

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ
Catedra Utilajul și tehnologia sudării

RADU GH. DULITRU

TEZA DE DOCTORAT

**Cercetări privind corelația dintre fenomenele
metalurgice și parametrii procesului de sudare
a țevilor din oțel termoresistent 12HLMF
(12HLMF)**

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA	
BIBLIOTECA CENTRALĂ	
Vol. al. Nr.	266.904
După	258 Lit. 9

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC

Prof. Gr. Ing. Vladimír Popovici

1973

CUPRINSUL

Introducere. Realizări și perspective în electroenergetica
R.S.R. 1

PARTEA I-a

Cap.1. Stadiul actual al sudării oțelurilor termorezistente. 9

1.1. Considerații generale. 9

1.2. Clasificarea și caracteristicile oțelurilor
termorezistente. 13

1.2.1. Oțelurile CrMo și sudabilitatea lor. 19

1.2.2. Oțeluri termorezistente CrMo pentru
conducte și țevi. 26

1.2.3. Oțeluri termorezistente CrMo pentru
Tabele de casane. 28

1.2.4. Oțeluri CrMo pentru instalații chimice
de înaltă presiune. 31

1.2.5. Oțeluri CrMo de îmbunătățire. 37

1.3. Cercetări în domeniul sudării oțelurilor
termorezistente. 44

1.3.1. Considerații generale. 44

1.3.2. Sudabilitatea oțelurilor cu CrMo de tip
refractor. 44

1.3.3. Călibritatea oțelurilor cu CrMo. 46

1.4. Standarde și normative folosite la alegerea și
sudarea conductelor și țevelor din oțeluri
termorezistente în țara noastră. 51

1.4.1. Clasificarea conductelor de abur și
de apă fierbinte. 51

1.4.2. Imbinările sudate ale conductelor. 56

PARTEA II-a

Cap.2. Cercetări privind influența parametrilor procesului
de sudare a conductelor și țevelor din oțel termo-
rezistent asupra calității imbinărilor sudate. 69

2.1. Analiza principalelor parametri care determină calitatea îmbinărilor sudate.	71
2.1.1. Parametrii ce influențează calitatea îmbinărilor sudate.	71
2.1.2. Defecte în îmbinări sudate și cauzele apariției lor.	73
2.2. Influența modului de prelucrare a rostului îmbinărilor.	74
2.2.1. Influența modului de prelucrare a rostului asupra calității îmbinărilor sudate.	74
2.2.2. Moduri de pregătire a rostului îmbinărilor sudate.	80
2.2.3. Cercetări pentru stabilirea unui rost de sudare optim.	91
2.3. Cercetări asupra influenței modului de execuție a ștrelului de rădăcină.	93
2.3.1. Influența modului de execuție a ștrelului de rădăcină a îmbinării sudate.	93
2.3.2. Cercetări proprii pentru execuția optimă a ștrelului de rădăcină.	96
2.3.2. Studiul comparativ între metoda de sudare obișnuită și metoda combinată.	100
2.4. Cercetări privind influența parametrilor electrice și regimului de sudare.	102
2.4.1. Influența curentului de sudare asupra formei și dimensiunii cusăturii.	103
2.4.2. Influența tensiunii arcului asupra formei și dimensiunii cusăturii.	106
2.4.3. Încălzirea electrodului la sudare.	108
2.4.4. Determinarea vitezei de topire a electrodului.	112
2.5. Unele aspecte care conduc la stabilirea lățimii optime a cordonului de sudură.	114
2.5.1. Determinarea analitică a lățimii optime a cusăturii.	114
2.5.2. Determinarea experimentală a lățimii optime a cusăturii.	116

Cap.3. Cercetări privind materialele de sudare destinate sudării țevilor din oțel termorezistent.	119
3.1. Acțiunea componentelor inveligurilor de electrozi destinați sudării oțelurilor termorezistente.	119
3.1.1. Rolul componentelor în invelișul electrozilor.	120
3.1.2. Rolul siliciilor și titanajilor în invelișul electrozilor.	122
3.1.3. Rolul ferrosiliciului și ferromanganului în invelișul electrozilor.	122
3.1.4. Acțiunea hidrogenului în invelișul electrozilor.	124
3.1.5. Rolul ferotitanului în invelișul electrozilor.	125
3.2. Cercetări experimentale asupra electrozilor de sudare indigeni și străini.	126
3.2.1. Electrozi de sudare pentru oțeluri termorezistente aliate cu Mo și MoCr. ..	127
3.2.2. Electrozi de sudare pentru oțeluri termorezistente aliate cu CrMoV.	134
3.2.3. Comportarea la sudare a electrozilor prototip din sortele EL-CrMoV-B.	142
3.2.4. Insușirile îmbinărilor sudate pe oțeluri CrMoV.	143
3.2.5. Limite de fluej la temperaturi ridicate a metalului cu electrozi termorezistenți.	147
3.2.6. Tehnologie de fabricație de serie a electrozilor EL-CrMoV-B.	149
3.2.7. Verificările röntgenografice a îmbinărilor sudate cu electrozi prototip EL-CrMoV-B.	153
3.2.8. Concluzii.	153
3.3. Cercetări privind elaborarea unor tipuri noi de electrozi având conținut de hidrogen redus în metalul depus.	154
3.3.1. Studii asupra rețetelor de electrozi străini cu conținutul redus de hidrogen.	156
3.3.2. Cercetări proprii pentru elaborarea electrozilor cu conținut redus de hidrogen în cusătură pentru oțeluri termorezistente aliate cu CrMoV.	159

3.3.3.	Electrozi CrMoV din sîrmă nealiată.	169
3.4.	Cercetarea cauzelor fisurării sudurii la imbinările țevilor din oțeluri termorezistente. ..	176
3.5.	Cercetări la fluaj a imbinărilor sudate cu electrozi fabricați după rețete proprii.	185
3.5.1.	Principiul încercării de fluaj.	185
3.5.2.	Determinarea limitei de curgere tehnică $\sigma_{0,2}$ la temperatura de 550...575°C pentru metalul depus cu electrozi EL-TR550... ...600R ₁ , EL-TR550...600R ₂ , EL-TR550... ...600B1 și EL-TR550...600B2.	189
3.5.3.	Determinarea limitei tehnice de fluaj $\sigma_{1/1000}$ la temperatura T = 550 și 575°C pentru metalul depus cu electrozii EL-TR550...600B1 și EL-TR550...600B2. ..	193
Cap.4.	Studii asupra tratamentelor termice adecvate sudurii țevilor din oțel termorezistent.	207
4.1.	Studiul tratamentului optim de preîncălzire. ..	207
4.1.1.	Influența temperaturii de preîncălzire asupra calității imbinării sudate.	207
4.1.2.	Determinarea teoretică a temperaturii optime de preîncălzire.	211
4.1.3.	Determinarea experimentală a temperaturii optime de preîncălzire la sudarea oțelurilor termorezistente aliate cu CrMoV.	215
4.1.4.	Efectuarea practică a preîncălzirii la sudarea oțelurilor termorezistente aliate cu CrMoV.	226
4.2.	Tratamente termice după sudare și influența lor asupra aspectului microstructural a metalului depus și a metalului de bază.	228
Cap.5.	Cercetări asupra fenomenelor metalurgice la sudarea oțelurilor termorezistente.	233
5.1.	Fenomene metalurgice la sudarea cu flacără oxidant-tilenică și cu arc electric a oțelurilor termorezistente.	233

5.1.1. Fenomene metalurgice la sudarea cu flacără oxiacetilanică a oțelurilor termorezistente.	233
5.1.2. Fenomene metalurgice la sudarea cu arcul electric a oțelurilor termorezistente. ..	237
5.2. Transformări structurale în îmbinările sudate ale oțelurilor termorezistente.	239
5.2.1. Modificări structurale în îmbinarea realizată cu arc electric manual folosind la sudare surse de curent continuu.	239
5.2.2. Modificări structurale în îmbinările realizate prin sudarea rădăcinii cusăturii cu arc electric în mediu de argon și sudarea restului cusăturii cu arc electric manual.	244
5.3. Influența compoziției chimice a electrodului asupra structurii metalului depus.	250
Cap.6. Considerații finale și contribuții originale.	255
Bibliografie.	304
Notații folosite în text.	317

LISTA ANEXELOR

- ANEXA 1.1.- Date privind elementele de conducte termoelectrice executate din oțel sovietic de tipul 12H1MF(12X1M6) [121, 122]. pag. 260
- ANEXA 2.1.- Date privind execuția și comportarea în exploatare a elementelor tubulare din oțel 12H1MF(12X1M6) ale conductelor termoelectrice, [122, 123, 124]. . . pag. 266
- ANEXA 2.2.- Date privind controlul comportării în exploatare a elementelor tubulare din oțel 12H1MF(12X1M6) ale conductelor termoelectrice pag. 269
- ANEXA 2.3.- Rezultate privind comportarea sub sarcină în condiții de flux a elementelor tubulare executate din oțel termorezistent 12H1MF(12X1M6) pag. 273
- ANEXA 3.1.- Adresa IPTVT nr.498 din 15.04.1969 către Uzinele Industria Sirmei Cimpia Turzii referitor propunere de rețetă nr.1, de noi sorturi de electrozi. . . pag. 278
- ANEXA 3.2.- Adresa IPTVT nr.88 din 11.04.1969 către Uzinele Industria Sirmei Cimpia Turzii referitor propunere de rețetă nr.2 de noi sorturi de electrozi . . . pag. 282
- ANEXA 3.3.- Adresa ISCT nr.023/63 din 8.12.1972 cu anexa:
Referat tehnic privind electrozii pentru sudarea oțelului termorezistent 12H1MF elaborați după noi rețete cu inveliș basic și rutilic . . . pag. 286
- ANEXA 5.1.- Îmbinări sudate cap la cap din elemente de țevi.
Gama grafii și microstructuri ale îmbinărilor sudate din oțel CAT-5, 12H1MF(12X1M6) . . . pag. 292

INTRODUCERE

REALIZARI SI PERSPECTIVE IN ELECTROENERGETICA RSR

Linii directoare ale politicii PCR in domeniul energiei electrice și-au găsit concretizarea in elaborarea primului plan de electrificare de 10 ani, desfășurat pe intervalul 1951-1960 și mai apoi in planul general 1960-1966.

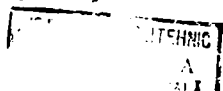
S-a creiat astfel in acești 15 ani posibilitatea ca prin extinderea electrificării, producția industrială a țării să crească de 6 ori, asigurându-se totodată dezvoltarea in ritm continuu și ascendent a tuturor ramurilor economiei naționale [55].

Producția de energie electrică a crescut de la 2,1 TWh in 1950, la peste 17 TWh in 1965, fapt ce reprezintă o majorare de cea 9 ori, pentru perioada respectivă.

De la o putere instalată de 740 MW in 1950 intr-o serie de centrale mici și vechi, privity prin prisma utilajului, s-a ajuns la cea 3500 MW in 1965, ceea ce reprezintă o creștere a puterii instalate de aproape 5 ori in 15 ani. Creșterea de 9 ori a producției de energie electrică prin majorarea de numai 5 ori a puterii instalate se explică prin mărirea indicelui de utilizare a puterii instalate.

Creșterea in continuare a producției de energie electrică in perioada următoare 1960-1965 a fost posibilă prin realizarea unor obiective termoelectrice de mare importanță ca:

-Centrala termoelectrice de la Luduș cu o putere instalată de 300 MW, in trei grupuri de 100 MW, [55, 113];



-Centrala termoelectrică de la Borzești cu două grupuri similare celor de la Brazi de 225 MW;

-Centrala termoelectrică de la Brazi cu o putere instalată de 200 MW;

-Punerea în funcțiune în anul 1965 a primelor unități de 150 MW din cadrul centralei termoelectrice de la Craiova (Igalnița) [55, 56];

-Centrala de la Poreeni cu 150 MW instalați în prima fază.

Paralel cu instalarea centralelor termoelectrice, încep și construcțiile de mari centrale hidroelectrice la noi în țară. După anul 1960 s-a pus în funcțiune la parametri proiectați, Centrala V.I.Lenin de la Bicas cu o putere instalată de 210 MW. Ulterior se pun în funcțiune 10 din cele 12 centrale de pe Bistrița în aval de Bicas, astfel că prin amenajarea completă a râului pe porțiunea Bicas-Bacău s-a ajuns la o putere instalată de cca 450 MW [56, 115].

Tot în această perioadă (1960-65) s-au realizat principalele lucrări de la Centrala hidroelectrică Gh.Gheorghiu Dej de pe Argeș cu o putere instalată de 220 MW, în patru grupuri de câte 55 MW [112].

După anul 1964 se demarează lucrările în cadrul sistemului hidroenergetic de la Porțile de Fier, centrala cuprinzând șase grupuri de 112 MW [56, 115].

Se ajunge astfel ca la sfârșitul anului 1965 puterea instalată în centrale termo și hidroenergetice să fie de cca 1000 MW.

Pentru perioada următoare, 1966-1975 Directivile Partidului prevăd ca, în concordanță cu dezvoltarea economiei naționale, producția de energie electrică și termică să crească în continuare, într-un ritm mai ridicat chiar decât ansamblul industriei.

Potrivit prevederilor, în anul 1970 producția de energie electrică realizată este de 54 TWh, iar în anul 1975 se va ajunge la 55-60 TWh, ponderea mare avînd-o consumul cărbunelui inferior, folosirea rațională a energiei apelor și a energiei nucleare care în 1969 reprezenta cea 11%, iar în anul 1975 va fi cea 28% din totalul producției energetice [41, 51].

