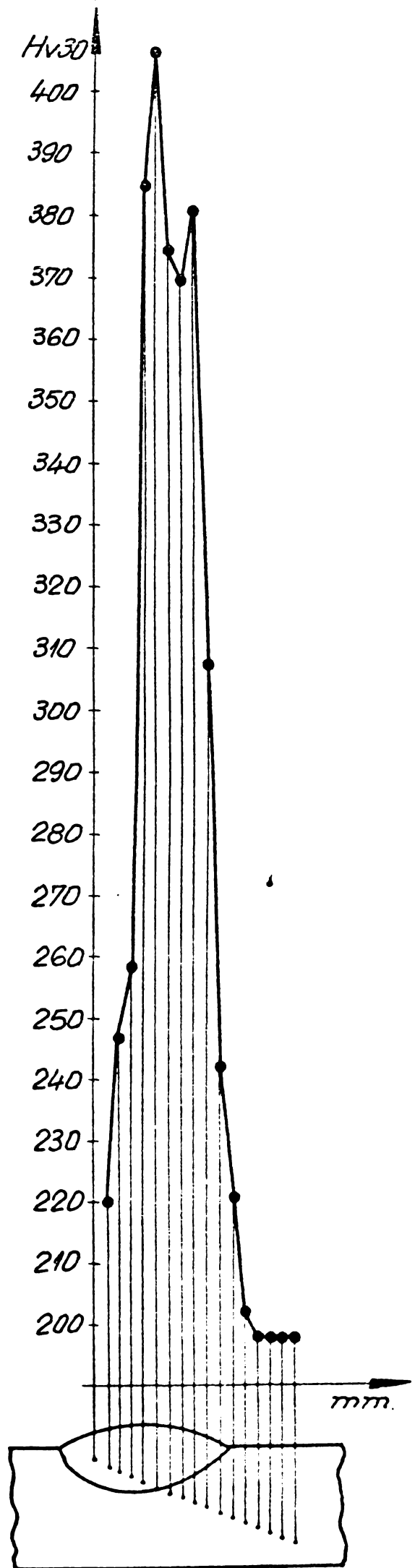
Variația durității Hv30 dealungul MDB, ZIT și MD a defectului străpuns și a altor defecte (zone poroase) din carterul LDE remaniat la cald prin sudură oxiacetilenică și vergea din Fgn cu 5% Ni.



Atac nital 2%

x 100

a



b

Fig. 5.59.

Microstructura zonei de trecere de la materialul de bază din f.g.n. la materialul depus prin sudare cu electrod de oțel ferito perlitic (a) și variația durității Hv30 în cele trei zone caracteristice în stare brută după sudare. (b)

cu cementită și scade la 230 HV30 la oțelul perlito-feritic în zona superioară a cusăturii.

În fig.5.60 este dată microstructura materialului de bază, zona de influență termică și materialul depus prin sudare la cald cu electrozi de oțel ferito-perlitic, după tratamentul de recoacere pentru feritizare (a) și variația durității HV30 în aceste zone (b), tratament executat la I.A.Brașov.

După cum se vede în fig.5.60 (a) trecerea de la materialul de bază la materialul depus prin sudare se face lent, cu slabe separări de grafit deasupra liniei de topire în materialul depus. Spre zona exterioară a metalului depus, în special în stratul al doilea, ferita și perlita sînt constituienți structurali distincți (a).

În urma acestui tratament termic, duritatea în metalul depus prin sudare scade în materialul depus prin sudare la maximum 270 HV30.

Analiza macro și microscopică a acestor remanieri prin sudare nu au evidențiat prezența fisurilor nici în materialul depus și nici în zona de influență termică. De aici concluzia că în anumite cazuri, în special la defecte de turnare de dimensiuni mici, în special la piesele cărora după turnare trebuie să li se stabilească structura masei metalice de bază prin tratamente termice de feritizare, se pot folosi și electrozii înveliți din oțel.

5.3.4.7. Forme de separări de grafit degenerat întîlnite în metalul depus prin sudare la cald

Forma separărilor de grafit din îmbinările sudate au o importanță deosebită asupra caracteristicilor fizico-mecanice ale îmbinării. Efectul de crestare al masei metalice de bază depinde direct de forma acestor separări.

Separările de grafit degenerat de la forma nodulară, la sudarea în regim cald a pieselor din fontă cu grafit nodular se datorește în primul rînd, așa cum s-a mai arătat, menținerii timp îndelungat a unei băi de metal topit adînci în stare supraîncălzită. În aceste condiții magneziul sau ceriul ard și masa



Atac: Nital 2%
a

100:1

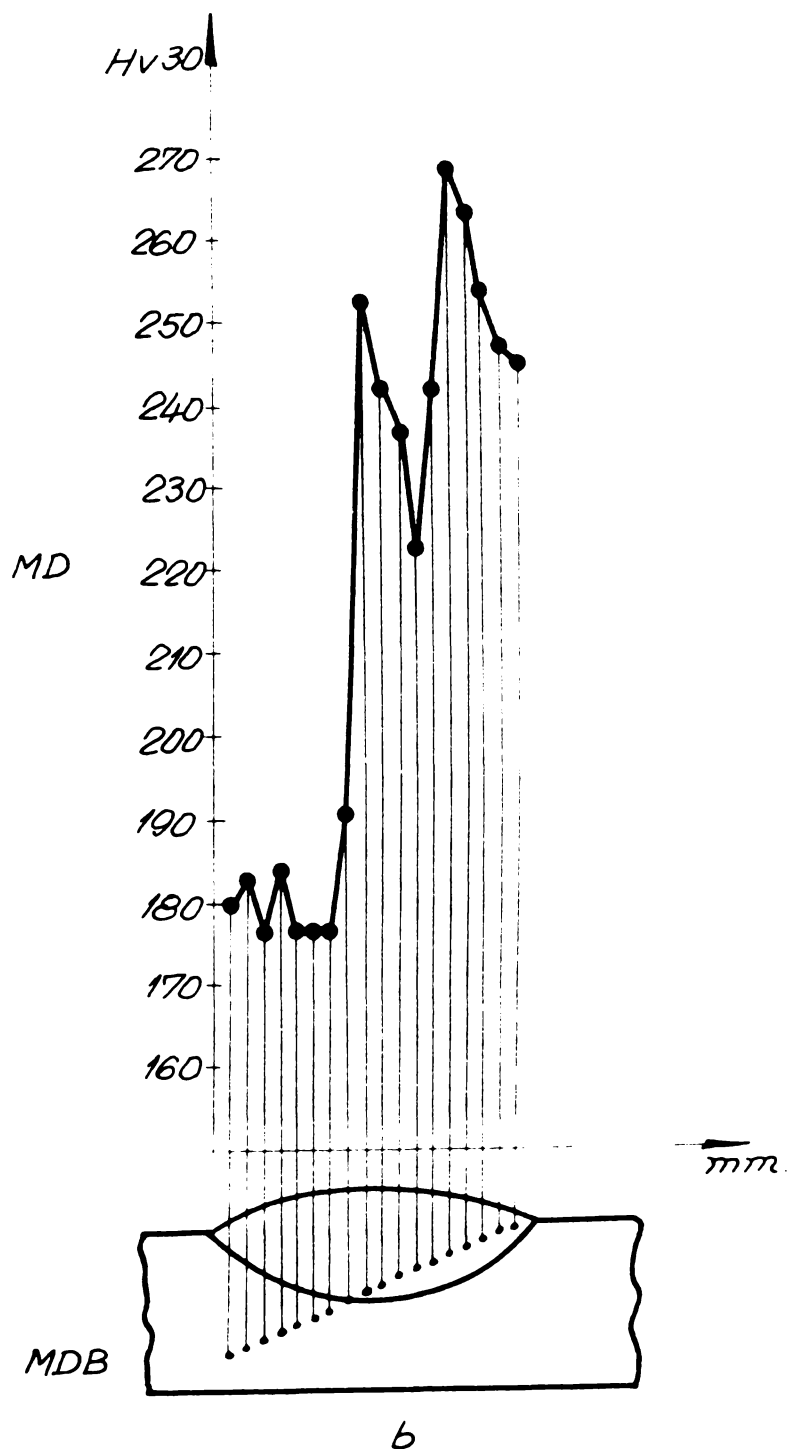


Fig. 5.60.

Remanierea prin sudare a pieselor turnate din Fgn cu electrozi din oțel carbon (supertit 44), după tratamentul termic de feritizare; a - trecerea de la materialul de bază la materialul deșus prin sudare în mai multe straturi; b - variația durității Hv 30 de-a lungul MDB, ZIT și MD.

de metal topit își pierde efectul de nodulizare.

În fig.5.61 și fig.5.62 sînt date cîteva aspecte de separări de grafit întîlnite în îmbinările sudate la cald, executate cu flacără oxiacetilenică și vergele cu 5% Ni, cu arc electric cu electrozi cu inimă din f.g.n. și cu electrod tubular executate în condiții nesatisfăcătoare.

O cercetare mai aprofundată asupra formei separărilor de grafit din îmbinările sudate s-au efectuat și pe epruvetele de rupere prin tracțiune, prin intermediul microscopiei electronice, pe microscopul Jeol tip C200b din dotarea ICSITPSC.

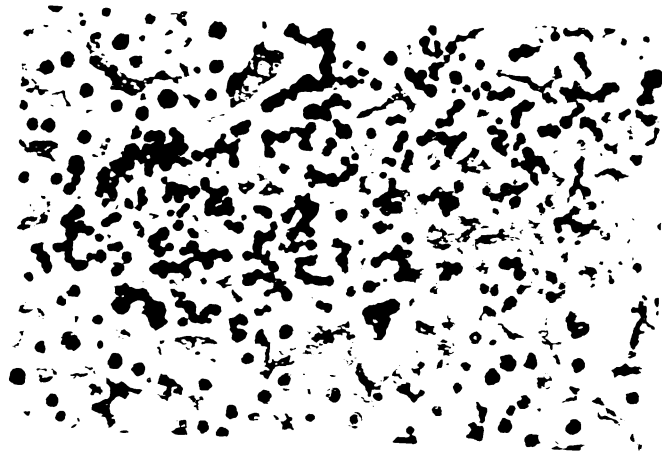
În fig.5.63, fig.5.64 și fig.5.65 se prezintă fractografiile executate pe suprafețele de rupere ale unor epruvete sudate supuse la rupere prin tracțiune.

Din analiza acestor microfotografii se observă că, din cauza insuficienței asimilării magneziului în cusătura sudată, forma grafitului nu este corespunzătoare (fig.5.62). Suprafețele exterioare ale nodulilor indică alcătuirea necompactă a acestora. Acești noduli sînt alcătuiți din aglomerări de grafit de forme diferite, fapt care a condus la obținerea unor caracteristici mecanice mult inferioare, în comparație cu cele ale unei îmbinări sudate, la care nodulii de grafit prezintă forme bine conturate și compacte fig.5.63 și fig.5.64. Ușoara exfoliere a nodulilor de grafit se datorește deformării masei metalice de bază care a avut loc în timpul procesului de curgere, înainte de ruperea epruvetei.

În fig.5.65 (b) este dată microfotografia unei epruvete de tracțiune atacată cu 2% Nital pentru punerea în evidență a structurii masei metalice de bază. Zona striată din stînga, este cementita din perlită.