Din totalul producției de energie electrică prevăzută pentru această perioadă, cea 10 TWh va reprezenta aportul centralelor hidroelectrice. Aceasta prin darea în exploatare la parametri proiectați, a Centralei de pe Lotru și în continuare a unităților de pe celelalte râuri interioare, Spasag, Criș, Siret, Olt.

În domeniul termoelectricității, firul director este valorificarea cărbunelui inferior din noile bazine carbonifere. Astfel prin valorificarea cărbunelui inferior din basinel Olteniei, s-a ajuns ca la Centrala termoelectrică de la Craiova de la 500 MW instalați în prima fază, s-au atins în 1969 parametri normali de 1050 MW instalați. Alte unități termoelectrice de mare importanță intrate în funcțiune în această perioadă sînt:

-extinderea Centralei Grozăvești-București cu al doilea grup de termoficare urbană de 50 MW;

-extinderea Centralei termoelectrice de la Luduș, prin instalarea unui grup de 100 MW și mai apoi a două grupuri de 200 MW ajungînd actualmente la o putere instalată de 800 MW;

-intrarea în funcțiune a primului punct de termoficare urbană de la București-Sud, prin instalarea în 1970 a unui grup de 100 MW iar apoi în 1972 a încă două grupuri de 100 MW și extinderea în continuare a lucrării;

-se extind lucrările de la termocentrala de la Borzești prin instalarea grupului 6 de 50 MW, puterea instalată fiind de 225 MW,

și montarea în continuare a două grupuri de 200 MW;

-Centrale termoelectrice de la Paroșeni ajunge la o putere instalată de 300 MW prin intrarea în funcțiune la parametri proiectați a încă unui grup de 150 MW [55].;

-intrarea în funcțiune a grupului 2 și 3 de la CET Deva (Mintia) [55, 113].

Tot în această perioadă s-au dat în exploatare în prima etapă la CET de la Rogojelu, prin valorificarea cărbunelui din bazinul carbonifer Rovinari, două unități de 200 MW.

În etapa finală din 1976 Centrala de la Rogojelu va avea puterea instalată de 1720 MW.

Paralel cu aceste mari obiective termoelectrice sunt date în exploatare o serie de centrale mai mici ca cele de la: Palas-Constanța, Chigani-Brăila, Cradea, Arad, Govora, București-Vest, Galați, Iași etc.

Ca o unitate de tip special cu pornire și încălzire rapidă, se menționează cele trei turbine cu gaze de la Centrala București-Sud, cu o putere de 36 M și grupul de 100 M deservit de o turbină cu abur de la CET Steaua Roșie-Fintinele.

Astfel în 1975 în centralele termoelectrice vom avea o putere instalată de 10 milioane kW, din care cca 4 milioane kW au fost date economiei naționale până în anul 1970.

Totodată sunt create condițiile necesare de a se încheia și definitivă documentația în vederea realizării primei centrale termoelectrice în țara noastră.

Realizarea și darea în exploatare a marilor centrale electrotactice în țara noastră, a fost posibilă prin punerea la punct a tehnologiilor necesare și în primul rând a perfecționării tehnologiei de sudare a oțelurilor folosite în construcția termocentralelor.

Instalațiile de cazane, utilizate în CET folosesc oțeluri termorezistente în care se produce abur la parametri ridicați: presiunea aburului debitat este cca 140-170 atm, iar temperatura aburului supraîncălzit variază în limitele 500 - 675°C [51, 55, 56].

Investigațiile în domeniul comportării la sudare a oțelurilor termorezistente, direcție de cercetare în care se încadrează prezenta teză de doctorat, au fost începute în anul 1960 în urma unor recomandări ale Acad.C. Mikloși, pornind de la ideea realizării acestei probleme fără import de electrozi.

Cercetările privind corelația dintre fenomenele metalurgice și parametrii procesului de sudare a conductelor din oțel termorezistent, a necesitat studiul problemelor mai importante care apar la sudarea oțelurilor termorezistente, care fac de altfel și obiectul capitolelor tezei de doctorat.

Teza de doctorat este alcătuită din două părți ce se extind pe 6 capitole și anexe.

În prima parte a tezei, capitolul I se ocupă de studiul actual al sudării oțelurilor termorezistente. După o prezentare și o clasificare a diverselor tipuri de oțeluri termorezistente aliate cu Mn, Mo, CrMo, CrV, CrSiMo, CrSiMoV, CrSiV, CrMo, CrMoV, CrV, cu explicarea influenței elementelor de aliere asupra sudabilității și caracteristicilor oțelurilor, se tratează problema sudabilității acestor oțeluri. Tot în cadrul acestui capitol se face un studiu de sinteză asupra unor cercetări în domeniul sudării oțelurilor termorezistente. Partea finală a acestui capitol tratează problema sudării conductelor din oțeluri termorezistente folosite în construcții montaje prin sudare a echipamente termoelectrice în țara noastră până în faza actuală.

Partea a doua a tezei de doctorat care cuprinde cercetările originale ale autorului, se desfășoară pe 5 capitole cuprinsind cercetările în domeniul influenței parametrilor procesului de sudare, cercetările pentru elaborarea unor noi materiale de adaos și determinarea tratamentelor termice optime, fenomenele termice și metalurgice care au loc la sudarea oțelurilor termorezistente, precum și efectele economice.

Cercetările privind influența parametrilor procesului de sudare a conductelor din oțel termorezistent asupra calității îmbinărilor sudate, face obiectul capitolului 2. În prima parte a capitolului se analizează principalii parametri care determină calitatea îmbinărilor sudate. Partea originală, în ceea ce privește modul de prelucrare a rostului îmbinărilor și modul de execuție a stratului de rădăcină, respectiv a întregii îmbinări sudate, este tratată în continuare. În finele capitolului sînt cuprinse cercetările asupra influenței parametrilor electricei și regimului de sudare și unele considerații asupra stabilirii lățimii optime a cordonului de sudură.

În capitolul 3 se prezintă contribuția autorului la elaborarea unor materiale de adaos destinate sudării conductelor din oțel termorezistent. După fundamentarea teoretică a rolului componentelor din învelișul electrozilor și un studiu comparativ (pe baza unor experimentări), între electrozii de sudură indigeni și străini se prezintă rezultatele cercetărilor efectuate pentru elaborarea la Uzinele Industria Sîrmei din Cîmpia Turzii a noi sorturi de electrozi pentru sudarea oțelurilor termorezistente. Cercetările au fost concretizate prin elaborarea a patru noi sorturi de electrozi, două cu înveliș basic, două cu înveliș rutilic, care vor putea elimina consumul de valută pentru import de electrozi. Capitolul este completat cu un studiu privind formarea porilor și fisurilor în metalul depus și cercetările teoretice și experimentale privind

comportare la fluaj a îmbinărilor sudate și a metalului depus.

Partea tehnologică este completată cu studiul tratamentelor optime de preîncălzire și a tratamentelor termice după sudare, precum și influența acestora asupra aspectului macro și microstructural a metalului depus și a metalului de bază, care face obiectul capitolului 4.

Capitolul 5 cuprinde cercetările asupra fenomenelor metalurgice care au loc la sudarea oțelurilor termoresistente. Se studiază fenomenele metalurgice care au loc la sudarea manuală cu arc electric în mediu de argon și transformările structurale ale metalului de bază sub influența ciclului termic, la sudare. Fenomenele metalurgice sînt studiate și în cazul folosirii electrozilor după rețete elaborate de autor și a folosirii metodei combinate de sudare: sudarea rădăcinii cusăturii cu arc electric în mediu de argon și completarea ulterioară a rostului cu arc electric manual folosind electrozi de fabricație indigenă.

Capitolul 6 cuprinde considerații finale și contribuțiile originale ale autorului.

În finalul tezei de doctorat sînt înscrise anexa privind stabilirea criteriilor de utilizare rațională a oțelurilor CrMoV de tipul 12Х1МФ(12Х1МФ) pentru conducte folosite în construcții montate prin sudare la instalații termoelectrice.

Rezultatele obținute de autor și concretizate în prezenta teză de doctorat sînt o urmare a activității de cercetare a autorului desfășurată pe o durată de 10 ani, sub îndrumarea sistematică și de înaltă competență a regretatului Academician C. Miklogi și a conducătorului științific tov.prof.dr.ing.Vl.Popovici, căruii îi mulțumesc din toată inima pentru răbdarea, înțelegerea și sprijinul acordat la finalizarea cercetărilor.

Pentru efectuarea numeroaselor încercări mecanice, analize

chimice și studii metalografice a îmbinărilor sudate am primit concurs din partea catedrei de Mecanică și Rezistența Materialelor, Tehnologia Mecanică, prin tov.prof.dr.ing.Hajdu Iosif, tov.prof.dr.ing.Trugoulescu Marin, cărora le mulțumesc de asemenea. Am fost mult ajutat de Uzinele Industria Sirmei din Cimpia Turzii, CS Reșița, UCM Reșița, Energomontaj București, prin tov.director Stanatiev Iosn, ing.Valea Iosn, ing.Dobrotă I., ing.Eremia A., ing.Tața I., ing.Scheibert Iosif, ing.Holl Nicolae, cărora le mulțumesc pentru sprijinul acordat.

Mulțumesc de asemenea colectivului de muncă din cadrul laboratorului catedrei Utilajul și tehnologia sudării, care a depus multă stăruință la efectuarea probelor cerute de lucrare.-

PARTEA I-A

Cap. 1.-STADIUL ACTUAL AL SUDĂRII OȚELURILOR TERMOREZISTENTE

1.1.-Utilizarea materialelor metalice la realizarea unor produse finite impune necesitatea unor însușiri de întrebuințare specifice, conjugate cu necesitatea unor considerente economice legate de baza de materii prime. Acest deziderat a dus la apariția în lumea tehnică a unui mare număr, mereu în creștere, de mărci de oțeluri din cele mai diferite clase structurale [96, 103, 148, 161].

O problemă de bază în utilizarea acestor oțeluri este ca în cursul procesului de fabricație a produsului finit, însușirile specifice ale oțelului să nu fie pe cât posibil afectate, sau în cel mai nefericit caz să fie afectate în mod acceptabil pentru proiectant.

Printre tehnologiile moderne de prelucrare a oțelurilor, procedeele de sudare oferă posibilități potențiale foarte mari în ceea ce privește modificarea însușirilor oțelului sudat, fapt de care trebuie ținut seama, în special în cazul unor structuri metalice de rezistență, solicitate termic și dinamic. Aceste posibilități se datoresc căilor multiple prin care sudarea influențează însușirile metalului de bază, a îmbinării sudate propriu-zise și în ultimă instanță a produsului sudat preconizat. Este vorba de modificări structurale, modificări de compoziție chimică, modificări de volum.

Având în vedere cele enunțate, reiese un dezavantaj major al procedeelor de sudare și anume faptul că în cazul aplicării

acestora, pretențiile cerute față de calitatea metalului de bază sînt mai mari decît în cazul aplicării altor procedee de asamblare ca: imbinări cu nituri, imbinări cu bulcane, turnare, etc. Înșă, avantajele sudării ca procedeu de imbinare, face ca în stadiul actual de dezvoltare al tehnicii acest procedeu să ocupe un loc de frunte printre procedeele de imbinare.

Dificultăți, respectiv complicații legate de sudarea oțelurilor apar odată cu creșterea gradului de aliere a oțelurilor. Utilizarea oțelurilor aliate la realizarea oricăror produse sau ansamble sudate se poate face, în principal, în cadrul a două situații extreme:

-Prima situație se caracterizează prin impunerea unui maxim de măsuri producătorului, în ceea ce privește comportarea la sudare a oțelului. În felul acesta sarcina beneficiarului este ușurată, putînd recurge la un proces tehnologic de sudare mai puțin complex, în cadrul execuției, iar în proiectare la o concepție constructivă mai puțin pretențioasă.

-O a doua situație se situează în extrema opusă, impunîndu-se producătorului condiții puțin severe, complicîndu-se înșă sarcina beneficiarului care trebuie să recurgă la măsuri speciale privind: materialele de adăos, aplicarea tratamentelor termice de preîncălzire, detensionare sau recădere, succesiunea rîndurilor de sudură în rosturi, concepția constructivă și altele [52].

Rezolvarea corectă și economic avantajoasă a problemelor legate de sudarea oțelurilor aliate trebuie să se bazeze pe repartizarea rațională a sarcinilor pe seama producătorului și beneficiarului acestor oțeluri. În ceea ce privește pe beneficiar soluția optimă este condiționată de corelarea rațională a măsurilor luate de proiectanți și tehnologi, concretizată prin concepția

constructiv tehnologică.

În domeniul construcțiilor metalice, unde majoritatea structurii de rezistență se realizează însă din oțel carbon obșnuit sau alab aliat, problemele de sudabilitate legate de stabilirea tehnologiei de sudare sînt mai puțin complexe, comparativ cu domeniul construcțiilor de mașini, a echipamentelor termo și hidroenergetice sau a altor echipamente industriale care reclamă utilizarea oțelurilor aliate și bogat aliate. În aceste cazuri, la alegerea oțelului primesc alte considerente decît cele de sudabilitate, rămînînd ca prin alegerea unei tehnologii de sudare corespunzătoare (inclusiv eventuale tratamente termice), prin execuție să se realizeze siguranța în exploatare [75].

Față de această situație nu este lipsit de interes a se preciza că, în domeniul construcțiilor metalice, unde specificul lucrărilor face nerentabilă, nerățională sau chiar imposibilă aplicarea unui procedeu de sudare mai complex, sudabilitatea are un rol hotărîtor la alegerea oțelului.

De asemenea în cazul în care condițiile locale nu asigură aplicarea integrală a tehnologiei de sudare necesară, iar anumite considerente reclamă realizarea produsului de către executantul în cauză, este necesară alegerea unui alt oțel care să asigure aceleași însușiri produsului preconizat, dar să necesite o tehnologie de sudare mai simplă. Situație se mai poate complica în cazul în care din considerente tehnologice este adeseori necesar să se facă concesii în ceea ce privește unele cifre de rezistență sau alte însușiri, fapt ce are repercursiuni asupra proiectării în general.

Luînd în considerare cele prezentate apare ca o necesitate la realizarea produselor prin sudare, din oțeluri aliate, să se

țină seama în mod deosebit de posibilitățile existente la întreprinderea producătoare de structuri și ansamble metalice sudate. Așa cum s-a arătat acțiunea sudării asupra produsului sudat se poate manifesta sub forme multiple. În funcție de produs, unele din aceste manifestări pot să fie practic nesemnificative și în consecință acestea nu se iau în considerare la stabilirea procesului tehnologic de sudare.

Pentru a obține o tehnologie rațională și cât mai simplă cu putință, condițiile îmbinării sudate ce se realizează, trebuie corelate cu condițiile de lucru cerute de proces asupra produsului.

Este de subliniat faptul că aspectele amintite în legătură cu realizarea produselor sudate din oțeluri aliate, termorezistente se intercondiționează reciproc, iar soluționarea tehnică corectă și avantajoasă din punct de vedere economic a problemelor ivite la realizarea produsului, reclamă încă din faza de proiectare, colaborarea între cercetător, producătorul de oțel, constructor și tehnolog [15].

Acestea sînt cîteva idei ce au stat la baza unor cercetări legate de stadiul actual al sudării oțelurilor termorezistente, frecvent întîlnite în construcții montate prin sudare la echipamente și instalații termoenergetice [96].

1.2.-Clasificarea și caracteristicile oțelurilor termorezistente

Oțelurile termorezistente se elaborează în mod obișnuit cu o astfel de compoziție chimică încât să satisfacă cerințele de sudare, îndeosebi atunci când se utilizează sub formă de țevi și table laminate, la realizarea prin sudare a cazanelor și instalațiilor termoelectrice.

Conținutul de carbon în aceste oțeluri este de regulă sub 0,2%, iar rezistența lor la tracțiune la temperatură normală nu depășește 65 - 68 kgf/mm².

În starea de tratament în care se utilizează aceste oțeluri, concentrațiile mai mari în carbon de 0,2% nu duc la o majorare a rezistenței față de solicitările la cald. De altfel rezistențe mai mari ar influența nefavorabil prelucrabilitatea acestor oțeluri [73, 174, 175].

Există și o serie de oțeluri termorezistente cu rezistență mărită. Acestea se întrebunțesc mai puțin în construcții realizate prin sudare, însă în acest caz rezistența mărită se obține prin elemente de aliere care nu diminuează sudabilitatea lor în măsură prea mare.

Tabela 1.1 prezintă cele mai importante aliaje tehnice ale oțelurilor termorezistente [176, 177].

Între oțelurile prezentate apar și oțelurile demnitate rezistente la hidrogen și oxidare care în ultimul timp au devenit utilizabile în construcția de cazane termoelectrice.

Deși nu există o clasificare unitară a oțelurilor (Cr Mo) se pot distinge următoarele grupe:

- oțeluri moi, termorezistente pentru țevi;
- oțeluri moi, termorezistente pentru construcții de cazane;

ALIAJULI TITANIUM AIF OTIPILOH TIMORU REZULTATUNU

Grups de de otel aliaze de hard	Gr/mm ²	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	V %	W %	Posib. de uti-lis OC
0	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I. OTIPILOH TIMORU REZULTATUNU									
1	Im	42-52	0,10-0,15	0,15-0,20	0,75-1,0	-	-	-	475
		45-58	0,10-0,18	0,30-0,50	0,90-1,20	-	-	-	475
		45-58	0,10-0,18	0,30-0,40	1,20-1,50	-	0,10-0,20	-	475
		54-63	0,10-0,22	0,40-0,60	1,00-1,30	-	-	-	475
2	Mo	38-45	0,07-0,12	0,10-0,20	0,30-0,80	0,25-0,40	-	-	500
		42-50	0,10-0,15	0,15-0,25	0,80-1,20	0,25-0,40	-	-	500
		45-55	0,12-0,18	0,10-0,20	0,30-0,80	0,25-0,40	-	-	500
		47-58	0,12-0,18	0,20-0,30	0,80-1,00	0,25-0,40	-	-	500
3	CrMo	45-55	0,12-0,18	0,25-0,35	0,38-0,80	0,40-0,50	-	-	525
		52-62	0,23-0,30	0,25-0,35	0,75-1,00	0,40-0,50	-	-	525
		60-70	0,25-0,30	0,25-0,35	0,75-1,00	0,40-0,50	-	-	525
4	CrV	50-65	0,10-0,18	0,35-0,35	0,60-0,80	1,20-1,40	0,25-0,35	-	-
II. OTIPILOH TIMORU REZULTATUNU CU IBERIENNA NICA LA OXIDARE									
5	CrSiMo	50-60	0,07-0,12	1,10-1,60	0,40-1,00	2,2-2,6	0,45-0,55	-	550
6	CrSiMoV	50-60	0,07-0,12	1,40-1,60	0,90-1,10	1,50-1,80	0,20-0,30	0,25-0,35	650
7	CrSiV	50-65	0,10-0,16	1,40-1,70	0,40-1,10	1,50-1,80	-	0,25-0,35	650

A B I L A L A (containers)
 V N W
 Pasifico
 10/10/10

Grupa Cr C Si Mn Cr Mo
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	III. OTTURRI TUMORREZUVNIS STABIE PAGA IN H ₂ SI REZISTENTE LA OXIDARE											
16 CrMo	48-60	0,07-0,12	0,25-0,50	0,25-0,50	0,25-0,50	3,00-3,50	0,3-0,40					575
17 CrMoVW	70-85	0,15-0,20	0,25-0,40	0,25-0,50	2,50-3,00	0,45-0,55	0,05-0,10	0,50-0,70				725
18 CrV	70-85	0,20-0,25	0,25-0,40	0,30-0,50	2,50-3,00		0,20-0,30					685
19 CrMoV	75-90	0,19-0,20	0,20-0,40	0,25-0,50	3,00-3,50	0,20-0,30	0,45-0,55					700
20 CrMoVW	70-85	0,19-0,20	0,20-0,40	0,25-0,50	2,50-3,00	0,35-0,50	0,70-0,85	0,30-0,50				750

4

- oțeluri pentru instalații chimice de înaltă presiune;
- oțeluri de îmbunătățire;
- oțeluri inoxidabile anticorozive.

Oțelurile termorezistente reprezintă grupa cea mai importantă de oțeluri sudabile pentru construcția de cazane, utilaje chimice și agregate termoelectrice.

În această categorie intră oțelurile carbon și aliate care se utilizează la temperaturi și presiuni ridicate. Deoarece comportarea oțelurilor carbon la temperaturi peste cea 400°C nu mai este corespunzătoare, oțelurile rezistente mecanic la temperaturi înalte sînt în primul rînd oțelurile aliate și înalt aliate.

Oțelurile rezistente mecanic la temperaturi ridicate, respectiv oțelurile termorezistente, pot fi clasificate în următoarele trei clase:

-Oțelurile ferito-perlitice sau bainitice, acestea cuprînd oțelurile carbon și oțelurile aliate cu molibden, crom-molibden, crom-molibden-vanadiu, eventual și cu alte elemente, conținutul de crom putînd ajunge la maximum 6%. Aceste oțeluri în general au structura, în stare de utilizare, formată din ferită, bainită, perlită și carburi;

-Oțeluri feritice și martensitice, sînt oțelurile termorezistente a căror structură, în stare de utilizare, este formată din ferită și (sau) martensită, cu sau fără carburi. Cea mai mare parte a acestor oțeluri își păstrează structura respectivă și la temperaturi ridicate. Ele au ca element principal de aliere cromul în proporții ce pot varia între 5...30%;

-Oțeluri austenitice, respectiv oțeluri aliate cu crom, dar care conțin o cantitate apreciabilă de nichel care determină stabilitatea austenitei la toate temperaturile. Aceste oțeluri sînt de tipul 18/8, 18/8-Mo, 25/20, etc.

Oțelurile ferito-perlitice sau bainitice sînt denumite și oțeluri termostabile.

Aceste oțeluri sînt întrebuintate, în principal, la execuțarea diferitelor elemente ce intră în alcătuirea mașinilor și agregatelor care lucrează cu fluide calde (aburi, hidrocarburi lichide, gaze de ardere etc), cazane, colectoare de aburi, conducte pentru transport aburi, supraîncălzitoare sau alte structuri de mare răspundere.

Cazanele și recipientii de presiune joasă și medie, lucrînd la temperaturi de cel mult 400°C și presiuni de cel mult 60 kgf/cm^2 se construiesc de obicei în întregime din oțel carbon.

Pentru temperaturi și presiuni mai mari de $400...570^{\circ}\text{C}$ și pînă la 150 kgf/cm^2 se utilizează oțeluri aliate cu crom, molibden, vanadiu, etc.

Caracteristicile mecanice folosite în calculul de rezistență al acestor utilaje sînt:

- limita de curgere la cald;
- limita tehnică de fluaj;
- rezistența tehnică de durată.

Oțelurile de fabricație indigenă pentru cazane și recipiente sub presiune precum și pentru tubulatură cazanelor sau conducte de abur, chiar suprasaturat, sînt standardizate în STAS 8184-68.

În tabela 1.2 se prezintă compoziția chimică a oțelurilor cuprinse în acest standard în ediția nouă.

În alte țări dezvoltate din punct de vedere tehnic se folosesc numeroase alte mărci de oțeluri rezistente la temperaturi moderate, aliate cu crom, molibden, vanadiu și alte elemente de aliere, dar pentru care nu totdeauna sînt indicate caracteristicile de fluaj.

COMPOZITIA CHIMICA A CARBONILOR TI IMONIZATI UNTE FABRICANT IN FER (STAS 8184-68)

Mareea de telului	COMPOZITIA CHIMICA %							OBS.		
	C	Si	Mn	S	Cr	Ni	V		Pmax	Smax
			CONTINUTUL I CARBON							
OLT 35K	max.0,17	min.0,40	0,15-0,40	-	-	-	-	0,040	0,045	La marelle OL carbon se admite continut de max. 0,30%Cr, 0,30%Mn, 0,30%Cu si 0,08% alte elemente.
OLT 45K	max.0,23	min.0,35	0,15-0,35	-	-	-	-	0,040	0,045	
			CONTINUTUL II ALIATE							
16Mo3	0,12-0,20	0,50-0,80	0,15-0,35	-	0,25-0,40	-	-	0,040	0,040	La marelle de OL aliate se admit cont. reziduale ca 0,30%Mn, 0,30%Cu 0,02%Ti, 0,05%alte elemente
14CrMo4	0,10-0,18	0,40-0,70	0,15-0,35	0,70-1,0	0,40-0,55	-	-	0,040	0,040	La marelle 16Mo3; 14CrMo4; 10CrMo10 e- laborate in sup- tvoare electrice continutul de P sa e max. 0,035% si 0,02%
12CrMoV3	0,08-0,15	0,40-0,70	0,17-0,37	0,90-1,2	0,25-0,40	0,15-0,30	-	0,030	0,030	
10CrMo10	max.0,15	0,40-0,70	0,15-0,50	2,0 -2,5	0,90-1,1	-	-	0,040	0,040	
10Mo5Cr	max.0,15	0,30-0,60	max.0,50	4,0 -6,0	0,45-0,65	-	-	0,030	0,030	

Asemenea oțeluri sînt standardizate în RFG după DIN 17155 întîlnindu-se mărcile Mn4 și 19Mn5, în Franța (NFA 36-205/65-A48C1-P1; A48C2-P2 2; A52C1-P1; A52C2-P2), iar în RDG sînt standardizate conform normelor TGL 14507 (17Mn4 și 19Mn5).

Alături de aceste oțeluri se amintesc și oțelurile molibden-vanadiu, utilizabile la temperaturi de cel mult 550°C, acestea fiind produse în SUA, Franța și RFG.

Avînd în vedere condițiile deosebit de dificile de verificare a comportării oțelurilor destinate să lucreze la temperaturi relativ ridicate, în cadrul instalațiilor cu funcționare permanentă, este mai rațională limitarea efortului mai restrîns posibil a numărului de mărci cu această utilizare, aceasta în vederea concentrării eforturilor de cunoaștere a lor.

O echivalență a oțelurilor termorezistente fabricate în ESR cu oțeluri termorezistente fabricate în alte țări, este redată în tabela 1.5.

1.2.1.-Oțelurile crom-molibden și sudabilitatea lor

1.2.1.1.-Cromul și molibdenul ca elemente de aliere

Importanța cromului și a molibdenului ca elemente de aliere rezultă din statistica dezvoltării elementelor de aliere folosite în industria metalurgică. Astfel în figura 1.1 este redată variația consumului de Cr, Mo, Ni, B și V în S.M.A. între anii 1900 ... 1960.

Pînă în anul 1920 consumul de crom este în creștere, iar consumul de nichel în scădere. Ambele elemente își mențin în continuare nivelul de utilizare, chiar fără variații bruște pînă în anul 1950.