5.4. Remanierea prin sudare la rece a pieselor din fontă cu grafit nodular cu defecte de turnare

Așa cum s-a arătat, în momentul de față sudarea manuală cu electrozi de nichel, nichel-fier și nichel-cupru este procedeul cel mai des folosit la lucrări de sudare și remaniere prin sudare a pieselor turnate din fontă.



x100

a



Atac: Nital 2%

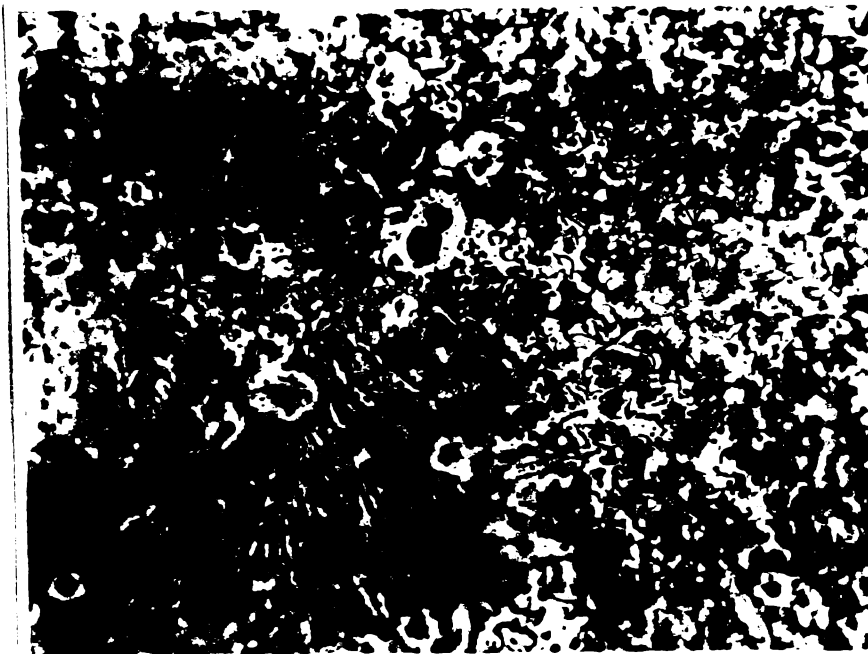
x100

b



c

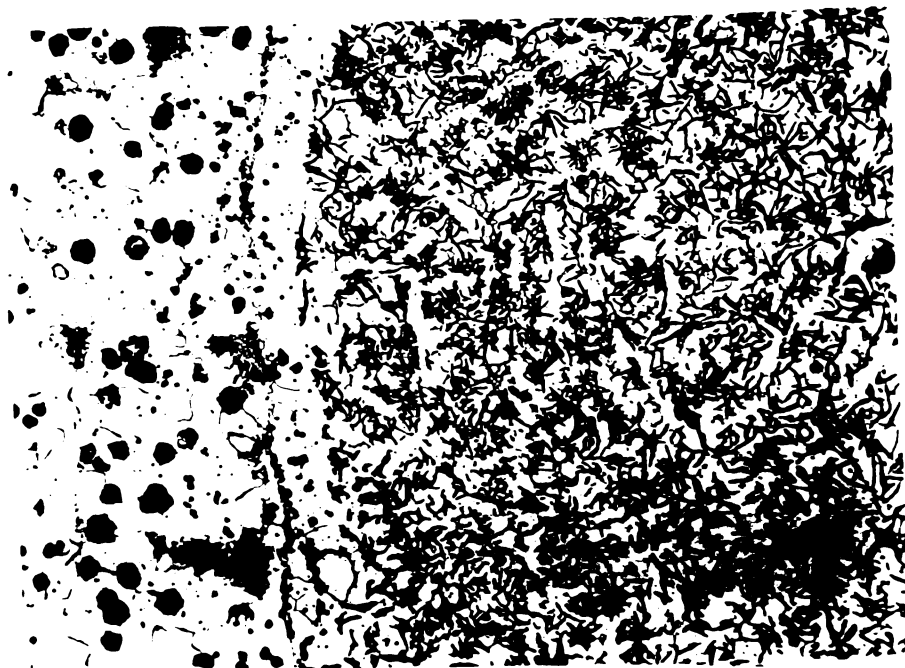
- Fig.5.61. Forme de grafit degenerat întâlnite în imbinări sudate la cald
- a) nodule mărunte de grafit înlănțuite, înconjurată de ferită și insule rare de cementită
 - b) grafit degenerat de la forma nodulară într-o masă de ferită înconjurată de perlită și puțină cementită
 - c) grafit degenerat într-o masă complet feritică



Atac : Nital 2%

x 100

a



Atac : Nital 2%

x 100

b

Fig.5.62. Forme de grafit degenerat întâlnite în îmbinările sudate la cald

- a) grafit modificat și proporție redusă de nodule într-o masă de bază predominant perlitică cu puțină ferită în jurul nodulelor și cementită
- b) grafit degenerat interdendritic cu tendință de rozetare



x1000

a



x2000



x1000

b



x2000

Fig.5.63. Noduli de grafit degenerat întâlnite în îmbinările sudate la cald

INSTITUTUL DE METALURGIE
BUCUREȘTI
FARA
COPERTURA CENTRALA



x1000



x2000

a



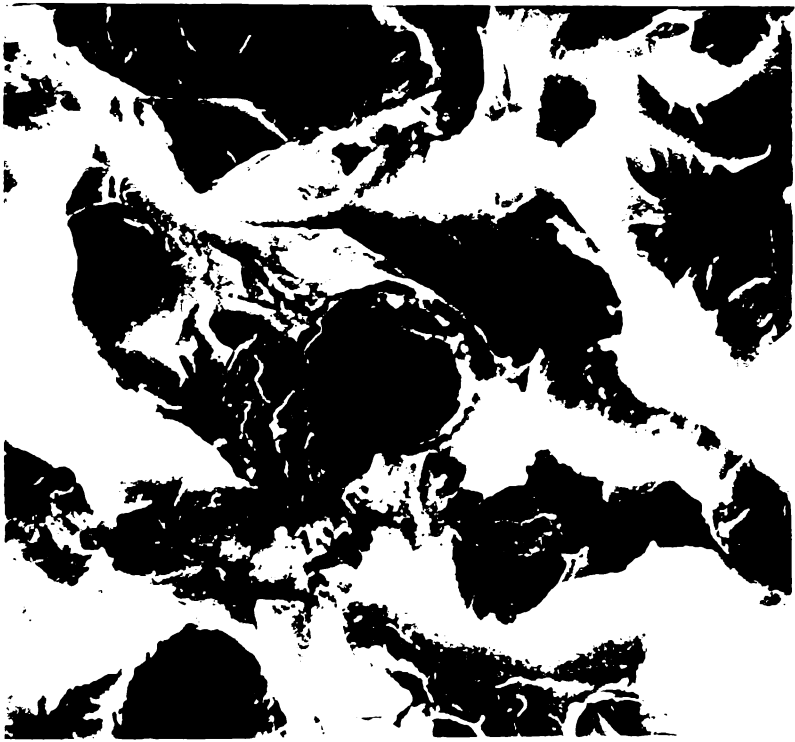
x1000



x2000

b

Fig.5.64. Noduli de grafit bine conturați din îmbinările sudate la cald



x500



x1500

a



x1500

b

Fig.5.65. Noduli de grafit bine conturați din îmbinările sudate la cald
 a) fără atac
 b) cu atac pe secțiunea de rupere

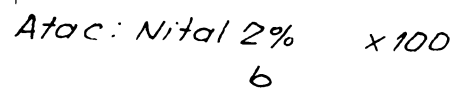
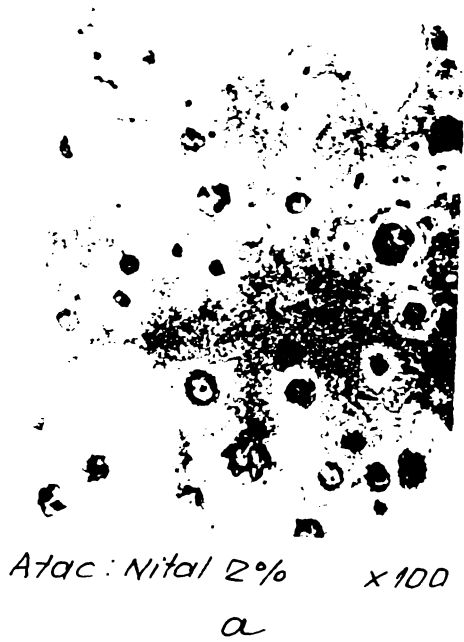


Fig.5.66. Microstructurile zonei de influență termică și a materialului depus prin sudare electrică la rece cu electrozi de nichel (a), nichel-fier(b) și monel (c) în stare brută după sudare.

În structura obținută în zona de influență termică (sub cordon) în condițiile unei tehnologii corect-aplicată, cantitatea de cementită este foarte mică.

În fig.5.66 sînt date microstructurile zonei de influență termică a metalului depus prin sudare la rece cu electrozi de nichel (a), de nichel fier (b) și nichel-cupru (*monel*), (c), iar în fig.5.67 variația durezzații HV₃₀ în materialul de bază, zona de influență termică și în metalul depus prin sudare.

După cum se vede în fig.5.66 zona de influență termică (sub cordon) pe o grosime care variază între 0,1 și 0,2 mm se remarcă un conținut de cementită care variază în funcție de electrodul folosit și a condițiilor de sudare. La electrodul de nichel fig.5.66 (a) cantitatea de cementită și a celorlalte structuri de călire este mult mai mică decît în cazul electrozilor de nichel-cupru fig.5.66 (c).

Variația durezzații HV₃₀ într-o îmbinare sudată cu electrozi de nichel în stare brută după sudare fig.5.67, pune în evidență briul de cementită printr-un vîrf de duritate de 305 HV₃₀ față de materialul de bază de 180 ... 200 HV₃₀ și de metalul depus prin sudare de 135 ... 155 HV₃₀.

La celelalte tipuri de electrozi, pentru sudarea la rece a fontei duritatea materialului depus prin sudare este mult mai mare și anume 270 ... 350 HV₃₀, la electrozii de nichel-fier și de 300 ... 450 HV₃₀ la electrozii de nichel-cupru, fapt care conduce la înrăutățirea condițiilor de prelucrare pe mașini unelte.

După tratamentul termic de feritizare la I.A.Brașov, zona de influență termică s-a îngustat, iar vîrfuț de duritate obținut în ZIT, a scăzut la 180 ... 185 HV₃₀, la toate tipurile de electrozi.

În fig.5.68 sînt date microstructurile obținute în materialul de bază, zona de influență termică și în materialul depus prin sudare cu electrozii de nichel (a), nichel-fier (b) și nichel-cupru (c), după tratamentul termic de feritizare, zonele de influență termică realizate cu cele trei tipuri de electrozi, au dispărut aproape complet sau s-au redus la o zonă foarte