Scăderea accentuată a nichelului se produce în anul 1945, aceasta ca urmare a situației critice create de cel de

T A B I L A 1.3

Echivalența Țelurilor termorezistente fabricate în FSR cu Țelurile termorezistente fabricate în alte țări

STAB 8184-68	GOBT	CEN	WGL	DIN	ARMOR	ES	UNI	ASTM	SIS 14
9185-68	380-60	420074-63	14207-63	17.155-59	736-205-1965	3159-58	-	-	14 21.2-65
2481-68	5220-62	420075-62	14183-63	-	-	1501-159-62	-	-	13 20.2-65
3185-68, in-loculind STAB	5632-61		63			1501-1506-58			negalvat
2831-61	10801-64								21 21.2-65
OIK-1	(18-2)	(11343)	18 13	(H1) W.1.3045	-	-	-	-	14 21.2-65
OIK-2	(18-3)	(11344) (11373)	-	-	-	-	-	-	13 20.2-65
OIK-3	(18-2kp)	(11366)	18 13	-	(A37-C2) (A37-E2)	-	-	-	21 21.2-65
OIK-4	(15 k)	(11418) (11419)	18 16	(H1) W.1.4025	(A42-C1) (A42-C2)	-	-	-	14 21.2-65cal. 13.20.2 cal. 14-24-67
OIK-5	(20 k)	(11419) (11418)	18 19	(H11) W.1.4635	-	1501-159-62	-	-	-
OIT 35-k	-	(11568) (12021)	18 25-5	W.1.35.8 W.1.0305	-	-	014	(A182-64) (A192-65) (A179-64)	-
OIT 45-k	(26)	(11418) (12022)	18 45-5	W.1.45.8 W.1.405	-	-	018	(A161-65)	-
15103	-	(15020)	15103	W.1.54.15 W.1.7375	-	(2059/77) (2059/8)	(16105)	-	29 12-65
14C104	(1504)	-	13C1044	W.1.7375	-	-	14C104	(A161-65) (A213-65) (A112)	22 16-65

STAS 8184-68 8185-68; 2081-68; 10- 8185-68; 10- locuitor STAS 2821-61	GOST 390-60 5520-62 5632-61 10801-64	CEV 420074-63 420075-62	TGL 14507-63 14183-63	DIN 17.155-59	AFNOR A36-205-1965	ES 2159-58 1501-159-62 1501-1506-58	UNI	ASTM	BIS 14
120MoV3	12H14F 12X14F	-	-	-	-	-	-	-	-
120Mo10	-	15313	100Mo910	100Mo910	-	3059/11 3059/12	20Mo910	(A200-CAT4) (A213-C5T22) (A199-CAT4)	22 18-65
10Mo050	H5M (H5M)	17102	-	-	-	-	-	(A200-CAT5) (A213-C5T5) (A199-CAT5) (A213-C5T5)	-

CEPTRAII: Marcile de oțel inscrie între paranteze reprezintă echivalente aproximative și sînt tratate ca atare în literatură

al doilea război mondial.

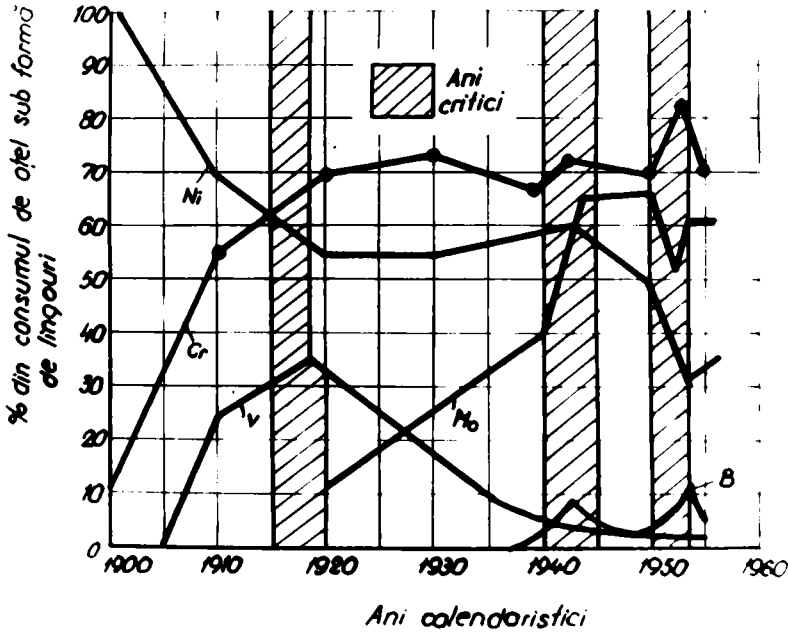


Fig.1.1.-Variația consumului de Cr, Ni, Mo, V, (1900-1960)

Din literatura tehnică [75, 96, 101] reiese și consumul de vanadiu care atinge un maximum în anul 1920. În continuare însă acest element este înlocuit treptat cu molibden care devine un element stabil de aliere aproape la nivelul cromului.

Utilizarea borului la alierea oțelurilor, a avut perioade nestabile atingând un maximum în anul 1955, an în care începe o scădere bruscă în utilizarea acestui element. Curbele reprezentate în figura 1.1, în porțiunile hăgurate, reprezintă variații însemnate din cauza situației critice de militarizare și înarmare a industriei SUA [52].

Cromul și molibdenul dețin în perioada zilelor noastre primul loc între elementele de aliere utilizate la realizarea producției mondiale de oțel aliat. Este cunoscut că nu există domeniu de utilizare industrială a oțelurilor între care, cele aliate cu crom-molibden, să nu reprezinte o grupă a oțelurilor de sine stătătoare.

Proporția marelui crescândă a oțelurilor aliate utilizate în construcții sudate, a contribuit în mod hotărâtor la extinderea utilizării oțelurilor CrMo, CrMoV, care din punct de vedere al sudabilității nu pun probleme deosebite.

În felul acesta s-a reușit în prezent să se înlocuiască o serie de oțeluri clasice, destul de scumpe pentru economia națională, cum sînt de exemplu oțelurile crom-nichel.

Cromul și molibdenul pot avea acțiuni foarte variate asupra proprietăților oțelurilor de construcție, în funcție de proporția de aliere și de combinația dintre ele și alte elemente (V, Mn, Nb, Ti, Al etc).

Cromul este cel mai important element de aliere pentru oțelurile de calitate superioară. Pînă la conținuturi de 0,9% influența sa este de obicei insensibilă, alierea propriuzisă cu Cr începînd abia de la 0,5%. În majoritatea oțelurilor CrMo, cantitatea de crom este cuprinsă în limitele 0,7...2%.

Cromul ridică rezistența la rupere și limita de curgere a oțelului cu cea 8...10 kgf/mm² pentru fiecare 1%Cr introdus ca element de aliere, fără să afecteze aproape cu nimic proprietățile sale plastice. În schimb reziliența scade simțitor. De asemeni cromul mărește duritatea, fapt ce se datorează micșorării vitezei critice de răcire a oțelului. Astfel se explică mărimea adîncimii de călire și utilizarea a oțelurilor aliate

cu crom la piese de dimensiuni mari. Pentru nitrurare se cere în mod practic aproximativ 2% Cr, iar începând de la conținuturi de 2,5% Cr începe influența cromului asupra rezistenței la acțiuni chimice (de exemplu - oțeluri rezistente la acțiunea hidrogenului sub presiune). Conținuturi de 3% până la 12% Cr se întâlnesc practic numai în oțelurile refractare (în combinație cu Si și Al). Începând cu 12% Cr începe grupa oțelurilor inoxidabile și anticorozive. Cromul pur are o pasivitate pronunțată mai ales față de acidul azotic, stabilitatea sa față de acidul clorhidric și sulfuric este mai slabă (decît de exemplu al molibdenului sau wolframului).

Sudabilitatea oțelurilor este afectată de crom începând de la 0,2%. La procedee de sudare prin topire conținuturi de 0,35% pot produce deja o mărire a durității zonelor de influență termică (zonele de transformare), ale îmbinărilor sudate. Oțelurilor crom autocălibile manifestă o puternică tendință de fisurare a zonei de transformare și pot fi sudate numai în condiția unor măsuri tehnologice speciale (electrozi speciali, preîncălzirea înaintea sudării, tratament termic ulterior etc).

Molibdenul, a ajuns actualmente să fie utilizat chiar și în formă metalică, tehnic pură, în construcția de rachete și instalații nucleare, dovedindu-se ca unul dintre cele mai bune metale termorezistente. Ca element de aliere în oțel se folosește numai în proporții relativ mici (max 5%). Molibdenul mărește proprietățile termorezistente ale oțelurilor fiind utilizat în acest scop în proporții de aliere de 0,1...1,2%. În oțeluri de îmbunătățire molibdenul reduce tendința de fragilizare la revenire. Conținuturi de 1...2% Mo măresc rezistența la coroziune a oțelurilor înalt aliate cu Cr și CrNi față de acizi reducători [15]. În afară de aceasta, molibdenul contribuie, asemănător cromului,

la ridicarea rezistenței de rupere și a limitei de curgere, fiind deci un element de aliere pentru oțeluri de înaltă rezistență [96].

Din punct de vedere al sudabilității molibdenul este un element favorabil până la adăsurii de 0,5%; nici peste această limită nu se poate vorbi despre o influență negativă a molibdenului asupra sudabilității oțelurilor, în schimb se contribuie la mărirea călibilității, impunând măsuri tehnologice speciale pentru sudare. Efectul cel mai important al molibdenului este cel de reducere al sensibilității oțelului la supraîncălzire [96]. Din această cauză este ales foarte des ca element de aliere pentru ^{oțeluri} destinate pieselor dificile sudate, supuse la solicitări dinamice de torsiune și îndoire, din care se amintesc: arborii cotiți, axe de turbine, malaxoare, generatoare, turbosuflete, pompe pentru lichide calde, angrenaje etc. Din această cauză, astăzi există în tehnică o tendință generală de a înlocui pentru piese sudate oțelurile de îmbunătățire CrNi cu oțeluri CrMo. De exemplu oțelurile elaborate de firma "Böhler" caracterizate prin oțelul VCL-125 cu 0,25% C; 1,1% Cr și 0,2% Mo, care este un oțel sudabil, spre deosebire de oțelul VCN-95W cu 0,24% C; 0,8% Cr și 3,5% Ni; care păstrează aceleași proprietăți de rezistență [96] dar are sudabilitate redusă.

1.2.1.2.-Combinăția de aliere Cr-Mo este una dintre cele mai importante, pentru oțelurile cu proprietăți bune termoresistente. Este de remarcă că, cromul singur nu are o influență hotărâtoare asupra sudabilității termice a oțelurilor, dimpotrivă, la peste 2%Cr oțelurile suferă o înrăutățire a rezistenței lor la temperaturile ridicate, iar în combinație cu 0,2...0,5%Mo se obțin rezistențe înalte la

fluaaj pînă la 600°C.

Combinatia Cr-Mo-V este o varianta de combinare imbunătățită a oțelurilor CrMo pentru realizarea unor proprietăți termorezistente și mai ridicate. In ultimul timp in afară de această varianta se utilizează combinații Cr-Mo-W, Cr-Mo-Nb sau chiar Cr-Mo-Mn (cu adăsurii de Ni, Ti, Nb, Al) in care manganul apare ca element de inlocuire pentru economisirea cromului și molibdenului.

Combinatia de aliere CrMo are nenumărate variante care vor fi discutate in cadrul fiecărei grupe de oțeluri in parte.

Proportia de aliere stabilită prin analize chimice, este primul criteriu de clasificare a oțelurilor CrMo ca și al oțelurilor in general, care ne poate furniza o primă indicație asupra tipului de oțel cu care avem de a face și eventual, asupra proprietăților mecanice și fizico-chimice la care ne putem aștepta (ca de exemplu, rezistența la rupere, rezistența la uzură, rezistența la coroziune etc). Analiza chimică nu este însă suficientă pentru precizarea proprietăților reale ale unui oțel dat, in acest scop fiind necesară cunoașterea stării de tratare termică a oțelului, despre care analiza chimică nu poate ^{da} decât indicații orientative. Și mai dificilă este caracterizarea oțelurilor din punct de vedere al proprietăților plastice, ca de exemplu, sensibilitatea la rupere fragilă in diferite stări structurale, comportarea la diferite sollicitări (statice, ciclice, prin șoc) dar mai ales din punct de vedere al aptitudinilor lor la sudare. Sub acest aspect problema susceptibilității oțelurilor la inițierea și propagarea fisurilor provenite din sudare este una dintre cele mai complexe. Acceptarea sau respingerea unui oțel dat

poate fi făcută din această cauză numai prin încercări tehnologice nemijlocite, analiza chimică și probele mecanice clasice fiind numai încercări verificate.

1.2.2.-Oțeluri noi termorezistente CrMo pentru țevi

La temperaturi mai mari de 300°C , limita de curgere a oțelurilor nealiate scade foarte repede. Din această cauză pentru furnituri privind țevăria casanelor moderne, care lucrează la temperaturi și presiuni ridicate, s-a trecut la folosirea țevilor din oțeluri aliate cu Cr și Mo.

Aceste țevi se caracterizează prin pereți relativi subțiri care sînt supuse unor presiuni mari de exploatare la temperaturi ridicate, trebuie să facă față la prelurarea unor deformații plastice mari, precum și la încălziri repetate atât la fascinare cit și la sudare. În afară de acțiunea apei, aburilor și a atmosferei oxidante a cuptorului, aceste țevi nu sînt expuse unor acțiuni corozive speciale. Din aceste considerente toate oțelurile încadrate în această grupă se caracterizează prin conținuturi reduse de carbon, uneori sub 0,10% și mult mai rar peste 0,22%. Din punct de vedere al rezistenței termice, conținuturi de carbon peste 0,25% sînt chiar dăunătoare. Acelor oțeluri li se pretinde din elaborare și o puritate superioară, conținuturile de S, respectiv de P însumate fiind limitate la 0,02...0,04%.

Numărul oțelurilor aliate pentru țevi este deosebit de mare, fapt la care a contribuit în mare măsură continua tendință de înlocuire a elementelor de aliere deficitare în tehnică. Din această cauză se poate afirma că pare a fi imposibil a face o clasificare a acestor oțeluri. Dacă se ține însă seama de cele prezentate anterior se constată că sistemul combinat de

aliere Cr-Mo este practic cel de bază, celelalte combinații existente fiind variante de înlocuire sau completare. Molibdenul singur în proporții de 0,25...0,35% permite obținerea unor limite de fluaj la 500...550°C de 12 kgf/mm² (proba DVM) iar la 550...600°C de cea 5 kgf/mm². Adăosul de 0,75...1,0% Cr ridică această valoare a rezistenței la 7 kgf/mm², efect care trebuie interpretat ca un rezultat al acțiunii combinate Cr-Mo și nu ca un efect al cromului în sine. Foarte frecvent combinațiile Cr-Mo se înlocuiesc cu variante Cr-Mo-V, care permit obținerea unor limite de fluaj de 7,5...8kgf/mm², la oțelurile Cr-Mo și Cr-Mo-V se tratează în literatură de obicei împreună [101]. Adăosurile de vanadiu de obicei nu întrec în masă aliajului 0,20%. După unii autori ajung la limitele de 0,20...0,35%.

Din punct de vedere al sudabilității, aceste oțeluri nu prezintă dificultăți. Pentru procedee de sudare prin topire se recomandă înăi utilizarea lor în stare detensionată, sau chiar normalizată, iar după sudare este indicată pe cât posibil chiar în condiții de șantier, o recocere tehnică de detensionare la 700...750°C.

Preîncălzirea țevilor se face numai în cazul unor grosimi a pereților de țevi ce depășesc 15 mm; această preîncălzire a capetelor țevilor în vederea asamblării cap la cap prin sudare, se face la 200...300°C.

Pentru sudarea acestor oțeluri se folosesc de obicei materiale de adăos care dau după topire un material depus cu compoziție chimică asemănătoare, respectiv compoziții chimice similare. Legat de această problemă se poate aminti că în anul 1965 au fost standardizați primii electrozi înveliți românești.

destinați sudării oțelurilor termorezistente pentru țevi aliate în Cr și Mo, respectiv sorturile de electrozi El-MoCrB și El-MoCr1B, STAS 7240-69.

Principalele tipuri de oțeluri aliate Cr-Mo pentru țevi, standardizate în țara noastră sînt tipurile OAT-2; OAT-3; OAT-4; OAT-5 SEAS 8184-68, corespondente (după DIN 17170) oțelurilor germane Cr-Mo; respectiv Cr-Mo-V pentru țevi; 15CrMo5.13CrMo44 și 13CrMoV42. Primele două clase sînt similare oțelurilor românești din gama OAT-2 și OAT-3, cel de al treilea neavînd însă un corespondent standardizat de oțel Cr-Mo-V românesc.

1.2.3.-Oțeluri moi Cr-Mo pentru table de cazane

În afară de țevi în construcția cazanelor de abur mai intră tamburi și colectori din tablă groasă a căror solicitare în exploatare este identică cu cea a țevelor în ceea ce privește presiunea, temperatura și atacul chimic. Din punct de vedere al tehnologiei de prelucrare se impun de obicei condiții asemănătoare. În consecință este explicabil că pentru table de cazane se folosesc în principiu aceleași tipuri de oțeluri Cr-Mo ca și pentru țevi. Singura deosebire mai importantă în cazul oțelurilor Cr-Mo folosite pentru construcția cazanelor față de cele pentru țevi constă în grosimea mai mare a materialelor utilizate (sub formă de table) fapt care impune o serie de restricții din punct de vedere al sudabilității. Tocmai această deosebire, în aparență neesențială, este motivul pentru care oțelurile Cr-Mo pentru table de cazane se folosesc în practică cu conținuturi de carbon mai reduse și cu condiții mai stricte de puritate la elaborare. Limita de rupere maximă recomandată pentru table din oțel Cr-Mo destinate montajelor de

de cazane prin sudare este de 56 kgf/mm^2 [101]. Utilizarea la început a unor oțeluri mai rezistente, de către oșerie de firme constructoare de cazane, au dus adesea la fisurarea sau ruperea tamburilor în apropierea îmbinărilor sudate [150]. Alierea cu crom și molibden nu reduce cu nimic sensibilitatea oțelurilor pentru cazane față de fisurare la acțiunea soluțiilor bazice, iar fisurile de acest gen se propagă de preferință intercristalin.

Caracteristicile oțelurilor Cr-Mo pentru table de cazane este prin urmare conținutul redus de carbon și prescrierea limitei de suprafață ca probă martor de recepție în astfel de cazuri.

În tabela 1.4 sînt redată cîteva mărci de oțeluri Cr-Mo și Cr-Mo-V pentru table de cazane sudabile, conform normelor germane după DIN 1629, 17175

Trebuie remarcat faptul că aceste oțeluri sînt recomandate și pentru fabricarea țevilor de cazane.

Deși toate aceste oțeluri, prezentate în tabela 1.4 sînt sudabile prin topire, ele impun în mod practic condiții tehnologice de sudare diferite. Dificultățile cele mai mici însă le dau oțelurile cu maximum 0,20% C și adăosuri de elemente de aliere minime. Din încercările practice rezultă că fără preîncălzire pot fi sudate numai oțelurile cu conținuturi de $\text{C} + \text{Cr} + \text{Mo} + \text{V} = \text{max. } 0,6\%$ [75]; peste această valoare este necesar ca sudarea să se execute pe oțel preîncălzit la minimum 200°C iar după sudare se recomandă în orice condiții, de atelier sau șantier recobacerea de detensionare, sau dacă elementul, respectiv piesa sudată permite, se poate aplica un tratament termic de normalizare. Electrozii folosiți pentru sudarea acestor oțeluri formează o grupă separată de calitate acceptată de toate firmele producătoare din străinătate și din țară,

TABELA 1.4

Oțeluri termoresistente Cr-Mn, Cr-Mn-V pentru table de camioane de proveniență germană
(DIN 1629.17175)

Elemente Ote-Comp.	C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cr %	Mo %	V %	Gr mg/mm ²
15CrMn3	0,10-0,18	0,60-0,90	0,15-0,35	max.0,040	max.0,040	0,60-0,90	0,10-0,20	-	44-53
18CrMn3	0,14-0,22	0,60-0,90	0,15-0,35	max.0,040	max.0,040	0,50-0,60	0,10-0,20	-	44-55
18CrMn44	0,10-0,18	0,40-0,70	0,15-0,35	max.0,040	max.0,040	0,70-1,00	0,40-0,50	-	44-56
16CrMn44	0,12-0,20	0,50-0,80	0,15-0,35	max.0,040	max.0,040	0,90-1,20	0,40-0,50	-	44-56
19CrMnV42	0,10-0,18	0,40-0,70	0,15-0,35	max.0,040	max.0,040	0,90-1,20	0,20-0,30	0,15-0,25	45-60
16CrMnV42	0,12-0,20	0,40-0,70	0,15-0,35	max.0,040	max.0,040	0,90-1,20	0,25-0,35	0,15-0,35	45-60

astfel încît alegerea calității optime a materialului de adaos nu constituie o dificultate.

1.2.4.-Oțeluri Cr-Mn pentru instalații chimice de înaltă presiune

În cadrul acestei grupe de oțeluri se disting următoarele trei sub grupe stabilite după domeniul de utilizare al oțelurilor în industria chimică:

1.2.4.1.-Oțeluri termorezistente cu stabilitate redusă față de hidrogen;

1.2.4.2.-Oțeluri stabile față de hidrogen, însă cu o rezistență termică redusă;

1.2.4.3.-Oțeluri termorezistente și stabile și față de acțiunea hidrogenului.

Această subîmpărțire se bazează pe cele două proprietăți principale pe care trebuie să le îndeplinească oțelurile destinate instalațiilor pentru industria prelucrătoare a țițeiului, cărbunelui și gazului metan, care lucrează la presiuni și temperaturi ridicate, în prezența unor concentrații mai mari sau mai mici de hidrogen. După cum se știe hidrogenul reacționează cu carbura de fier la temperaturi cu atât mai scăzute cu cît presiunea sa este mai ridicată (la presiunea normală această reacție are loc numai la temperaturi ridicate, peste 600°C). În astfel de situații are loc o decarburare a oțelului, iar metanul rezultat din reacție produce în interiorul materialului presiuni ridicate, respectiv tensiuni interne în rețelele cristaline. În acest fel se produce o distrugere a zonelor perlitice din oțel precum și o reducere accentuată a proprietăților mecanice ale acestuia. Pînă la temperatura de exploatare de 400°C sînt periculoase numai presiuni ale hidrogenului de peste 10 at, fapt pentru care pînă la 60 at se admit oțel-

luri fără proprietăți speciale față de hidrogen. Această situație justifică existența subgrupeii anunțată mai sus. La presiuni mai mari ale hidrogenului acțiunea sa fragilizantă asupra oțelului apare chiar la temperatura de 350°C . Din această cauză a fost necesară elaborarea unor oțeluri mai rezistente la acțiunea hidrogenului. Pentru acele părți ale instalațiilor chimice care sînt supuse unor temperaturi mai scăzute se justifică existența semigrupeii (1.2.4.2) de oțeluri. Materialele superioare rezistente atât la temperaturi înalte, cit și la acțiunea hidrogenului sînt cele din subgrupa (1.2.4.3). Aceste oțeluri trebuie să fie folosite cu mult discernămint și numai pentru acele părți ale instalațiilor chimice care sub acest aspect au o motivare tehnică bine întemeiată. Alegerea de exemplu a unor oțeluri Cr-Mo cu 0,5% Cr și 0,8% Mo, pentru elemente supuse acțiunii hidrogenului la temperatura de 300°C , este contraindicată nu numai din punct de vedere economic dar și din punct de vedere tehnologic, intrucît un astfel de oțel este sudabil numai în condiții speciale, luînd în prealabil o serie de măsuri.

1.2.4.1.-Oțeluri termorezistente Cr-Mo cu stabilitate redusă față de hidrogen

Aceste oțeluri se utilizează în cea mai mare parte pentru construcția instalațiilor de combustibili lichizi superiori și a instalațiilor de dehidrogenare. Ele reprezintă o trecere de la oțelurile pentru țevi și cazane la oțeluri pentru industria chimică, avînd față de primele doar un conținut de crom mai ridicat (1,2...1,8%), în anumite cazuri fiind utilizate chiar și ca oțeluri de cazane.

Din punct de vedere al sudabilității se preferă folosirea unor oțeluri cu conținut de C $\leq 0,25\%$; pentru sudarea acestor oțeluri se recomandă în orice situație de sudare (atelier sau

gentier) preîncălzirea la minimum 250°C . Peste grosimea de 6 mm se aplică aproape exclusiv sudarea cu arc electric folosind materiale de adăos cât mai apropiate cu cel de bază supus sudării. În cazul sudării cu arc electric manual folosind electrozi înveliți de fabricație indigenă se iau în considerare sortul de electrozi El-MoCr1B, STAS 7240-69, dar numai în cazul conținutului de crom în masa oțelului de max 1,2% [174, 175, 176, 177].

Trebuie remarcat că pentru această subgrupă de oțeluri își găsește o largă utilizare și oțelurile de tipul Cr-Mn-V.

O altă variantă folosită este Cr-Mo-Si, în care prin adăosuri de 1,0...1,5% Si se mărește rezistența oțelurilor față de formarea peliculelor superficiale de oxizi greu fuzibili. Uneori aceste oțeluri conțin și mici adăosuri de V și Ti.

1.2.4.2.-Oțelurile stabile la acțiunea hidrogenului dar fără rezistență termică specială

Această subgrupă de oțeluri Cr-Mo este relativ restrânsă, întrucât se folosesc de obicei oțeluri fără Mo și cu adăos mărit de Cr care poate atinge 2,5...3,5%, cromul fiind elementul de bază pentru combaterea acțiunii distructive a hidrogenului. Există un singur tip de oțel Cr-Mo de acest gen, utilizat în special pentru țevi și accesorii interioare ale utilajelor chimice; cu următoarele caracteristici: max 0,12% C; max 0,4% Si; max 0,8% Mn; 2,5...3,5% Cr; 0,2...0,4% Mo; $\sigma_c = 28-30 \text{ kgf/mm}^2$; $\sigma_r = 48-50 \text{ kgf/mm}^2$; limita de fluaj la 500°C minimum 8 kgf/mm^2 .

Din punct de vedere al sudabilității aceste oțeluri se comportă deosebit de bine, întrucât din cauza conținutului redus de carbon nu manifestă în timpul procesului de sudare, respectiv răcire, tendințe prea puternice de călire, impunând un tratament termic simplu, ușor de efectuat. Valorile proprietăților mecanice de mai sus se obțin după o recălcire la

850...820°C urmat acest tratament termic de o răcire lentă în aer, sau la 750...750°C lăsaînd ca răcirea să se facă în cuptor. În cazul pieselor supuse sudării, se recomandă folosirea preîncălzirii înainte de sudare la 250°C, cu menținerea acestei temperaturi pe toată durata sudării piesei, operația de sudare urmată de un tratament termic de recăzire la 750...750°C cca 3 ore, lăsaînd elementul, respectiv piesa să se răcească o dată cu cuptorul utilizat în acest scop.