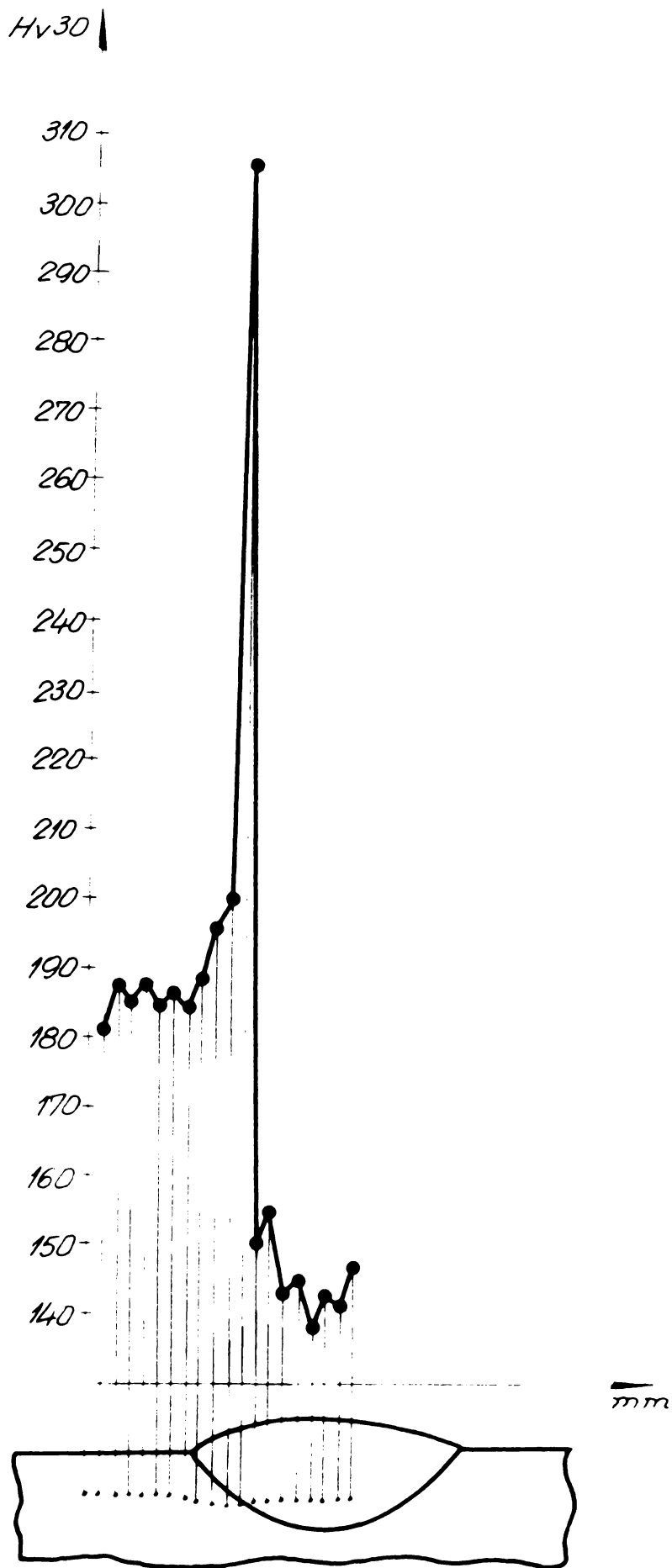
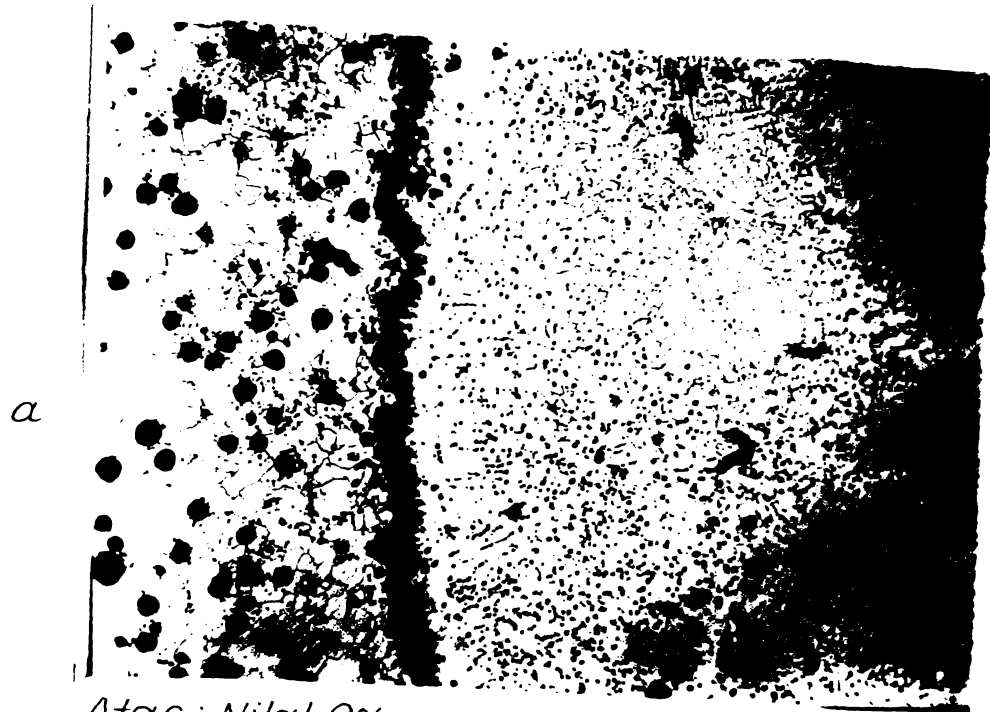


Fig. 5.67

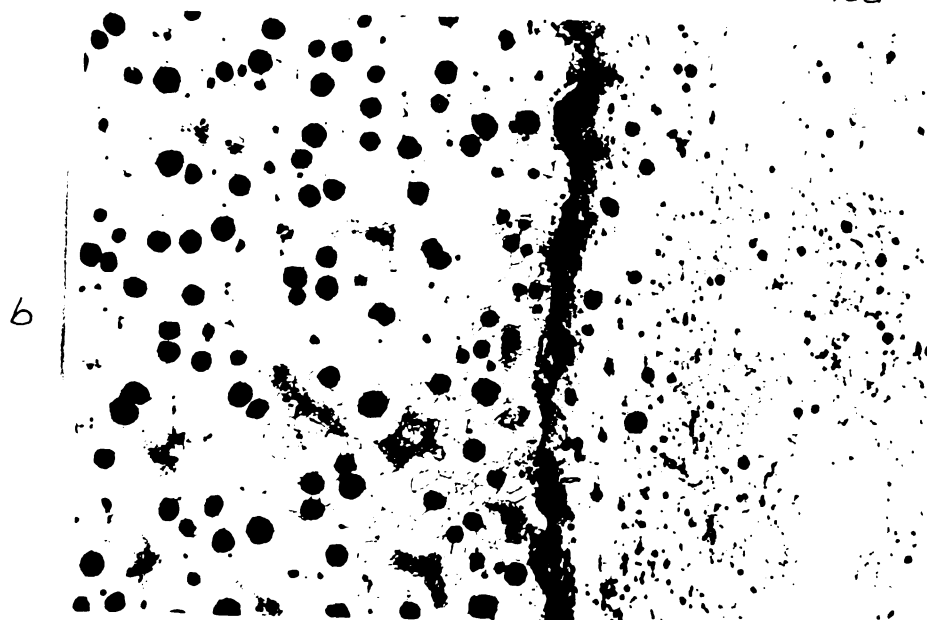
Varietatea durității în metalul de bază, zona de influență termică și metalul deșus la o îmbinare executată la rece cu electrodul de nichel OK 92.18.



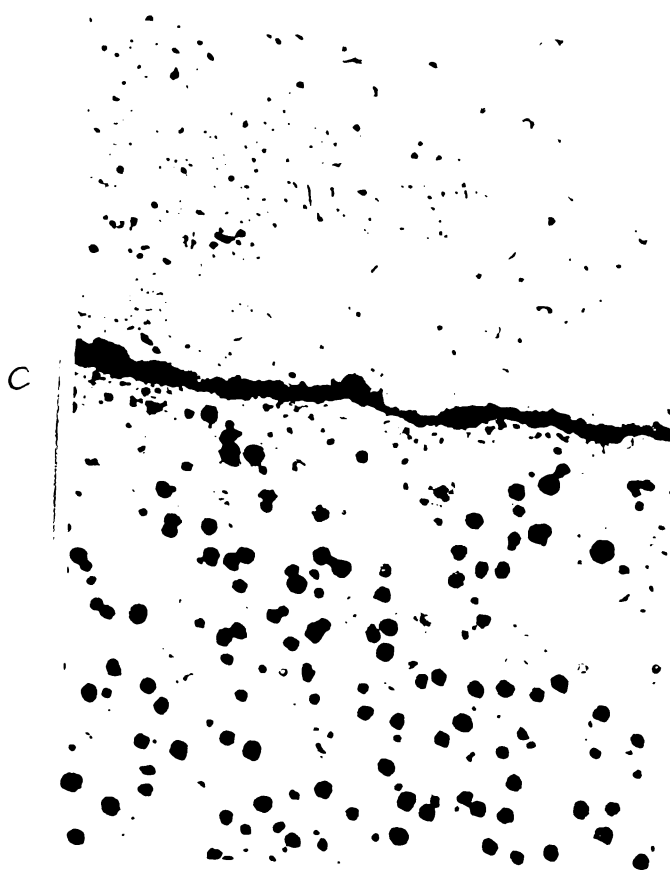
a

Atac: Nital 2%

x 100



b



c

Fig. 5.68. Microstructura unor îmbinări sudate executate la rece după tratamentele termice de feritizare
 a)electrod de nichel,
 b)electrod de nichel-fier
 c)electrod de *monel*

subțire, fapt care conduce la o prelucrare foarte ușoară a pieselor și în zonele în care s-au efectuat lucrări de remaniere.

5.5. Caracteristicile fizico-mecanice obținute la fontele cu grafit nodular sudate la cald și la rece

Caracteristicile fizico-mecanice ale îmbinărilor executate la cald cu flacără oxiacetilenică și vergele din f.g.n. cu 5% Ni, cu arc electric cu electrozi cu inimă din fontă cu grafit nodular cu 5% Ni și înveliți prin imersionare precum și cu electrozi tubulari în stare brută după sudare, precum și după diferitele tratamente termice executate la I.A.Brașov, sînt date în tabelele 5.10; 5.11; 5.12 și 5.13.

Analiza rezultatelor obținute ne conduce la concluzia că proprietățile fizico-mecanice ale îmbinărilor executate la cald cu materiale similare materialului de bază sînt suficient de ridicate, dar niciodată egale cu ale acestuia, chiar și în cazul în care îmbinările sudate au fost supuse tratamentelor termice.

Dintre cele trei materiale de adaos elaborate în cadrul ICSITPSC și experimentate, electrodul cu inimă din fontă cu grafit nodular aliat cu 5% Ni și învelit prin imersionare a dat rezultatele cele mai slabe.

Din tabelul 5.10 reiese că valoarea rezistenței la rupere și a alungirii, la epruvetele în stare brută după sudare; scad cu 4,4%, respectiv cu 62%, la sudarea cu flacără, cu 21% respectiv 82% la sudarea cu arc electric cu electrozi cu inimă din fontă nodulară cu 5% Ni înveliți prin imersionare și cu cca 9% respectiv 71% la sudarea cu arc electric cu electrozi tubulari.

Obținerea unor rezultate mai slabe (tabelul 5.11), la cele două procedee de sudare cu arc electric, față de sudarea cu flacără este justificată de prezența cementitei, în cantități ceva mai mari în zona de influență termică și în materialul depus prin sudare la aceste procedee. Procedeele de sudare cu flacără oxiacetilenică asigură viteze de răcire mai mici ale îmbinării sudate, datorită încălzirii unei zone mai întinse din

materialul de bază.

Odată cu aplicarea tratamentului termic de feritizare rezistența la rupere și la curgere se uniformizează la cele trei procedee de sudare. În comparație cu epruvetele netratate termic, alungirea crește în proporție mare.

Rezultatele mai slabe la îmbinările sudate față de materialul de bază, după tratamentul termic de recoacere pentru feritizare, sînt justificate de prezența cementitei terțiare amplasată la granița între cristalele de ferită.

După tratamentul termic de normalizare, rezistența la rupere și la curgere cresc față de reziliență, care scade la valori subunitare.

După cum se vede în tabelul 5.12, nici după tratamentul termic de normalizare, caracteristicile fizico-mecanice ale îmbinărilor sudate nu le egalează pe ale materialului de bază.

6. Aplicații industriale

Rezultatele cercetărilor întreprinse referitoare la sudarea fontei au fost aplicate în special la lucrările de remaniere prin sudare a defectelor de turnare la piesele din fontă din producția curentă a întreprinderii de autocamioane Brașov. În prima fază s-a folosit metoda de remaniere prin sudare la rece numai la piesele din fontă cu grafit nodular, după care această tehnică a fost extinsă la toate tipurile de fontă elaborată în cadrul întreprinderii mai sus menționată.

Lucrări de remaniere prin sudare în special prin metoda de sudare la cald s-au mai efectuat la o serie de piese din fontă cu grafit nodular pentru locomotiva electrică, locomotivă care se execută în mod curent la Intreprinderea Electroputere Craiova. De asemenea remanieri prin sudare la cald s-au executat și la o serie de piese din fontă cu grafit lamelar în special la carterele de motocompresoare din producția de piese turnate la Intreprinderea Timpuri Noi București. În sfîrșit remanieri prin sudare la rece și la cald s-au mai executat și la o foarte mare și variată gamă din fonte modificate din comenzile și producția industrială ICSITPSC, cum sînt batiuri de strunguri de

Caracteristicile fizico-mecanice ale îmbinărilor sudate la cald în stare brută după sudare

Tabelul 5.10

Nr. crt.	Starea fontei	Incercări de tracțiune			Zona ruperii
		σ_r daN/mm ²	σ_c daN/mm ²	δ_5 %	
1	Material de bază	45,90	31,20	4,10	MDB
	"	46,00	30,40	4,30	ZIT
	"	44,50	29,90	5,20	ZIT
	Media	45,46	30,16	4,53	—
2	Sudare cu flacără cu vergele cu 5% Ni	43,90	38,50	1,80	ZIT
	"	43,00	37,40	1,60	ZIT
	"	43,20	38,70	1,40	ZIT
	Media	43,36	38,20	1,60	—
3	Sudare manuală cu arc electric cu electrozi din f.g.n cu 5% Ni.	38,10	35,60	0,90	ZIT
	"	37,60	35,20	0,80	ZIT
	"	38,50	36,40	0,60	ZIT
	Media	38,06	35,73	0,76	—
4	Sudare cu electrozi tubulari ICSITPSC	41,30	30,20	1,20	ZIT
	"	41,50	30,40	1,00	ZIT
	"	41,50	30,90	1,40	ZIT
	Media	41,43	30,50	1,20	—

Caracteristicile fizico-mecanice ale îmbinărilor sudate la cald după tratamentul termic de revenire pentru feritizare

Tabelul 5.11

Nr. crt.	Starea fontei	Incercări de tracțiune			Zona ruperii
		σ_r daN/mm ²	σ_c daN/mm ²	δ_5 %	
1	Material de bază	38,00	25,00	11,00	ZIT
	"	38,20	25,10	10,80	ZIT
	"	38,40	24,90	12,00	ZIT
	Media	38,20	25,00	11,26	—
2	Sudare cu flacără cu vergele din f.g.n cu 5% Ni.	37,60	30,50	8,20	ZIT
	"	37,50	29,80	7,90	ZIT
	"	37,90	31,60	8,50	ZIT
	Media	37,66	30,63	8,20	—
3	Sudare cu arc cu electrozi cu inimă din f.g.n cu 5% Ni	36,60	29,60	6,90	ZIT
	"	35,30	28,80	8,80	ZIT
	"	36,50	28,20	7,50	ZIT
	Media	36,13	28,86	7,73	—
4	Sudare cu electrozi tubulari ICSITPSC	37,60	25,10	8,10	ZIT
	"	37,20	26,50	8,40	ZIT
	"	37,40	25,40	7,90	ZIT
	Media	37,40	25,66	8,13	—

Caracteristicile fizico-mecanice ale îmbinărilor sudate la cald după tratamentul termic de normalizare.