1.2.4.3.-Oțeluri Cr-Mo termorezistente stabile la presiuni ridicate față de acțiunea hidrogenului

Aceste oțeluri se caracterizează prin conținuturi de carbon medii, adică mai mari decît cel al oțelurilor din grupele anterioare și mai mici decît cel al oțelurilor de îmbunătățire din grupa următoare. Sînt utilizate în instalații de sinteză la presiuni înalte (pînă la 1000 at). Întrucît aceste oțeluri au fost utilizate în cea mai mare parte pentru instalații ale secțiilor de azot din industria chimică, sînt cunoscute sub denumirea de oțeluri "N".

La începutul dezvoltării lor, oțelurile "N" nu au fost de tip Cr-Mo ci de tipul Cr-Ni cu conținut de 0,2...0,3%Cr; 2,0...3,0%Cr și 0,5...1,0%Ni; fiind utilizate mai ales pentru fundurile coloanelor de înaltă presiune cu pereți înfîșurați, după cunoscutul sistem SCHIEBENBECK [148]. Mai tîrziu s-a trecut la oțeluri cu conținuturi de 6...7%Cr, deși era cunoscut că din punct de vedere al protecției contra acțiunii hidrogenului, sînt suficiente adăosuri de pînă la 3%Cr. O explicație pentru justificarea oțelurilor "N" cu 6%Cr a fost dată de AUDREMENT care a subliniat că aceste oțeluri au fost utilizate nu atît din motive de rezistență mecanică cît din motive structurale.

El a arătat că pentru obținerea unei stabilități bune față de acțiunea hidrogenului la presiuni și temperaturi înalte este necesară o distribuție fină a carburilor care să nu coaguleze nici la durate lungi de funcționare. De exemplu zonele călite din apropierea sudurilor se disting deosebit de repede datorită tensiunilor interne și dilatării rețelelor cristaline de carburi, respectiv a zonelor de graniță dintre carburi și ferită. Ca o consecință a acestor constatări tratamentul termic de îmbunătățire al oțelurilor "N" după sudare a rămas până azi o condiție obligatorie în tehnica sudării.

Cercetările au dus însă repede la reducerea conținutului de crom de la 6,0% la 3,0% și trecerea de la sistemele Cr-Ni la Cr-Mo respectiv Cr-Mo-W. Aceste oțeluri realizate pentru prima oară în anul 1955 (oțelul N8) a rămas un exemplu de combinare rațională a elementelor optime de aliere. Au fost utilizate mai ales pentru instalații de 300 at. Din aceste oțeluri s-au dezvoltat oțelurile N9 și N10 (tabela 1.5) care sînt cele mai importante oțeluri superioare pentru utilaje chimice.

Din punct de vedere al sudabilității oțelul N8 ocupă locul de frunte, fiind sudabil prin preîncălzire chiar și local la 200...250°C, urmate de o revenire locală la 650...700°C.

Oțelul N9 necesită preîncălzire la minimum 250°C și recoacere directă a elementelor îmbinate prin sudare la 650...700°C fără a permite răcirea lor intermediară. Tratamente locale se admit la aceste oțeluri numai în cazul țevilor pentru a evita eventuale deformare la recoacerea lor totală.

Dificil se sudază oțelul N10. Sub formă de țevi problema sudării se rezolvă prin procedee electrice de sudare prin rezistență cu folosirea obligatorie a unei protecții cu gaze a porțiunii respectiv a zonei de îmbinare. Pentru sudarea cu electrozi înveliți pot fi folosiți electrozii cu compoziție similară cu cea a

TABELA 105

Oțeluri Cr-Mn termorezistente stabile la presiuni ridicate față de acțiunea hidrogenului

Oțel	C %	Mn %	Si %	Cr %	Ni %	Mo %	V %	W %	Calzire °C	Revenire °C	Res. la H ₂
N8	0,12-0,24	0,29-0,50	0,15-0,35	2,5-3,6	-	0,20-0,70	0,01-0,20	0,06-0,6	870-980	680-730	700at 4000g
N9	0,18-0,25	0,30-0,50	max.0,40	2,5-2,8	-	0,20-0,30	0,45-0,65	-	Imbutăcitare la 980-1030 cu răcire în aer lichid		700at 4800g
N10	0,18-0,25	0,30-0,50	max.0,40	2,7-3,0	-	0,35-0,50	0,70-0,85	0,30-0,45	1020-1050	690-730	700at 5600g

metalului de bază, însă numai pînă la conținuturi de carbon de maximum 0,20% și cu condiția aplicării înaintea sudurii a unei preîncălziri totale la 250...350°C urmată după sudare de o receacere de minimum 1 oră la 750°C și răcirea încetă dacă avem posibilitatea, cu cuptorul odată. De obicei se procedează la o nouă îmbunătățire a piesei sudate prin călire în aer (1/2 oră la 1000°C) și revenirea la aer (2 ore la 750°C) cu răcire încetă, de această dată în cuptor pînă la 550°C și apoi în aer liniștit. Sudarea oțelurilor cu conținut de carbon mai mare de 0,20% se face cu electrozi austenitici.

Importanța industrială a oțelurilor Cr-Mo de tipul N8, N9, N10 rezultă din comportarea lor deosebită la temperaturi și presiuni ridicate. Pînă la temperatura de 400°C chiar 550°C ele au o bună rezistență la fluj ($\dot{\sigma}_c$ 0,5/an după 1000 ore); mult mai ridicată decît la oțelurile 18%Cr; 8%Ni. Din această cauză utilizarea oțelurilor scumpe austenitice este justificată mai ales pentru utilajele care lucrează la temperaturi și presiuni ridicate.

În figura 1.2 se prezintă variația rezistenței la cald a oțelurilor N8; N9; N10 față de oțelul austenitic de tipul V2A și V2A-EXTRA.

1.2.5.-Oțelurile Cr-Mo de îmbunătățire

Aceste oțeluri se caracterizează prin posibilitatea de a le mări rezistența la tracțiune printr-un tratament termic de îmbunătățire.

Prin tratamentul termic de îmbunătățire se înțelege călirea oțelului urmat de o revenire; există însă oțeluri la care scopul urmărit poate fi atins printr-o simplă călire la aer, fără a mai fi necesară o revenire. Nu se poate face o delimitare exactă între oțelurile analizate în cadrul acestui capi-

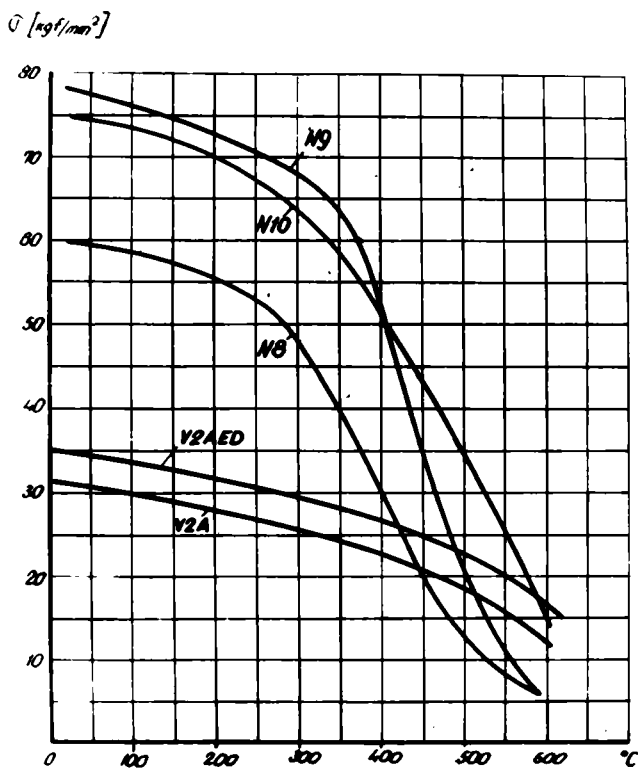


Fig.1.2.-Variația rezistenței la cald a oțelurilor N8, N9, N10, V2A și V2AED

tol și cele de îmbunătățire din punct de vedere al compoziției chimice, totuși se poate constata, în general, că oțelurile de îmbunătățire aliate conțin între 0,2 și 0,55%C. Limita minimă este adesea chiar mai mică de 0,2%C, mai ales la oțelurile destinate pieselor și ansamblurilor sudate.

Ca element de aliere se folosește în primul rând Cr, Mo și Ni, iar ca element însoțitor V și uneori W. Vanadiul ca element

insoțitor se folosește nu numai ca desoxidant ci și ca o metodă practică în oțelării, de a ridica rezistența oțelului, respectiv de a reduce tendința acestor oțeluri la fragilizare la cald. La aceleași valori de rezistență, vanadiul permite aplicarea unor temperaturi mai înalte de revenire.

Utilizarea manganului și a siliciului ca element de aliere în oțeluri de îmbunătățire este considerată ca o soluție de înlocuire a elementelor deficitare de aliere.

În ceea ce privește fragilizarea la cald, respectiv fragilizarea la tratament termic de revenire, a oțelurilor de îmbunătățire, trebuie apreciat, că această tendință o au numai oțelurile Cr-Ni, Cr-V, oțelurile Mn și MnSi. Ea nu se manifestă printr-o stare fragilă a oțelului la temperaturi obișnuite ($+20^{\circ}\text{C}$) decât la revenire încălzirea, respectiv răcirea elementului (piesei) în domeniul cuprins între 400 și 500°C se face încet. Prin "fragilizare la cald" nu trebuie însă înțeleasă o fragilizare la cald a acestor oțeluri, reducerea plasticității materialului manifestându-se numai după răcirea oțelului. La temperaturi ridicate de exemplu, domeniul de $400...500^{\circ}\text{C}$, nu există pericolul de fragilitate nici la oțelurile Cr-Ni care la rece sînt cele mai sensibile din acest punct de vedere. Practic ruperile de acest gen se produc la pornirea mașinilor, punerea în stare de funcționare a instalațiilor și aparatelor, la lucrări de reparații etc. Cauzele acestui fenomen nu sînt pînă în prezent clarificate. Unii cercetători îl compară cu fragilitatea oțelului la temperaturi scăzute [52, 81] iar alții consideră că fragilizarea la cald este o consecință a separării unor carburi speciale la granițele granulelor structurale.

Recent, cercetările pentru reactoarele atomice realizate din oțeluri de tipul Cr-Ni-Mo (cu adăos de Ti, Nb și Al) au confirmat existența după recoaceri repetate asupra unor astfel de

oțeluri a unor faze de carburi create, de tipul Mo_3C [81].

Din punct de vedere practic este important de subliniat că oțelurile Ni lipsite de Cr, oțelurile Mo, dar mai ales oțelurile Cr-Mo nu sînt de loc sensibile la fragilizare la cald. Molibdenul previne această sensibilitate a oțelurilor chiar și la adaosuri foarte mici, combinația cu crom anulează efectul dăunător al acestuia.

Oțelurile sensibile la fragilizare la cald trebuie răsrite rapid la revenire din care cauză se prescrie răcirea lor forțată în apă sau aer și se evită răcirea lentă în cuptor. După efectuarea răcirii bruste se recomandă uneori detensionări suplimentare la temperaturi înaltă sub $400^{\circ}C$. Oțelurilor fragilizate li se face un nou tratament de îmbunătățire prin care își recapătă starea termică.

La alegerea tipului de oțel de îmbunătățire trebuie să se țină seama de scopul urmărit: rezistență și tenacitate, omogenitatea tratamentului în adîncimea pieselor groase, sau rezistență înaltă la temperaturi ridicate.

Rezistența și tenacitatea ridicată la temperaturi normale recomandă în primul rînd oțelurile Cr-Ni și Cr-Ni-Mo, care au dominat mulți ani domeniile de utilizare respective. Din motive de economie de nichel s-a trecut încă înainte de cel de al doilea război mondial la oțeluri Cr-Mo care au devenit cea mai importantă grupă de înlocuire a oțelurilor cu nichel. Dezvoltarea construcțiilor sudate a contribuit în mare măsură la extinderea utilizării oțelurilor Cr-Mo, avînd proprietăți de sudabilitate incomparabil mai bune decît oțelurile Cr-Ni și Cr-Ni-Mo.

Adîncimi mari de călire se obțin în primul rînd prin ridicarea conținutului de carbon și prin alegerea unor elemente de aliere care coboară viteza critică de răcire. Din această cauză la piese

grosse și cu rezistențe mari în adâncime (peste 100 kgf/cm^2), nichelul este indispensabil. Rezultate foarte bune se obțin însă și cu combinațiile de aliere Cr-Mo și Cr-Mo-V. Aceste oțeluri fiind foarte călibile (autocălibile la aer) în locul tratamentului clasic de călire se aplică așa numitul "Tratament Bain", care constă în realizarea structurii de îmbunătățire nu prin intermediul martensitei ci direct din domeniul austenitic.

La oțelurile cu 3% Cr acest tratament se poate uneori realiza prin simpla răcire la aer a pieselor de la temperatura de prelucrare la cald [150].

Rezistența la temperaturi înalte se obține, după cum s-a mai arătat prin alierea oțelului în special cu Mo, dar mai ales prin realizarea unei structuri de îmbunătățire optime din punct de vedere al granulației și repartiției carburilor. Din această cauză oțelurile cu această destinație se tratează cu multă grijă, prin respectarea exactă a temperaturilor de încălzire și vitezelor de răcire, în timpul sudării și prelucrării lor în construcții montate. Trebuie remarcat aici că, uneori nu sînt indicate nici granulații prea fine și repartiții prea omogene de carburi, întrucît prin aceasta se mărește capacitatea de difuzie a acestora din urmă și tendința lor spre coagulare. De asemenea este important că în cazul adăsurilor de vanadiu la oțeluri Cr-Mo temperaturile de călire trebuie să fie suficient de înalte (chiar peste 1000°C) datorită sensibilității reduse a carburilor de vanadiu.

Oțelurile Cr-Mo termoresistente cu posibilități de îmbunătățire au fost tratate la oțelurile pentru țevi, pentru cazane și pentru utilaj chimic. La acestea se adaugă așa numitele "oțeluri K", cunoscute ca "oțeluri speciale pentru instalații de înaltă presiune" care însă din cauza conținuturilor ridicate de carbon au fost utilizate, aproape exclusiv pentru organe de îmbi-

nare (buloane, guruburi) și nu în scopul execuției de piese sudate. În ultimul timp se observă însă, că din cauza sensibilității lor pronunțate la fragilizare la cald se revine treptat la oțeluri Cr-Ni-Mo și Cr-Ni-V cu maximum 0,35% C.

Pentru recipienti sudați, confecționați cu pereți groși și supuși la temperaturi, respectiv presiuni înalte, cum sînt de exemplu cei pentru reactori nucleari, s-a revenit în majoritate la oțeluri Cr-Ni-Mo cu conținuturi scăzute de carbon (0,08...0,15%) cum este de exemplu și cel amintit la punctul (1.2.4.3), cu adăos de Ti, Nb și Al [161].

Reprezentanții cei mai importanți ai oțelurilor Cr-Mo de îmbunătățire sînt cunoscutele mărci VCrMo după DIN-ul vechi, respectiv Cr-Mo după DIN 17200. Dintre oțelurile aliate de cementare și îmbunătățire românești tipul Cr-Mo, are trei reprezentanți: 55MoCr11, 41MoCr11 și 41MoCr17 (ultimul cu adăos de V) ale căror caracteristici sînt date în STAS 791-63.

Din punct de vedere al sudabilității cele mai importante oțeluri Cr-Mo de îmbunătățire sînt cele cu conținut de maximum 0,3%C. Si aceste oțeluri se deosebesc după conținutul de crom. Pînă la 1,2xCr este practic suficientă o preîncălzire a elementelor supuse sudării, la 200...350°C, intervalul de temperatură variînd în limita arătate în funcție de grosimea peretelui supus sudării. Piesele după sudare sînt supuse unui tratament termic de recăzere la 680...720°C și răcite în aer. La conținuturi de carbon pînă la 0,5%, temperatura de preîncălzire trebuie mărită la 250...450°C, iar după sudare să se aplice pe cît posibil un tratament complet de îmbunătățire. Această ultimă condiție este absolut necesară la oțeluri destinate temperaturilor ridicate de exploatare, din cauza considerentelor amintite mai sus.

Oțelurile Cr-Mo de îmbunătățire cu conținut peste 0,3%C sînt caracterizate în general ca oțeluri foarte greu sudabile, se poate

afirma că sînt limitat sudabile. De exemplu mărcile VCL135, VCL140 și VCL150 (34CrMo4 după normele DIN17006), sînt contraindicate pentru a fi sudate, de însăși firma "Böhler". Cu toate acestea practica a demonstrat că este posibilă sudarea lor prin aplicarea unor măsuri tehnologice speciale, care se recomandă însă numai pentru cazuri extreme.

Dificultatea cea mai mare o reprezintă pericolul de fisurare a senelor de influență termică ale sudurilor executate, care este de obicei atît de mare încît nu poate fi stăpînită și deci garantată evitarea completă și sigură a formării fisurilor.

Dintre oțelurile Cr-Mo-V sudabile se pot considera ca oțeluri de îmbunătățire cele amintite la punctul 1.2.3 (oțeluri pentru cazane), la care se mai adaugă mărcile 24CrMoV52 și 24CrMoV55 din tabela 1.6.

TABELA 1.6

Oțeluri Cr-Mo-V de îmbunătățire sudabile

Oțelul	C %	Mn %	Si %	S %	P %	Cr %	Mo %	V %	OSB
24CrMoV52	0,20-	0,40-	0,15	max	max	1,1-	0,20-	0,20-	Oțeluri satisfă- cător sudabile
	0,28	0,70	0,35	0,035	0,035	1,4	0,25	0,30	
24CrMoV55	0,20-	0,40-	0,15	max	max	1,2-	0,50-	0,15	Oțeluri satisfă- cător sudabile
	0,28	0,70	0,35	0,035	0,035	1,5	0,60	0,25	

1.3.-Cercetări în domeniul sudării oțelurilor termo- rezistente

1.3.1.-Studiul sudabilității oțelurilor cu crom-molibden prezintă un interes deosebit pentru industria termică, industria petrolieră și industria aeronautică.

Sub aspectul sudabilității oțelurilor cu crom-molibden se disting două tipuri:

-oțeluri de tip semirefractar, luând în considerare elementele ce dau aceste caracteristici oțelului; este vorba de oțeluri cu 0,5...0,8% crom și 0,5-1,0% molibden, însă conținutul în carbon redus sub 0,15%;

-oțeluri cu 1% crom și 0,30% molibden, însă cu conținut de carbon mai ridicat, 0,25-0,35% C (oțeluri de tip 25 CD4 după normele franceze).

1.3.2.-Sudabilitatea oțelurilor cu Cr-Mo de tip refractar [81]. Oțelurile de acest tip, întrebuințate în construcții de utilaje și echipamente petroliere sînt rezistente la fluaș și oxidare în limitele de temperaturi 400-650°C [81].

După specificațiile americane ASTM aceste oțeluri pot fi de diverse tipuri (diverse nuanțe), tabela 1.7.

Se precizează că din această gamă de oțeluri cea mai importantă este grupa oțelurilor cu 4...6% crom și cu 0,5% molibden, a cărei alegere se poate justifica prin rezistența sa chimică la gaze oxidante pînă la temperatura de 650°C, în multe situații comportîndu-se bine, chiar pînă la 750°C, caz în care oțelurile au un conținut ridicat de siliciu.

De asemenea se poate menționa rezistența mare la acțiunea hidrogenului, a hidrocarburilor și a gazelor sulfuroase, oțelul respectiv fiind îmbunătățit în cazul temperaturilor mai mari de 550°C.

Anumite oțeluri prezentate în tabela 1.7 au devenit în tehnica construcțiilor prin sudare material preferat pentru construcția aparatelor pentru rafinării, cazane, camere de sinteză, canalizări etc [150].

Cercetările metalurgice au arătat că molibdenul și cromul, elemente alfa-gene, stabilizează faza α și tind în același timp să reducă domeniul austenitic.

Carbonul element gamma-gen acționează în sens contrar molibdenului și cromului. În consecință, diagrama fier-carbon suferă transformări prin adaosul de crom, liniile diagramei (fig.1.3) se deplasează pentru a reduce domeniul γ . Se observă că dimpotrivă domeniul fazei δ se extinde prin deplasarea punctului A_4 de la 1400 la 1200°C pentru oțeluri cu 6% crom [150].

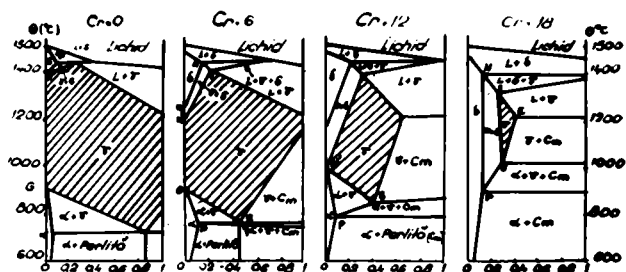


Fig.1.3.-Influența cromului asupra deplasării liniilor din diagrama fier-carbon

Consecința cea mai importantă a adaosului de crom în oțeluri rezidă în deplasarea punctului "a" către stânga, cu reducerea domeniului $\alpha + \gamma$.

Deși această deplasare este puțin sensibilă pentru oțelurile cu 0,5...1%Cr, ea devine practic mai importantă pentru oțelurile cu mult crom; astfel pentru oțelurile cu 6% crom, punctul eutec-

TABELA 1aZ
**Indicările calității de oțel cromo-molibden întrebunțat în industria petrolieră după specificațiile
 americane ASTM**

Numărul oțelului cer- cetat	ANALIZA CHIMICĂ						Temperatura critică	
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ac1	Ac3	
0,50	0,10-0,20	0,30-0,60	0,10-0,30	0,50-0,70	0,45-0,65	760	880	
1,25	≤ 0,15	0,30-0,60	≤ 0,50	1 - 1,50	0,45-0,65	775	890	
2	≤ 0,15	0,30-0,60	≤ 0,50	1,75-2,25	0,45-0,65	780	880	
2,25	≤ 0,15	0,30-0,60	≤ 0,50	2 - 2,50	0,30-1,10	780	860	
5	≤ 0,15	0,30-0,60	≤ 0,50	4 - 6	0,45-0,65	810	882	
5 H	≤ 0,15	0,30-0,60	1-2	4 - 6	0,45-0,65	845	877	
7	≤ 0,15	0,30-0,60	≤ 0,5-1	6 - 8	0,45-0,65	827	882	
9 H	≤ 0,15	0,30-0,60	1	8 -10	0,90-1,10	824	895	
	S și P:	≤ 0,02%						

tie "s" se va situa către 0,45% carbon în masa oțelului, în loc de 0,65% pentru aliajul fier-carbon.

Linia de transformare A_1 pentru oțelurile cu 6% Cr se ridică în mod ordonat de la 720 la 780°C făcând să apară un domeniu cu trei faze $\alpha + \delta +$ carburi, în intervalul de temperaturi cuprinse între 750...780°C. Ca urmare a acestui fapt, perlita oțelurilor cu crom sărăcește în carbon, oțelul este hipereutectoid cu 0,5% carbon.

Pe de altă parte, carbonul din cromul o cementită cu crom care are o viteză de dizolvare lentă în austenită, ceea ce necesită temperaturi de austenitizare mai ridicate decât pentru oțelurile obișnuite. Astfel, temperatura de călire a oțelurilor bogate în crom se situează foarte adesea la temperaturi de peste 1000°C. Practic se observă că pentru cicluri termice de sudare cu încălzire și răcire forțată (rapidă), carbura nu poate fi dizolvată decât parțial.

1.3.3.-Strîns legată de aceasta este interesant de urmărit puterea de călire a oțelurilor cu crom-molibden.

Curbele T,T.T. de descompunere izotermă a austenitei pentru aceste mărci de oțel (fig.1.4) slab aliat, prezintă trei zone distincte:

-un domeniu superior A_1' ce corespunde formării perlitei sau segregărilor lamelare, a căror perioadă de incubare variază în funcție de conținutul cu crom [150] ;

-o zonă de stabilitate a austenitei pentru temperaturile intermediare, pentru care descompunerea austenitei este limitată, chiar după un timp prelungit. Această zonă corespunde cu transformarea A_2'' sau bainitică;

-o zonă de descompunere rapidă în domeniul temperaturilor joase, sub 400°C, care corespunde transformării inferioare A_3' sau martensitice.

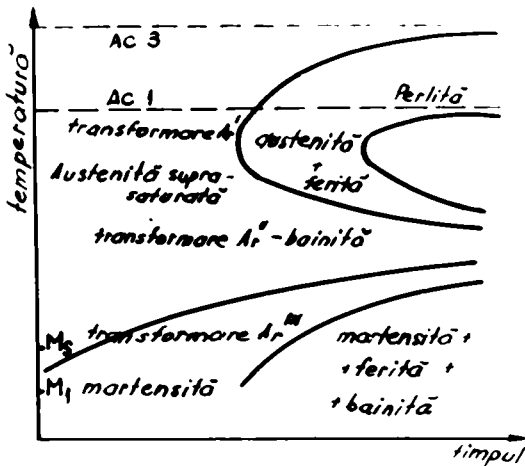


Fig.1.4.-Forma generală a curbelor de descompunere izoterme TTT a oțelurilor cu crom-molibden slab aliate peste 12000°C/min, cu călire în apă, structura finală obținută este martensită fină; pentru viteze cuprinse între 12000 și 1800°C/min, structurile rezultate sînt amestecuri complexe de ferită, bainită și martensită.

Pentru definirea structurilor obținute prin răcire rapidă, trebuie să se considere diagrama anizotermă la răcirea continuă (fig.1.5), diagramă ce delimitează zonele diferitelor transformări (oțel cu 0,5% Cr și 0,5% Mo), [1, 15].

Pentru o răcire foarte rapidă corespunzătoare unei viteze de încălzire a oțelului

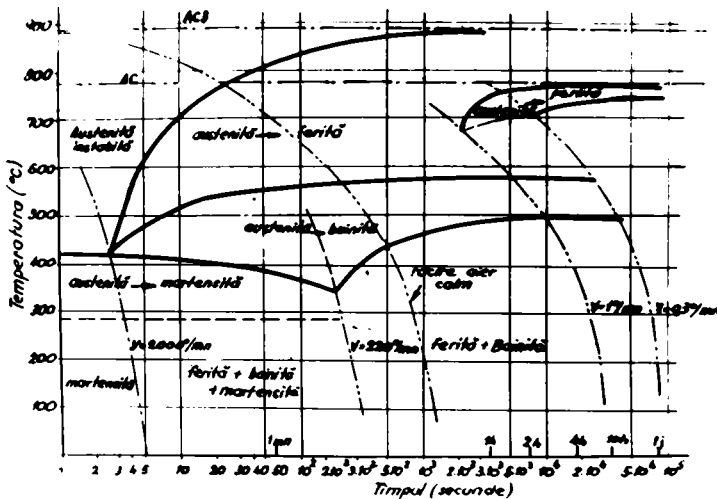


Fig.1.5.-Diagrama de transformare anizotermă a oțelului 0,5 Cr-0,5Mo

In cazul vitezelor de răcire mai lente se pot observa bainite pure sau amestecuri complexe de bainită-ferită.