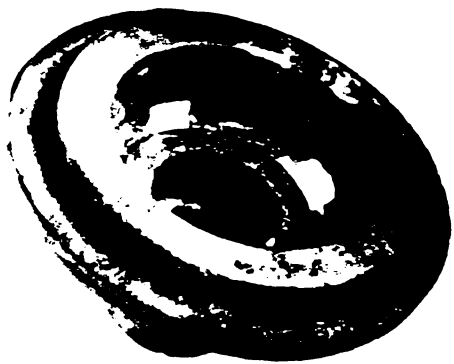
Tabelul 5.12

Nr. crt.	Starea fontei	Incercări de tracțiune			Zona ruperii
		$\bar{\sigma}_r$ daN/mm ²	$\bar{\sigma}_c$ daN/mm ²	δ_5 %	
1	Material de bază	68,20	45,10	1,90	---
	-----"-----	69,00	46,40	2,40	---
	-----"-----	68,50	46,30	2,30	---
	Media	68,56	45,93	2,20	---
2	Sudare cu flacără cu vergele din f.g.n. cu 5% Ni.	65,20	42,10	0,90	ZIT
	-----"-----	67,20	41,50	1,90	ZIT
	-----"-----	66,50	40,90	0,90	ZIT
	Media	66,30	41,16	0,96	---
3	Sudare cu arc cu electrozi cu inimă din f.g.n. cu 5% Ni.	60,30	40,50	0,90	ZIT
	-----"-----	59,80	42,50	0,70	ZIT
	-----"-----	61,50	41,90	0,50	ZIT
	Media	60,53	41,63	0,70	---
4	Sudare cu electrozi tubulari.	66,30	42,50	0,80	ZIT
	-----"-----	67,50	41,20	0,80	ZIT
	-----"-----	66,80	40,80	0,90	ZIT
	Media	66,86	41,50	0,83	---

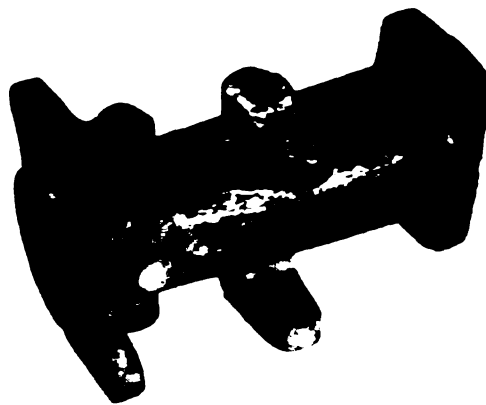
Caracteristicile fizico-mecanice ale îmbinărilor sudate la rece cu electrozi nesimilari MDB

Tabelul 5.13

Nr. crt.	Starea fontei	Incercări de tracțiune			Zona ruperii
		$\bar{\sigma}$ daN/mm ²	$\bar{\sigma}_c$ daN/mm ²	δ_5 %	
1	Material de bază	44,90	31,20	4,00	---
	-----"-----	45,30	30,25	4,25	---
	-----"-----	44,90	29,90	5,10	---
	Media	45,03	30,45	4,45	---
2	Electrod de Nichel	35,00	---	---	ZIT
	-----"-----	34,00	---	---	ZIT
	-----"-----	36,10	---	---	ZIT
	Media	35,03	---	---	---
3	Electrod de Nichel-fier	34,80	---	---	ZIT
	-----"-----	30,60	---	---	ZIT
	-----"-----	29,80	---	---	ZIT
	Media	31,73	---	---	---
4	Electrod de Nichel-cupru	25,40	---	---	ZIT
	-----"-----	20,80	---	---	ZIT
	-----"-----	26,50	---	---	ZIT
	Media	24,23	---	---	---



a



b



c



d

Fig.6.1. Semicarcasă diferențial (a); Flanșe intermediară (b); Săbot (c); pîlnie cîrlig remorcare (d)
Material de bază: Fgn 42-12.
Defecte: incluziuni zgură, retasuri ; fisuri
Procedee de remaniere: Sudare oxiacetilenică
Material de adaos: vergele Fgn cu 5% Ni, ϕ 8 mm
Temperatură de preîncălzire: 550°C

mare capacitate, saboți de frână din fontă cu grafit nodular cu 5% Si pentru vagoane de cale ferată, suportți din fontă austenitică cu grafit nodular pentru alternatorul turbinei de 330 MW, capete pentru hidromotoare de moment mic pentru Intreprinderea Steaua Roșie București și multe altele.

6.1. Exemple de piese reprezentative turnate din fontă cu grafit nodular remaniate prin sudare la cald și la rece

Cele mai multe piese turnate din fontă cu grafit nodular au fost cele din producția curentă a întreprinderii de autocamioane Brașor, Piese turnate supuse remanierilor prin sudare la cald au fost în așa fel alese încât să cuprindă aproape întreaga gamă de fontă cu grafit nodular și anume din F.g.n 42-12, F.g.n 45-5, F.g.n.60-2 și F.g.n.70-2. Dintre piesele cele mai reprezentative care prezintă cele mai multe defecte de turnare au fost materiale: semicarcasă diferențială, flanșe intermediară, sabot, pîlnie cîrlig remorcare, carcasă stînga MAN, suport case-tă direcție, carcasă posterioară punte spate, flanșe intermediară etc., ilustrate în fotografiile din figurile de mai jos.

6.2. Considerațiuni economice

Tehnologiile elaborate de autor pentru remanierea prin sudare la cald și la rece a pieselor din fontă cu grafit nodular cu defecte de turnare prezentate în cadrul lucrării își găsesc o largă aplicabilitate industrială, eficiența economică fiind evidentă prin reintroducerea în circuitul industrial al unor importante cantități de piese turnate și de aici economii de energie, combustibili și manoperă.

Principalul obiectiv al tehnologiilor de remaniere prin sudare a pieselor din fontă cu grafit nodular cu defecte de turnare este mărirea " coeficientului de scoatere ", coeficient care reprezintă cantitatea de piese bune turnate dintr-o tonă de metal lichid.

Piesele cu defecte de turnare, maselotele și rețelele de turnare micșorează coeficientul de scoatere și ca urmare, principala cale de îmbunătățire a acestui important indicator, îi revine remanierii prin sudare a pieselor rebutate.

Aprecierea eficienței economice pornește de la prezentarea dinamicii producției de piese turnate din fontă cu grafit nodular și determinarea pe această bază a cantităților de piese rebut remaniabile prin sudare.

În tabelul 6.1. se prezintă producția de piese din fontă cu grafit nodular atât la nivel național cât și în cadrul M.I.C.M., pe perioada 1976...1980, precum și producția planificată până în anul 1985. După cum se vede în tabelul 6.1 producția de piese din fontă cu grafit nodular a crescut de la an la an atât în cadrul MICM cât și pe Economia Națională, plecând de la 19.500 mii tone respectiv 22.000 mii tone în anul 1976, la 29.000 mii tone respectiv 35.500 mii tone în anul 1980.

În perioada 1981...1985 se prevede o creștere progresivă a producției de piese turnate din fontă cu grafit nodular în cadrul M.I.C.M. și pe Economia Națională, plecând de la 30.000 mii tone, respectiv 39.000 mii tone în anul 1981, până la 36.000 mii tone - respectiv 44.000 mii tone în anul 1985.

De-a lungul anilor 1976...1980, coeficientul de scoatere a variat între 73 % (în anii 1977 și 1978), 74 % (în anul 1979) și de 75 % în anii 1976 și se estimează ca și în cadrul anu-

lui 1980 să fie tot de 75 %.

Din datele prezentate în tabelul 6.1 se remarcă faptul că cantitățile de piese remaniabile, variază pentru MICM și Economia Națională la valori foarte mari.

La un procent de numai 2 % rebut, cantitatea de astfel de piese se ridică la valori de 533.800 tone în cadrul MICM și de 798.000 tone pe Economia Națională în perioada 1976...1980.

Valoarea acestor piese, considerînd un preț mediu de 25.000 lei/tonă, piese turnate, se ridică la următoarele cifre:

- 533.800 tone x 25.000 lei = 13.345.000.000 lei
- 798.000 tone x 25.000 lei = 19.950.000.000 lei

În perioada 1981 ...1985, tot la un procent de 2 % piese rebut se estimează următoarele valori pentru M.I.C.M. și Economia Națională.

- 825.000 tone x 25.000 lei = 20.625.000.000 lei
- 1.040.000 tone x 25.000 lei = 26.000.000.000 lei

În cadrul Întreprinderii de Autocamioane - Brașov, întreprindere în cadrul căreia autorul a introdus tehnologiile de remaniere a pieselor turnate cu defecte, în perioada 1976...1980 s-a realizat un coeficient de scoatere de 75 % și un procent de rebut de pînă la 2 %.

În tabelul 6.2 - este prezentată dinamica creșterii pieselor din fontă cu grafit nodular la întreprinderea de Autocamioane - Brașov, cu cantitățile de piese cu defecte de turnare în perioada 1976...1980 și cu valoarea pieselor remanente prin sudare la rece și la cald, precum și planificarea pînă în anul 1985, cu valorile pieselor remaniabile prin sudare.

Valoarea pieselor remaniabile prin sudare a crescut de la an la an atîngînd o valoare de peste 2.000.000 lei pînă la nivelul anului 1980.

Se prevede ca în anii următori remanierea prin sudare la întreprinderea de Autocamioane Brașov să crească la peste 2.000.000 lei anual.

Ponderea de aplicare a tehnologiilor prezentate în lucrare este în continuă creștere și la alte întreprinderi din cadrul M.I.C.M., - implementarea acestora făcîndu-se deasemenea și prin organizarea tehnologică a atelierelor de remaniere prin su-

Tabelul 6.1.

Producția de piese turnate din fontă cu grafit nodular din anul 1976... 1980 și planificate pînă în anul 1985

Nr. crt.	Perioada	Producția		Coef. de scoatere %	Fon. re. folosibilă %	Coef. de rebut %	Rebut remaniabil	
		M.I.C.M. mii tone	Ec. Nat. mii tone				M.I.C.M. mii tone	Ec. Nat. mii tone
1	1976	19.500	22.000	75	25	2	97,50	110,00
2	1977	26.500	29.000	73	27	2	143,10	156,50
3	1978	26.500	28.000	73	27	2	143,10	151,20
4	1979	28.500	39.000	74	26	2	148,20	202,80
5	1980	29.000	35.500	75	25	2	145,00	177,50
Total		112.455	153.500				533,80	798,00
<i>Planificat pînă în anul 1985</i>								
6	1981	30.000	39.000	75	25	2	150,00	195,00
7	1982	31.500	40.000	75	25	2	157,50	200,00
8	1983	32.500	42.000	75	25	2	162,50	210,00
9	1984	35.000	43.000	75	25	2	175,00	215,00
10	1985	36.000	44.000	75	25	2	180,00	220,00
Total		165.000	208.000				825,00	1040,00

Tabelul 6.2.

Dinamica creșterii pieselor din fontă cu grafit nodular la Întreprinderea de Autocamioane Brașov și planificarea pînă în anul 1985.

Nr. crt.	Perioada	Prod. de piese turnate tone	Coef. de scoatere %	Fontă re. folosibilă %	Coef. de rebut %	Rebut remaniabil tone	Val. piese remaniabile lei
2.	1977	16.400	75	25	2	82,00	300 000
3.	1978	16.800	75	25	2	84,00	500 000
4.	1979	17.000	75	25	2	85,00	700 000
5.	1980	17.500	75	25	2	87,50	400 000
Total		83 700				418,50	2 100 000
<i>Planificat pînă în anul 1985</i>							
1.	1981	18.000	75	25	2	90,00	2 250 000
2.	1982	18.500	75	25	2	92,50	2 312 500
3.	1983	19.000	75	25	2	95,00	2 375 000
4.	1984	19.500	75	25	2	97,50	2 437 000
5.	1985	20.000	75	25	2	100,00	2 500 000
Total		95.000				475,00	11.674 999

dare la noile obiective de investiție (proiecte executate de autor) cum sînt I.M.Roman (extinderea și modernizare secția de turnătorie), CUG - Cluj, UG - Iași, etc.

Creșterea eficienței economice a tehnologiilor prezentate prin extinderea acestora la toate turnătoriile din fontă cu grafit nodular din țara noastră depinde în cea mai mare măsură de receptibilitatea acestora la introducerea progresului tehnic.

Un alt aspect important al eficienței rezultatelor prezentei lucrări îl reprezintă eliminarea importului unor importante cantități de materiale de adaos, prin folosirea materialelor elaborate și propuse de autor.

Considerînd că remaniierilor prin sudare la cald îi revin cca.20 % din cantitatea de piese cu defecte de turnare, remaniabile la nivelul anului 1985 pe economia națională, volumul acestora se ridică la cifra de :

$$- 825.000 \text{ tone} \times 0,20 = 165.000 \text{ tone}$$

Dacă numai 0,1 % reprezintă greutatea metalului depus prin sudare, pentru remanierea defectelor de turnare pe Economia Națională, rezultă un import de vergele și electrozi tubulari de :

$$- 165.000 \text{ tone} \times 0,1 \% = 16.500 \text{ tone, material de adaos.}$$

Din cantitatea de 16.500 tone material de adaos, 70 % îl reprezintă cantitatea de vergele și fluxuri pentru sudare cu flacăară, și 30 % electrozi tubulari pentru sudarea mecanizată, adică :

$$- 16.500 \times 70 \% = 11.550 \text{ tone vergele ;}$$

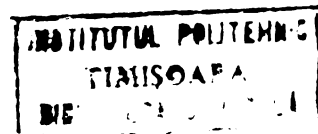
$$- 16.500 \times 30 \% = 4.950 \text{ tone electrozi tubulari.}$$

Prețul unei tone de vergele din fontă cu grafit nodular import este de 15.000 lei, iar a unei tone de electrozi tubulari de 30.000 lei. Economii de lei valută pentru cele două tipuri de material de adaos se ridică la următoarele valori :

$$- 11.550 \text{ tone} \times 15.000 \text{ lei} = 17.325.000 \text{ lei}$$

$$- 4.950 \text{ tone} \times 30.000 \text{ lei} = 14.850.000 \text{ lei}$$

././.



Un alt exemplu practic de eliminare de import îl reprezintă reparațiile prin sudare al pieselor deteriorate în timpul procesului de producție de la mașinile aduse din impor

După tehnologiile de sudare la rece propuse de autor, s-au reparat prin sudare lo buc. batiuri la presare a discurilor fonografice de la I.I.S.Electr ecord - București.

Valoarea importului Vest a acestor piese ar fi fost de 450.000 lei valută.

Cele prezentate mai sus dovedesc aplicabilitatea economică vastă și eficiență sporită a rezultatelor obținute , concretizate în toate cazurile prin importante economii de metal și energie.

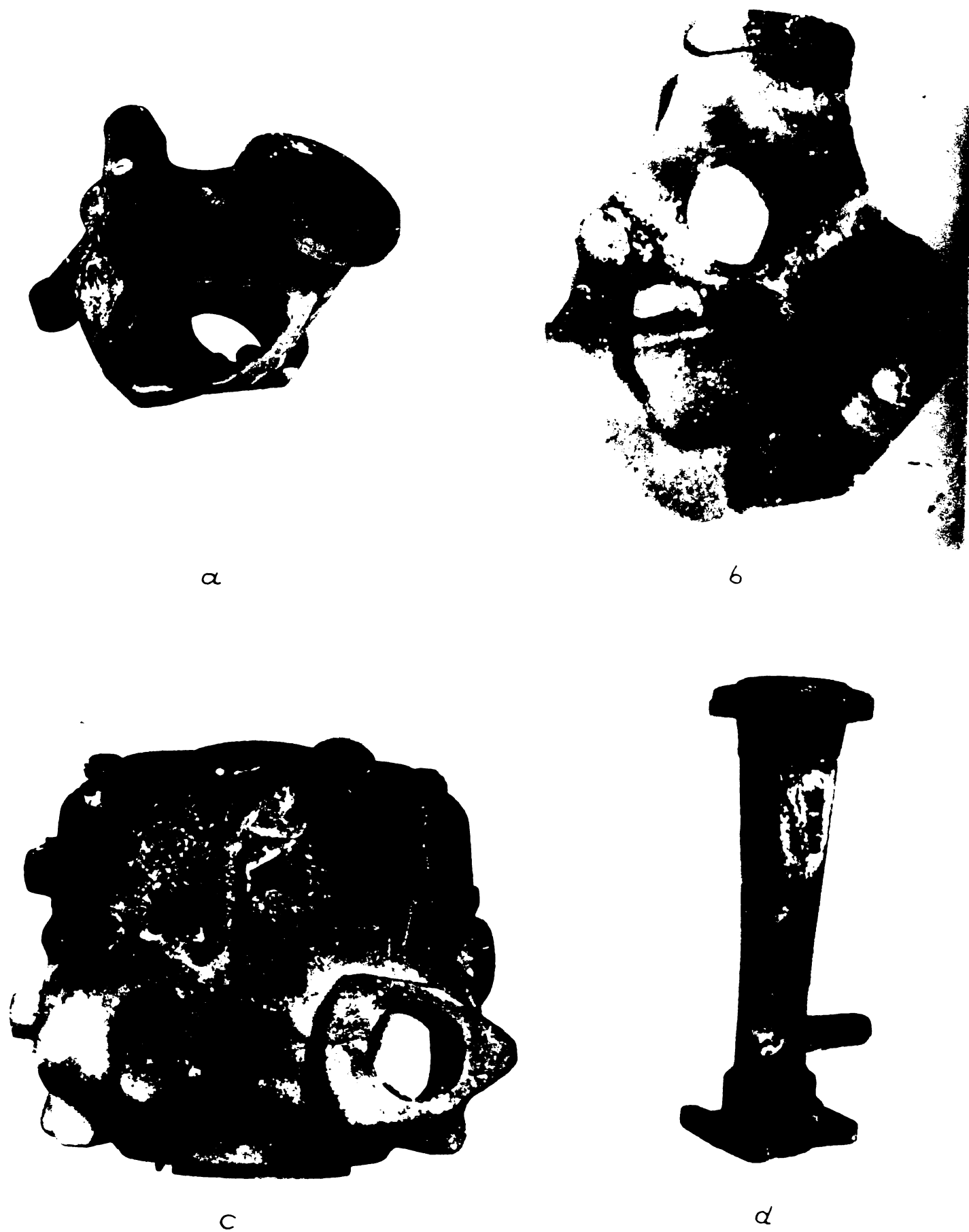


Fig.6.2. Carcasă stînga (a); Suport casetă direcție (b)
 Carcasă posterioară punte spate (c), flanșe interioară.

Material de bază: Fgn 42-12

Defecte: zone poroase, incluziuni de zgură, perete străpuns, fisuri.

Procedee de remaniere: flacără oxiacetilenică

Material de adaos: vergele din f.g.n. cu 5% Ni

Temperatură de preîncălzire: 550°C



a



b



c



d

Fig.6.3. Element de arbore cotit pentru Diesel Roman Fgn 45-5(a); arbore cotit pentru compresorul camion Fgn 60-2 (b); arbore cotit Lacia 1500 Fgn 70-2(c); carcasă Fgn 42-2 (d).
 Defecte: incluziuni amestec formare; zonă poroasă pori și lipsă material: zone poroase
 Procedeu de remaniere: flacăra oxiacetilenică
 Material de adaos: vergele f.g.n. cu 5% Ni
 Temperatură de preîncălzire: 550^oC



Fig.6.4. Punte port perie
 Intreprinderea: Electroputere Craiova
 Material: Fgn 42-12
 Defecte: zonă poroasă și incluziuni de amestec de
 turnare
 Proc.remaniere: Flacără oxiacetilenică
 Material de adaos: Vergea Fgn Cu 5% Ni $\phi 8$ mm
 Temperatură de preîncălzire: 650°C



Fig.6.5. Saboți de frână pentru vagoane CFR și tramvai
 Intreprinderea: ICSITPSC
 Material: Fgn cu siliciu
 Defecte: retasură
 Procedeu de remaniere: Electrică manuală cu
 electrozi Fgn cu 5% Ni înveliți prin imersianare
 Temperatura de preîncălzire: 650°C

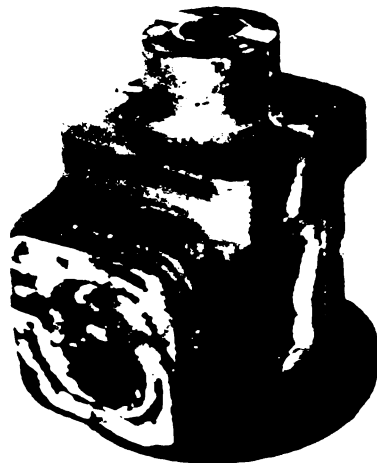


Fig.6.6. Corp hidromotor de moment mic
 Intreprinderea: ICSITPSC pentru Intreprinderea
 Steaua Roșie
 Material: Fgn 45-4
 Procedeu de remaniere: electric manual
 Material de adaos: sîrmă tubulară ICSITPSC
 ϕ 2,4 mm
 Temperatura de preîncălzire: 550°C

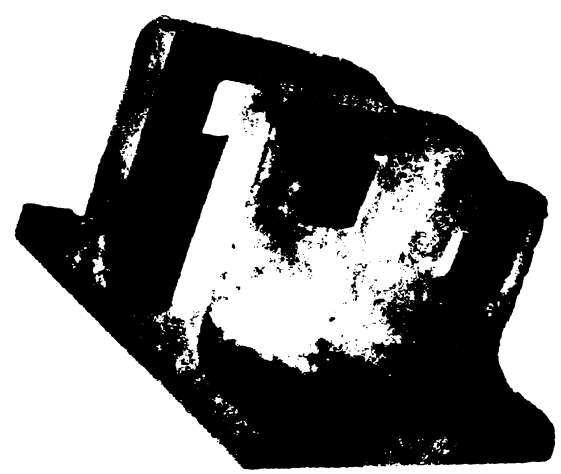
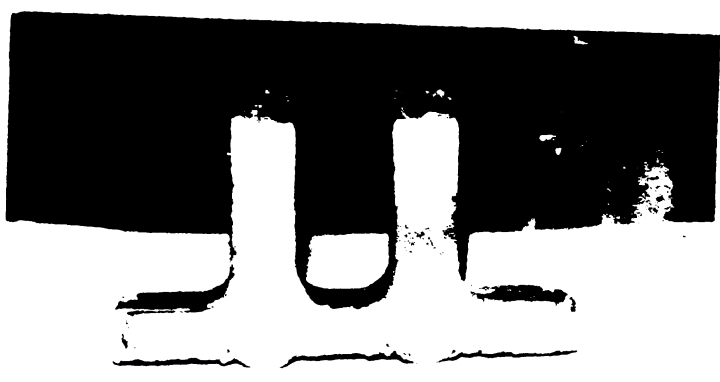


Fig.6.7. Suport mic și suport mare pentru alternatorul turbinei de 330 MW
 Intreprinderea: ICSITPSC pentru IMG București
 Material: Fgn austenitică cu 6% Mn și 12% Ni
 Nodumag
 Defecte: retasuri
 Procedeu de remaniere: Electric manual
 Material de adaos: electrozi Fgn austenitici de tip nodumag ϕ 6 mm
 Temperatura de preîncălzire: 550°C

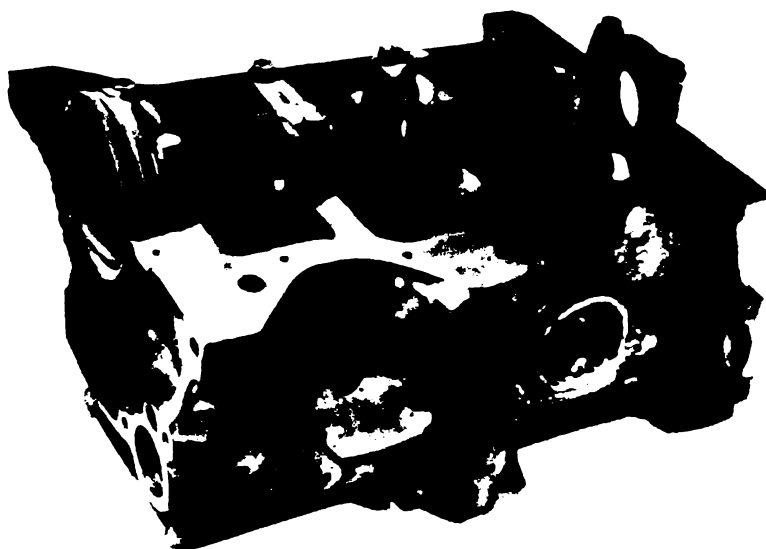


Fig.6.8. Blocul motorului de la autoturismul Dacia 1300
 Intreprinderea: I.A.Pitești, I.A.Brașov
 Material: Fc 25
 Defect: par mare în zona filtrului de ulei
 Procedeu de remaniere: Flacără oxiacetilenică
 Material de adaos: Vergea Fgn cu 5% Ni ϕ 6 mm
 Temperatura de preîncălzire: 650°C



Fig.6.9. Carter LDE motocompresor
 Intreprinderea: Timpuri Noi București
 Material: Fc 25
 Defect: Lipsă material ramă etanșare
 Procedeu de remaniere: flacără oxiacetilenică
 Material de adaos: Vergea Fgn cu 5% Ni ϕ 8 mm
 Temperatura de preîncălzire: 650°C

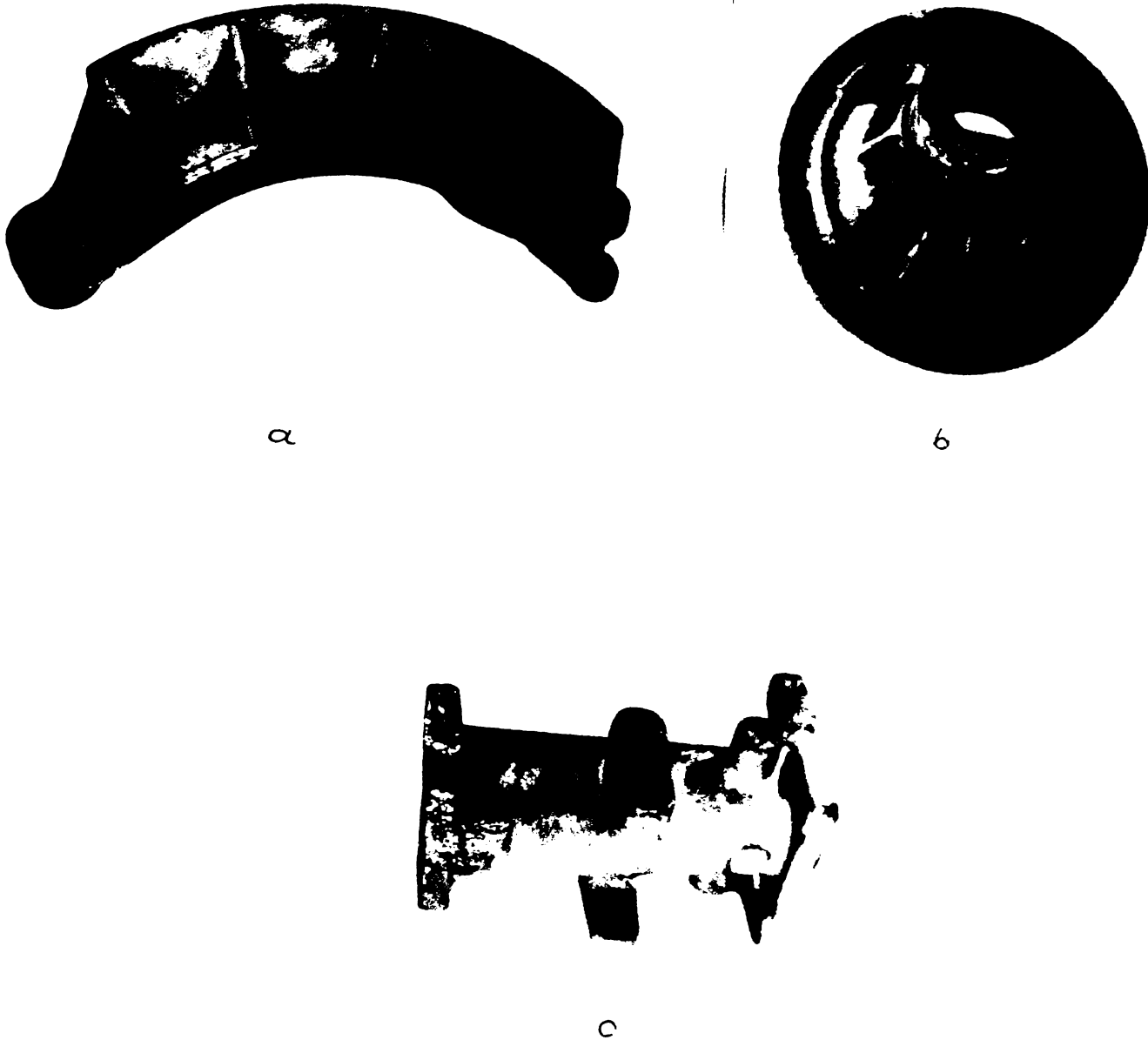


Fig.6.10. Sabot frînă (a); Semicarcasă diferențial (b)
flanșe intermediară (c)
Material de bază: Fgn 42-12
Defecte: zonă poroasă, retasuri, pori
Procedeu de remaniere: Sudură electrică cu
electrozi înveliți
Material de adaos: electrozi de Ni (97%);
Ni-Fe; Ni-Cu; ϕ 3,25 mm

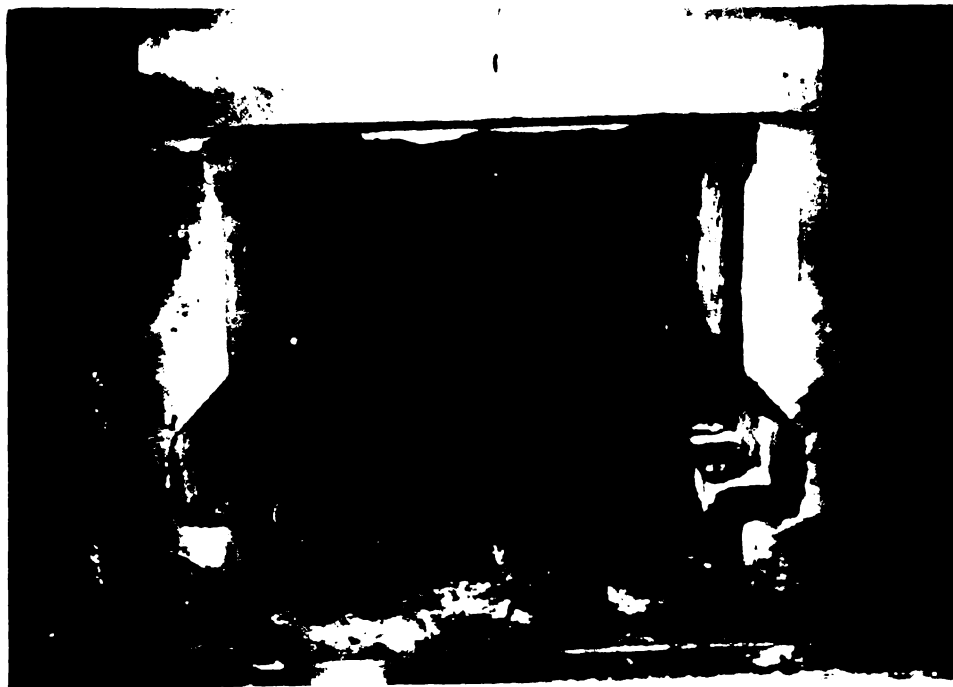


Fig.6.11. Batiu superior. Presa de extrudat discuri
 Electrocord București
 Material: Fgn 45-5
 Defecte: Uzură la fălci, fisuri în zona de
 solicitare maximă
 Procedeu de remaniere: Sudură manuală cu arc
 electric
 Reparație prin bolțuri metalice și eclise de
 oțel
 Material de adaos: electrozi Ni-Fe

7. Concluzii finale

7.1. In cadrul lucrărilor de cercetare privind sudarea fontelor cu grafit nodular s-au definitivat tehnologiile de elaborare a următoarelor materiale originale de adaos pentru sudarea și remanierea prin sudare la cald a pieselor cu defecte de turnare

- vergele și electrozi cu inimă din f.g.n înveliți pentru sudarea cu flacără și arc electric a pentru piese din f.g.n nealiată;

- vergele și electrozi cu inimă din f.g.n. înveliți pentru sudarea manuală cu flacără și arc electric pentru piese din f.g.n aliate cu 5% Si;

- vergele și electrozi cu inimă din f.g.n înveliți pentru sudarea manuală cu flacără și arc electric pentru piese turnate din f.g.n. austenitică de tip Nodumag (10...12% Ni și 5 ... 6% Mn);

- electrod continuu tubular pentru sudarea semiautomată cu sau fără protecție de gaze de protecție sau sub flux, brevet de invenție Nr.69.162 din 14.06.1978.

7.2. In vederea eliminării eventualelor urme^{de} cementita și a altor constituenți de călire din vergelele din f.g.n turnate, acestea se supun tratamentului termic de feritizare.

7.3. Fluxurile pentru sudarea cu flacără oxiacetilenică, elaborate de către ICSITPSC București, s-au dovedit a fi foarte bune, similare celor din import.

7.4. Pasta innizantă, de protecție și de aliere depusă prin imersionare pe electrozii pentru sudarea manuală cu arc electric s-a dovedit a fi, de asemenea, foarte bună, arcul electric fiind stabil, iar baia de metal topit și cordonul depus fiind bine protejat de acțiunea dăunătoare a aerului atmosferic.

7.5. In cadrul lucrărilor de remaniere prin sudare la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular cu defecte de turnare s-a stabilit ca vitezele de preîncălzire și de răcire după sudare, să fie cuprinse între 20 și 80°C/oră în funcție de configurația și complexitatea acestora.

7.6. În vederea determinării temperaturii optime de preîncălzire a pieselor din grafit nodular, s-a conceput o epruvetă și o instalație experimentală cu ajutorul căreia s-a determinat cantitatea de cementită din M.D. și ZIT.

7.7. Din studiul macro și microstructurile prelevate din epruvetele sudate la cald, la temperaturi de preîncălzire situate sub 300°C , conținutul de cementită este de peste 30%, fapt care conduce la durități excesive și ca urmare și la favorizarea formării fisurilor.

În domeniul de temperaturi cuprins între 400 și 650°C vitezele de răcire a băii de metal depus și a zonei de influență termică scad progresiv pînă la sub 1% cementită.

7.8. Micșorarea vitezei de răcire în intervalul de temperaturi cuprins între 1300° și temperatura de transformare eutectoidă, ca urmare a creșterii gradului de preîncălzire, face ca conținutul de cementită din îmbinările sudate (apreciat conform microgرافیilor etalon din STAS 6905-76) să scadă după cum urmează: peste 30% pînă la 100% la rece; între 20 și 30% la preîncălzirea de 300°C ; de la 5 la 15% la preîncălziri de 400°C ; pînă la 5% la preîncălziri de 500°C ; pînă la 3% la preîncălziri de 550°C și sub 1% la preîncălzirea de 650°C .

7.9. Din încercările la rupere prin tracțiune a epruvetelor sudate la cald și a cantității de cementită din îmbinările sudate, s-a considerat ca temperatura de preîncălzire în vederea remanierii la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular cu defecte de turnare să se facă în condițiile următoare:

- 500°C pentru piesele remaniabile la cald cărora urmează să li se aplice un tratament termic ulterior (T.T. feritizare, normalizare, etc.);

- 550°C pentru piesele remaniabile la cald cu defecte de turnare mici care nu necesită după sudare aplicarea tratamentului termic de detensionare;

- 600°C pentru piesele turnate remaniabile la cald cu defecte de turnare mari, cărora urmează să li se aplice tratamentul termic de detensionare.

7.10. Lucrările de sudare sau remaniere la cald și la rece trebuie să se execute în ateliere special amenajate, ferite de curenți de aer, cu o ventilație și iluminare bună, dotate cu utilajele și sculele necesare executării unor astfel de lucrări.

7.11. În vederea remanierii la cald și la rece defectele de turnare trebuie îndepărtate pe cale mecanică sau prin topire cu arc cu electrozi speciali, avându-se în vedere evitarea unor cavități nejustificat de mari.

7.12. Remanierea prin sudare a pieselor din fontă se execută în cuptoare din cărămidă refractară construite după gabaritul acestora.

7.13. Preîncălzirea în vederea sudării și răcirea după sudură se execută după diagrame dinainte stabilite în funcție de structura și complexitatea pieselor. În cadrul acestor operații se aplică viteze de încălzire respectiv răcire cuprinse între 20 și 80°C/oră.

7.14. În cadrul lucrărilor de remaniere prin sudare la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular cu defecte de turnare, materialele de adaos elaborate de ICSITPSC (vergele pentru sudarea manuală cu flacără oxiacetilenică, electrozi cu inimă din f.g.n. înveliți prin imersionare și electrozi tubulari) s-au comportat foarte bine, în îmbinări menținându-se separările de grafit nodulare, bine conturate însă de dimensiuni mai mici, și structuri similare materialului de bază ferită și perlită, cu puțină cementită.

7.15. În timpul procesului de sudare cu flacără oxiacetilenică, vergeaua materialului de adaos trebuie să se topească în baia de metal topit și nu deasupra acesteia. Conul luminos al flacării oxiacetilenice (zona cu cea mai mare temperatură, aprox. 3000°C) trebuie să fie situat la minimum 10 mm de acesta, în scopul evitării arderii magneziului, elementul de nodulizare al grafitului, și ca urmare a evitării obținerii în îmbinarea sudată a unor separări de grafit degenerat.

7.16. La sudarea fontelor cu grafit nodular, trebuie să se aibe în vedere faptul, valabil de altfel pentru toate procedeele de sudare, de a nu se lucra cu băi de metal topit prea adânci, cînd fenomenul de supraîncălzire al acesteia poate să crească și să conducă la arderea magneziului, și la obținerea în metalul topit a unui grafit degenerat care conduce la obținerea unor caracteristici fizico-mecanice mult prea scăzute în comparație cu materialul de bază.

7.17. In cazul sudării cu flacără oxiacetilenică, aceasta trebuie să aibă un caracter neutru sau ușor carburant .

7.18. La sudarea cu arc electric cu electrozi cu inimă din f.g.n. austenitică cu 12% Ni și 6% Mn, precum și la cei cu inimă din f.g.n. aliată cu 5% Si, cantitatea de cementită din M.D. și din ZIT este mai mare decît în cazul f.g.n. nealiată.

7.19. Electrozii cu inimă din f.g.n. pentru sudarea manuală cu arc electric, înveliți prin imersionare, sînt mai puțin folosiți la lucrările de sudare respectiv remanieri prin sudare datorită, faptului că aceștia sînt fabricați centralizat în întreprinderi specializate, datorită ciclului mai greoi de execuție.

7.20. Electrozii sintetici tubulari executați de către ICSITPSC în colaborare cu ICSIM Timișoara au dat rezultate foarte bune la lucrările de remaniere prin procedeul de sudare semiautomată.

7.21. Din punctul de vedere al structurii masei metalice de bază a îmbinărilor sudate cu materialele de adaos elaborate de ICSITPSC în stare brută după sudare, cel mai mic conținut de cementită, la aceleași temperaturi de preîncălzire, au fost obținute cu vergelele aliate cu 5% Ni, folosind procedeul de sudare cu flacără.

7.22. Materialele de adaos, vergele, electrozi cu inimă din f.g.n. și electrozi tubulari, se comportă foarte bine la tratamentul termic de feritizare și normalizare.

7.23. Materialele de adaos elaborate de către ICSITPSC nu pot fi folosite la lucrări de remaniere prin sudare a defectelor de turnare plasate în zonele care urmează a fi supuse tratamentelor termice de călire, revenire (arbori cotiți) datorită pericolului apariției cementitei în cantități neadmisibile.

7.24. Remanierea prin sudare a arborilor cotiți din fontă cu grafit nodular se poate face numai prin procedeul de încărcare cu flacără oxiacetilenică și pulberi metalice.

7.25. Materialele de adaos elaborate de către ICSITPSC, vergele și electrozi din fonte cu grafit nodular aliate (Fgn austenitică și Fgn aliată cu 5% Si) au dat rezultate bune la remanierea defectelor de turnare.

7.26. Materialele de adaos din fontă cu grafit nodular au dat rezultate foarte bune la remanierea prin sudare la cald a pieselor din fontă cu grafit lamelar (bloc motor Dacia 1300, bloc compresor), rezultând depuneri cu un conținut scăzut de cementită și ușor de prelucrat pe mașini unelte.

7.27. Remanierea prin sudare la cald a pieselor din fontă cu grafit nodular se poate executa și cu electrozi din oțel la defectele de turnare care se îndepărtează prin aplicarea unui singur strat de sudură.

7.28. Cele mai bune rezultate la sudarea la rece a defectelor de turnare a pieselor cu grafit nodular s-au dovedit a fi în ordine, în condițiile aplicării unei tehnologii corecte de sudare, electrozii de nichel, nichel-fier și nichel-cupru.

7.29. În stare brută după sudare, caracteristicile fizico-mecanice ale îmbinărilor sudate la cald au fost foarte apropiate de cele ale materialului de bază cu excepția alungirii care este mult mai mică decât a fontelor de referință.

7.30. După aplicarea tratamentelor termice de feritizare și normalizare, caracteristicile fizico-mecanice ale îmbinărilor sudate se apropie foarte mult de cele ale materialului de bază.

7.31. Cele mai bune rezultate fizico-mecanice în cadrul sudării la rece s-au obținut cu electrozii de nichel urmat de cei din nichel-fier și de cei din nichel-cupru.

.

B I B L I O G R A F I E

=====

1. Amiet A. - Untersuchungsergebnisse über das Schweißen von Kugelgraphiteisen
in: Techn.Inform.Armat no.2-3, 1969
2. Asida Tosinki - Sudarea cu plasmă a țevilor din fontă cu grafit nodular
în: Welding techn. nr.6, 1973
3. Broquet B. - Soudage des fontes non alliées
in: Fonderie 311, 04.1972
4. Barr L.C. - Cast iron can be repaired welded Satisfactorily.
in: Welding Engineer 48, 1963, Sept.
5. Bates P.C. - Welding nodular cast iron
in: Metal Progres, 76, 1959, nov.
6. Bennett G. și Barr J. - Gas or arc? Two experts suggest gas slightly better for cast iron repairs
in: Canadian Metalworking , aug.1960
7. Bommel B. - Fils électrodes fourrés (fils tubulaires) et leur utilisation pratique
in: Zeitschrift für Schweißtechnik nr.9, 1972
8. Bates, R.C. și Morely F.J - Welding Nodular Iron without Post-weld Annealing
in: Welding Jul 40 1961
9. Bahrani A.S. și Grossland B. - Explosives and their use in engineering, part II
in: Metals and Materials (Anglia) mars, 1968
10. Cox.G.J. - Entwicklung von Besonderen Mechanischen eigenschaften in Gusseinwerkstoffen mit
in: Giesserei nr.6, 1968
11. Carriere S.M. und Wolf R.V. - Solid phase welding of nodular iron to low carbon steel
in: Welding Journal sept.1965

12. Cabelka J. - Les aspects physiques et metallurgiques du soudage
In: Soudage et techniques connexes nr.11-12, 1969
13. Carlson, R.S.Linsc. - Explosive Welding bonds metals, large V.D. și Wittmann, R.H. arcas
In: Materials Engineering (SUA) Jul.1968.
14. Comité international des associations Techniques de Fonderie - Procèdes courants de soudage des fontes a graphite spheroidal
In: Recomandări adoptate la Padova 1973
15. Dumitrescu T., Nicolaid M., Iliescu P. - Studiu asupra comportării fontelor cu grafit nodular la temperaturi înalte.
In: Studii și cercetări de mecanică aplicată Acad.R.S.R. nr.1-2, 1955
16. Drimer D. - Bazele optimizării proceselor de sudare
(Curs nepublicat)
17. Dumitrescu T. - Recherches concernant l'influence du silicium sur les propriétés mécaniques des fontes à graphite spheroidal.
In: Revue de Metalurgie, dec.1969
18. Datta G.L. - Progres in welding of spheroidal-graphite cast iron
In: Indian Eng nr.1-1970
19. Datta G.L. - Progres in welding of spheroidal-graphite cast iron
In: Indian Eng. nr.3; 1970
20. Dethioux M. - Examen de quelques procédés de réparation de pièces de fonte
In: Revue de la Soudure nr.2, 1971
21. Egan, T.E. - Comparative growth of gray iron us nodular iron
In: Foundry, vol.78, dec.1950
22. Eutectic Welding Alloys Company - A Mhetod of welding Heavy Iron Castings.
In: Engineering 1964, 12, oct.

23. Fröberg, S.A. - Soudage a l'arc par courts-circuits succesifs- de la fonte à graphite sphéroïdal. Essais réalisés aux usines SKF a Katrineholm.
In: Rev.Soudure nr.4, 1968
24. Greavu N. - Sudarea și remanierea prin sudare a pieselor turnate din fontă cu grafit nodular, comanda 409, 1976, ICTSC București
25. Greavu N. - Instrucțiuni tehnologice pentru remanierea prin sudare a defectelor de turnare pieselor din fontă cu grafit nodular.
In: c-da 409-5.06.1975, ICTSC
26. Gniass G. - Lösung Schweißtechnischer Probleme mit Hilfe der Stimulation von Schweißtemperaturzyklen TU. 17.1976, nr.3
27. Greavu N. S.A. - Procedeu de sudare a fontei cu grafit lamelar și nodular. Brevet 69162/
14.06.1978
28. Gerbeaux , H. - Evolution récente des modes opératoires dans le soudage et le cousage thermique des fontes.
In: Soudage et techn.Connexes Nr.1-2, 1971
29. Granjon, H. - Soudabilité des fontes à la lumière des diagrammes de transformation au refroidissement continu
In: Soudage et techniques convexes nr.1-2, 1971
30. Günter W. și Proschek, F. - Die Aluminothermische Schweissung
VEB, Halle - 1959
31. Hossu V. și Greavu N. - Elaborarea tehnologiei pentru remanierea prin sudare a pieselor din fontă pentru linia de carbonatare
C-da LUZ ICTCM București, 1967
32. Hummitzsch, W, Juretzko, G. - Das Schweißen von Gusseisen mit Rugel - graphit
In: Werkstatt und Betrieb 100 Jahr 1967, sept.6

33. Hummitzsch W,
Juretzko, G Das Schweissen von "Gusseisen mit
Kugel-graphit"
In: Schweisstecnnik nr.7-1968, Austria
34. Hummitzsch W,
Grossewordeman,
Juretzko G. Umhüllte, unlegierte Elektrode zum
Lichtbogenschweissen von Gusseisen.
Patent RFG nr.1292997/9.09.1965
35. Henry Wigin et
Company Limited Soudage des Aliages de Nickel Wiggin.
Puble. 3367 F. Edidion française
oct.1974.
36. Hosihara Manabu Automatizarea sudării fontei în CO₂.
In: Cast and Forg nr.9-1966
37. Heath. D.J. și
Thorneycroft D.R. Practical Aspects of Fine-Wire Welding of
Nickel Alloys
In: British welding jul. nr.11, 1964
38. L'Inst.Castalin +
Eutectic Application des procedes et produits
Xuperlife pour soudage des fontes.
Publ.1974
39. L'Inst.Castalin +
Eutectic Repertoire des applications du soudage
d'entretien preventif. Document nr.
31-00-1501
40. L'Inst.Castalin+
Eutectic Les electrodes continues Castodur
Doc.350-mo 1973
41. L'Inst.Castalin +
Eutectic Application de procedes et produits
Xuperlife pour le soudage des fontes
doc.350-6.2. 1974/mo
42. L'Inst.Castalin +
Eutectic Electrod Castalin 2-26 pour fontes
à chaud
In: doc.Castalin SA-1215-0709-2000
43. L'Inst.Castalin+
Eutectic Le Chalumeau Eutalay modele B
In: Doc 1063-1732-5000
44. L'Inst.Castalin+
Eutectic Le nouveau chalumeau Eutaloy modele C
In: prospect 992-1681-1800
45. International
Nickel Limited Welding G.S.Iron
In: document 2496 a
46. I.S.Cîmpia Turzii Electrozi înveliți pentru sudarea fontei
STAS 7242-69

47. Jean-Clode
Margerie și Marie-
Thérèse Morelle - A propos du soudage des fontes
In: Rev.Fonderie 195 - nov.1970
48. Jahre Heinz - Beziehungen zwischen Wärmebehandlung und
Gefügebildung beim Schweißen von
Gusseisen mit artfremden Zusatzwerk-
stoffen
In: Schweißtechnik (DDR) nr.2. 1967
49. Jean-Pierre
Kienberger, Rolf
Meuter - Procédé de fabrication d'électrodes
pour le soudage de la fonte globulaire
In: Patent Elveția nr.401643/14.05.1966
50. Jean-Pierre Kienberger- Electrode pour le soudage à l'arc de
și Rolf Meuter la fonte
Patent Elveția nr.389363/15.07.1965
51. Juretzko G și
Hummitzsch W. - Aufschlagende Vorgänge im Krater
umhüllter Stabelektroden für das
artgeleichte Schweißen von Gusseisen
mit Kugelgraphit
In: Schweißen und Schneiden nr.8-1973
52. Kumar, R.L. - Welding gray iron with mild steel
electrodes
In: Foundry nr.96, 01.1968
53. Kopelman-Serpuhova - Svarka pressovannih trub iz ciuguna
și sarovidnîm grafitom
In: Svarocinoe proizvodstvo nr.6, 1968
54. Kushmerekov.D.M. și
Svetsinskii - Research into the Automatic Welding
of Improved Cast Iron, using a ceramic
flux
In: Automatic welding nr.9,1963
55. A.A.Kazimirov - Calculul cîmpului termic în plăci
la sudarea electrică prin topire (ghid-
tabele pentru calcul) Kiev, 1968
56. Lechtenböhmer H. - Reparaturschweißungen an Gusseisen
mit artfremden Zusatzwerkstoffen
In: ZIS Mitteilungen nr.2, 1967
57. Lacatos L. - Probleme beim Electroslake auftrag-
Schweißen von Gusseisen
In: Schweißtechnik , aug.1967

58. Lueder E. - Lipirea tare a fontei
In: Tehnica lipirii metalelor. Traducere
I.D.T.București, 1952
59. Matter D,Wilder MH, - Factors affecturing application and
Clarc R.A.,White RW behaviour of magnesium additives for
ductile iron
In: Modern Castings, dec.1963
60. Marinescu M., - Contribuții la elaborarea și turnarea
Roșescu G. în piese a fontei austenitice cu grafit
nodular
In: A V-a Conferință de turnătorie
Brașov, 14-15 mai 1971
61. Micloși C, Teodorescu C. - Sudarea fontei
In: Procedee industriale de sudură
Ed.Inst.Român de Energie București,1936
62. Micloși Viorel - Metalurgie Fizică structurală(curs
nepublicat)
63. Mühlberger Horst - Verfahren zum Schweissen von Gusseisen,
insbesondere von Gusseisen mit Kugel-
graphith.
In: Patent Elveția nr.441953/15.01.1968
64. Mihalache M. - Instrucțiuni tehnologice pentru re-
manierea prin sudare a pieselor turnate
din fontă modificată pentru mașini
unelte
Intr.23 August , 1975
65. Morel D. și - Soudage des fontes par bombardement
Ramelli G. électronique
In: ENSAM Paris 1969
66. Matting A. și - Erfahrungen beim Elektronenstrahsch-
Seifert K. weissen von Gusseisen mit Kugelgraphit.
In : Schweissen und Schneiden nr.6,
1968
67. Novak W și - Soudage aluminotermique de la fonte.
Proschen K.F. In: Schm.Techn. vol.15. nr.11, nov.
1965
68. Osii Yugora ș.a. - Sudarea în baie de zgură a fontei.
In: Journal of Japan Society nr.3,
1970
69. Piwowarski E. - Fonte de înaltă calitate.
Ed.tehnică București, 1967

70. Piwowarski E. - Fulldrahtelektrode für das Warmschweissen von Grauguss, insbesondere mit Kugelgraphit
Patent RFG nr.1508358/15.07.1971
71. Pasche F., Pully A. - Electrode pour le soudage la fonte.
Seifart H. Brevet Elvetia nr.425413/31.05.1967
72. Paton, B.E. - Electroslag Welding of Very Thick Material
In: Welding Jul. nr.12, dec.1962
73. Pease G.R. - The Welding of Ductile iron
In: Welding Jul.1900. 39
74. Popovici Vl. și Invancenco A. - Procèdes de sudare cu arc electric protejat de gaze
In: Utilajele sudării electrice.
Ed.Didactică și Pedagogică București, 1968
75. Percheron J.C. - Contribution à L'etude du traitement
Septier L. des fontes à graphite sphéroïdal.
In : Revue de Metalurgie, 1971
76. Robert Dan T. - Metod and materials for welding Patent.
SUA nr.357789/14.04.1969
77. Robert Dan T. - Welding flux for nodular cast iron
In: Iron City Iron works. Patent SUA
nr.3479230 din 5.12.1966
78. Roland H.T. ș.a. - Procèdèe pour le soudage axi-acetilenique de la fonte grise.
Brevet principal intern. Nickel Lim.
Londra nr.889313.03.1959, Pat.Elv.
79. Ruge J. ș.a. - Untersuchungen zum Schweissen von Gusseisen mit Kugelgraphit.
In: Schweissen und Schneiden nr.17,
1965
80. Publication de L'office - Sudo-Brasure des fontes grises.
Central de l'acetylene In: La Sudo-Brasure oxy-acetilenique
et de la Soudure des metaux et alliages
Autogene Paris
81. Sofroni L., - Fonte modificate cu proprietăți
Stefănescu D.M. superioare.
Ed.Tehnică, București, 1971
82. Sofroni L. - Fonta cu grafit nodular.
Stefănescu D.M. Editura Tehnică, București, 1978
Vincenz C.

83. Stefănescu Cl. și alții - Folosirea fontei cu grafit nodular în construcția mașinilor agricole
In: Studii și cercetări de metalografie
84. Stefănescu D.M. și Bolintineanu G. - Elaborarea prealiajelor Fe-Si-Mg și Fe-Si-Ca folosite la obținerea fontelor cu grafit nodular de calitate superioară
In: Buletin Tehnic ICTCM nr.1-1968
85. Stefănescu D.M., Bolintineanu G. și Murarețu G. - Turnarea pieselor pentru locomotiva electrică și întrerupătoarele de medie și înaltă tensiune din fontă cu grafit nodular cu plasticitate ridicată
In: Metalurgia nr.3, 1970
86. Stefănescu D.M. Cristea I. - Metode de fabricare a prealiajelor de tip Fe-Si-Mg folosite la fabricarea fontelor cu grafit nodular. Sesiunea de comunicări științifice a ICPTSC 22.05.1974
87. Smitweld, Olanda - Thermal Cycle Generator LS 1404
88. Smitweld, Olanda - Simulatorul de cicluri termice LS 1401 . Cartea mașinii
89. Stefănescu D.M. Pridvornic M. - Beitrag zum Studium der plastischen verformung von Gusseisen mit Kugelgraphit.
In: Giesserei Praxis nr.9, 1974
90. Stefănescu D.M. - Despre avantajele folosirii materialelor prime la obținerea fontelor cu grafit nodular
In: Metalurgia nr.6, 1971
91. Sengupta, P.K. Iordan D.E. - Die Schweissbarkeit von austenitischen Gusseisen mit Kugelgraphit
In: Giesserei nr.26, 1971
92. Sohn J. Boam W. și Fisk H. - Arc welding of Ferritic and Austenitic Nodular Cast Iron.
In: Welding Jul. 32, 1953
93. Sixt Beno - Schweissverbindung Manganhaltstal - Sperärogus
In: Zeitschrift für Schweisstechnik nr.8, 1973

94. Schishkova A.P. și Kazakov N.F. - Microstructure of Joints diffusion welded in vacuum
In: Metal Science and Heat treatment nr.11-12, nov.dec.1968
95. Truckenmiller C. - Electron beam welding of pearlitic maleable iron
In: Modern Casting , iulie, 1966
96. Utihira Masao - Tehnica sudării fontei cu grafit nodular
In: Metals Engineering nr.12, 1970
97. Zitzelsberger W. - Das Schweissen von feritisch geglühten Gusseisen mit Kugelfgrafit
In: Schweissen und Schneiden nr.11, 1959
98. Yokota Sigaosi și Ysi Hideo - Flux pentru sudarea cu arc electric a fontei maleabile cu grafit nodular în metalul cusătorii
Patent Japonia nr.2334/27.04.1965
99. Wishnevs y C și Wallace, J.F. - Effet du traitement thermique sur la résistance au choc de la fonte à graphite spheroidal.
In: Fonderie nr.205.03.1963
100. Wasserman R. - Comment economiser des millions en réduisant les stoks de pièces de rechange.
Publie par l'Inst.Castolin + Eutectic 1971
101. Wasserman R. Seifahrt A. - Extension des possibilités de soudage des fontes grace à l'amélioration de la resistance à la fisuration et de l'usinabilité
In: Zeitschrift für Schweisstechnik nr.10, 1972
102. Wirtz Heribert și Reuter Horst - Suduri și recomandări la piese din fontă cu grafit lamelar și fonte cu grafit nodular
In: Schweissen + Schneiden nr.7, 1971
103. Westerforsc C Froberg S, Svensson S. - Beitrag zur Kenntnis des Schweissens von Gusseisen
In: Giesserei nr.4, 1972

104. Willy Weltz - Unterpulverschweissen mit Füllbandelektrode von Gusseisen mit Kugelgraphit
In: Schweissen und Schneiden nr.4, 1969
105. Westwood L.G. și Lamb A.D. - Powder welding - A development in the welding of Cast Irons
Publie par le Council of Iron Foundry Associations Pall Mall London
106. X X X - Manuel des fontes moulées
Ed. Techn. des industries de la fonderie 1965
107. - La soudabilité de la fonte sphéroïdale.
In : Rev. Souder - Revue pratique du soudage nr.65.03.1967
108. - Soudage de la fonte G.S.
In: Souder - Revue Pratique du Soudage nr.65.03.1967
109. - Raport de activitate asupra deplasării în R.D. Germania la turnătoria de fonta din cadrul uzinei din Moizelwitz
110. - Procédés courants de soudage des fontes à graphite sphéroïdal.
In: Hommes et Fonderie nr.39, 1973
111. - Procedimientos corrientes de soldeo de fundiciones de hierro de grafite esferoidal.
In : Colada nr.7-8- 1973
Prospect pentru electrozii ESAB OK
112. - Soldatura de la fundición de grafite esferoidal
In: Téchn. e iund. nr.626, 1967
113. - Code pour la symbolisation des électrodes enrobées pour le soudage normal à l'arc de la fonte.
In: Recommandation ISO R 1071, mai 1969
114. - Welding rods and covered electrodes for welding cast iron.
In: Norme AWS, A5, 15-69, remplace la norme ASTM A 398-65 T

115. - Soudure des fontes à graphite sphé-
roidal
In: Fonderie nr.24, Janvier, 1968
116. - Metals Handbook 8-a ed.vol.6. "welding
and brazing"
Ed.American Society for Metals, Metals
Park, Ohio
117. - Gray and ductile Iron Castings, Handbook
Ed.Gray and ductile Iron Founders
Society Inc., Cleveland - 1971, Cap.8
"Welding of Iron Castings.
118. - Soudage des fontes
In: Bull. docum.tehn.Centre techn.
Inds fonderie nr.32, 1964
119. - Soudage de la fonte G.S.
In: Rev.Nickel nr.3 - 1966
120. - Soudage de la fonte GS
In: Souder-Revue Pratique du Soudage
nr.66.1967
121. - G.S.Iron - Properties and Applications
In: Pub.nr.2727 International Nickel
Limited, London
122. - The welding handbook
ed.III American Welding Society,
New York, 1950
123. - Instrucțiuni tehnologice pentru rema-
niera prin sudare a pieselor din
fontă cu grafit nodular pentru loco-
motiva Diesel-Electrică electroputere
Craiova.