Structurile care se alătură agregatului lamelar, nu se pot dezvolta decât în zone foarte reduse situate la temperaturi ridicate. În exemplul ales, apariția feritei se va produce prin tratament la peste 600°C , pentru o durată de 500 secunde.

Transformarea perlitică se situează către 700°C pentru a menținere de 10^4 secunde ceea ce corespunde cu cca 3 h.

Astfel, la sudurile executate cu flacără oxiacetilenică fără preîncălzire, lucrând pe elemente reci, ale căror viteze de răcire a sondei topite sînt de ordinul a $350^{\circ}\text{C}/\text{minut}$, se vor forma în special structuri bainitice sau de ferită proeutectoidă; același fenomen se va produce și în zonele supraîncălzite.

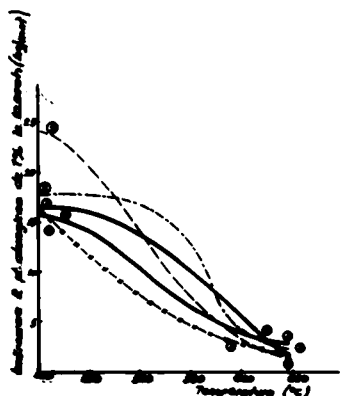
În cazul sudării cu arcul electric fără preîncălzire, viteza de răcire se apropie de curba 1 ($v=5000\dots 10000^{\circ}\text{C}/\text{min}$) și ca un efect imediat al acestui procedeu, structurile vor fi mai călite, formate din amestec de martensită și de bainită cu urme de ferită.

Diagrama izotermă arată sensibilitatea deosebită ce o au oțelurile cu crom-molibden la fenomenul de călire și în consecință sensibilitatea la fisurare: de aceea în tehnica sudării acestor oțeluri trebuie subliniată importanța preîncălzirii înainte de sudare și a tratamentului termic după sudare. Aceasta pentru apropierea în final de structurile de echilibru scontate. În acest tratament termic, cei doi factori, temperatură și timp, vor juca un rol important mai ales în ceea ce privește calitățile ce trebuie să le aibă îmbinările la flăuj.

Dacă cromul intervine asupra rezistenței la oxidare, se știe că molibdenul ameliorează net proprietățile la flăuj ale oțelurilor. Astfel, influența molibdenului asupra flăujului a constituit obiectul a numeroase studii, dintre care câteva exemple sînt gru-

pate în figurile 1.6 și 1.7.

În prima figură se reprezintă sarcinile necesare pentru o alungire de 1% în 1000 h, această în funcție de temperatură pentru diferite mărci de oțeluri cu Cr-Mo; Mn-Mo; Cr-Mo.



Curbe	C	Mn	Si	Cr	Mo
1	< 0,20	< 0,50	< 0,20	=	0,45-0,65
2	< 0,25	0,20-0,40	0,20-0,30	=	0,20-0,30
3	0,25	0,20-0,40	0,20-0,30	1-1,50	0,20-0,30
4	0,25	< 0,50	0,20-0,30	2,25-3,75	0,20-0,30
5	0,25	< 0,50	< 0,60	4-8	0,20-0,30

Fig.1.6.-Proprietăți de fluaj a diferitelor oțeluri de tip semi-refractor (încărcări pentru 1% alungire în 1000 h)

Din această figură se observă că un oțel fără crom având însă 0,5% molibden (curba 1), se comportă la fel de bine ca și un oțel ce are în compoziția sa 4...6% crom și 0,5% molibden (curba 5), cel puțin pînă la temperatura de 600°C. Trebuie reținut totuși că oțelul fără crom se va distruge mai rapid prin oxidare la cald, lucru dovedit în exploatarea acestora în astfel de medii sau regimuri termice deosebite față de cele curent instituite.

Figura 1.7 arată efectul adăosului de 0,5% molibden în oțelul cu 5% crom, asupra proprietăților sale de fluaj [101, 150].

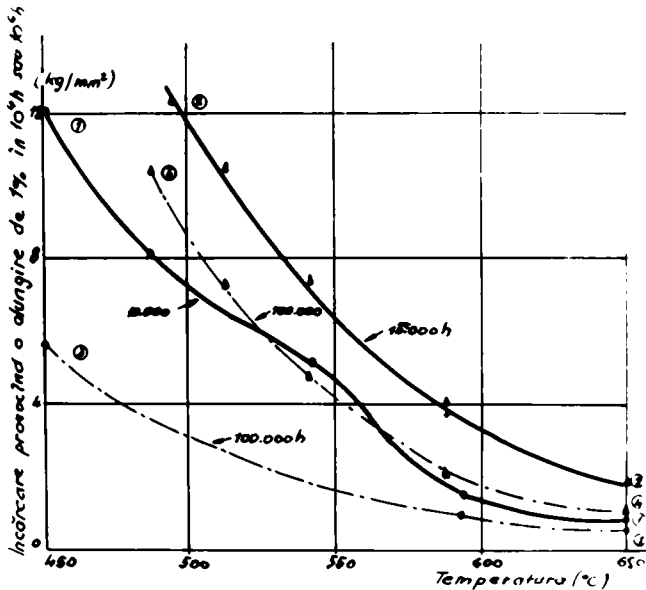


Fig.1.7.-Proprietățile de fluaj ale oțelurilor cu 5% Cr cu și fără adăos de Mo: - curba 1, 3 oțel cu 5%Cr; - curba 2, 4 oțel cu 5% Cr și 0,5% Mo

Diagrama TTT a oțelului termorezistent cu 0,15% C stabilă pe baza microfografiilor asupra epruvetelor tratate [35, 36 38] arată 3 zone (tabela 1.8):

- o zonă de decompunere rapidă a austenitei sub 400°C cu obținere martensitei sau amestecului de martensită și bainită în funcție de viteza de răcire;
- o zonă de descompunere brută la 700°C cu o perioadă de incubare de minimum 10 zile;
- o zonă de stabilitate a austenitei între 500-600°C, cercetările neputând pune în evidență un început al descompunerii austenitei chiar cu un tratament prelungit la 48 ore.

Influenta tratamentelor termice asupra structurii si asupra caracteristicilor mecanice ale oțelurilor termoresistente cu 0,5...0,75%Cr si 0,35...0,5% Mo

Spre vechi	C ă l i r e	K e v e n i r e	S t r u c t u r ă	σ_r (1)	σ_c (R ₀)	δ_5 (A ₅)	Stricțiune 4%
A	900°C Încălire în aer	675°C-2h Încălire în aer	Fază superioară	46,1	39,0	30,5	76
B	900-700°C-2h Încălire în aer	600°C - 2h Încălire în aer	Ferilită coalescentă	47,7	32,5	31,9	71,4
K	1200-700°C-2h Încălire în aer	600°C - 2h Încălire în aer	Fază superioară	48,0	30,6	26,9	67,6
M	1200°C Încălire în cuptor	600°C - 2h Încălire în aer	Fază superioară	44,8	25,6	34,7	65,2
D	900-550°C-30 min Încălire în apă	600°C-2h Încălire în aer	Ferită dipsectoidă	59,4	49,7	18	72,8
C	900-300°C-30 min Încălire în aer	600°C-2h Încălire în aer	Fază inferioară fă + ferită	70,0	59,9	18,7	72
H	1200°C Încălire în apă	600°C-2h Încălire în apă	Fază sorbită în fază de	60,0	51	18,7	68,5
P	1200-700°C-1h Încălire în aer	600°C-2h Încălire în aer	Fază inferioară fă cu ferită	70,8	57,9	34,7	68,6
E	900°C Încălire în apă	600°C-2h Încălire în aer	Ferită aciculară	60,4	74	16,7	70,3
L	1200°C Încălire în apă	600°C-2h Încălire în aer	Fază inferioară	86,6	84,1	15,3	67,6

**1.4.-Standarde și normative folosite la alegerea și
sudarea conductelor din oțeluri termoresistente în țara noastră**

1.4.1.-Clasificarea conductelor de abur și de apă fierbinte

O clasificare a conductelor de abur și apă fierbinte se face conform prescripțiilor și recomandărilor tehnice elaborate de organele oficiale competente (ISCIR-RSN, KOTLONADZOR-URSS, AFAVE Franța, etc). Se fac referiri la execuția, montarea, exploatarea în condițiile unei depline securități tehnice, întreținerea, revizia (controlul) și chiar repararea conductelor de abur și de apă fierbinte staționare, prin care se vehiculează abur la presiuni mai mari de 2 at, sau apă fierbinte la temperaturi mai mari de 120°C.

În general conductele de abur și de apă fierbinte se clasifică funcție de parametrii mediului de exploatare, în patru categorii (tabela 1.9).

În conformitate cu instrucțiunile tehnice GPNR.02 TS-66 (KOTLONADZOR-URSS) conductele termoenergetice funcționează la presiuni de 40 - 225 kgf/cm² și temperaturi până la 600°C.

Ținând seama de clasificarea prezentată în tabela 1.9 rezultă că în general conductele termoenergetice sînt conductele din categoria I [96]. Toate conductele sau recipientii care fac parte integrantă din sistemele de construcții energetice (colec-toare, separatoare de condensatoare, etc) vor respecta instrucțiunile tehnice ISCIR C4-66.

Secțiunea transversală a tubulașurii poate avea în general diverse forme (pătrată, dreptunghiulară, eliptică, ovoidală, etc) de regulă însă tubulatura conductelor termoenergetice este circulară în secțiune transversală

TABELA 1.9

Clasificarea conductelor de abur și de apă fierbinte din punct de vedere al siguranței tehnice în exploatare

Categoria conductei	Mediul de exploatare al conductei	Parametri nominali ai conductei	
		Pres. de exploatare, maximă kgf/cm ²	Temperatura de exploatare, maximă °C
DUPA NORMELE SOVIETICE *)			
1	Abur supraîncălzit	Indiferent de presiune	De la 610-660 De la 570-610 De la 450-570
	Abur saturat Apă fierbinte	> 184	> 120
2	Abur supraîncălzit	≤ 39	De la 300-450
	Abur saturat Apă fierbinte	De la 80-184	> 120
	Abur saturat Apă fierbinte	De la 16-80	> 120
	Abur supraîncălzit Abur saturat Apă fierbinte	De la 1 - 16	De la 120-250
DUPA PRESCRIPTIILE TEHNICE IGSCCP - ISCIR (STAS 20014-69)			
I	Abur supraîncălzit	> 50	> 450
II	Abur supraîncălzit	De la 20-50	De la 400-450
III	Abur supraîncălzit Abur saturat Apă fierbinte	De la 20-50	De la 300-400
IV	Abur supraîncălzit Abur saturat Apă fierbinte	De la 1 - 20	De la 120-300

*) Exploatarea parovih kotlov i porotrubopro vodov. Izdanie oficialnoe. Kiev, Tehnica, 1969, p.470

Secțiunea circulară este avantajoasă prin comoditatea execuției și prin preluarea uniformă a solicitărilor produse de suprapresiunea interioară a fluidului transportat.

Principalele elemente dimensionale ale tubulaturii sînt:

- diametrul interior, D_1 ;
- diametrul exterior, D_0 ;
- grosimea de rezistență a peretelui, s ;
- grosimea totală a peretelui, s_1 ;
- lungimea țevilor sau tuburilor, l .

Pentru calculul de rezistență se distinge:

-tubulatură cu perete subțire, pentru care este îndeplinită condiția:

$$\frac{s}{D_1} \leq 0,05 \quad \text{sau} \quad \frac{D_0}{D_1} \leq 1,1$$

-tubulatură cu perete gros, la care se impune:

$$\frac{s}{D_1} > 0,05 \quad \text{sau} \quad \frac{D_0}{D_1} > 1,1$$

Tevele din oțel pentru conducte, ca principal element al tubulaturii pot fi: -țevi fără sudură, sau
-țevi sudate

În țara noastră aceste țevi sînt clasificate și standardizate după destinația lor în:

- țevi din oțel fără sudură, laminate la cald, pentru construcții (folosite în diferite construcții de mașini și instalații);
- țevi din oțel fără sudură, pentru instalații utilizate în general, pentru transportul apei, al gazului metan și al aburului;
- țevi grele și extragrele pentru conducte folosite în construcții montaje prin sudare a unităților termoelectrice și a conductelor tehnologice calde.

Dimensiunile de fabricare ale acestor țevi sînt normalizate (tabela 1.10.)

Tevele sudate se realizează din platbenzi prin sudare pe gene-

ratoare sau elicoidale.

TABELA 1.10.

Intervalele de dimensiuni ale țevilor din oțel pentru conducte

Nr. crt.	Tipul țevii conform STAS	DIMENSIUNI IN mm		
		Intervalul diametrelor exterioare D_e	Intervalul grosimilor de perete s , în funcție de D_e	Intervalul lungimilor normale de fabricație l
1.	Tevi laminate la cald pt. construcții STAS 404-66	25-530	2,60-36	4000-12500
2.	Tevi trase sau laminate la rece pt. construcții STAS 530-66	4-210	0,5 -10	1500-3000
3.	Tevi pt. instalații STAS 403-66	10,4-166,5	1,80-5,40	4000-12000
4.	Tevi grele și extre-grele pt. conducte STAS 2665-66	10,3-325,5	2,41-22,22	3000-12000
5.	Tevi sudate longitudinal pt. construcții STAS 7657-66	8-114	1,00-4,50	4000-8000
6.	Tevi sudate longitudinal pt. instalații STAS 7657-66	17,1-114,9	1,80-4,50	4000-8000
7.	Tevi sudate elicoidal pt. uz general STAS 6838/1-68	419-1020	7,00-12,00	6000-16000
8.	Tevi sudate elicoidal pt. conducte STAS 6898/2-68	529-1020	7,00-12,00	6000-16000

În țara noastră aceste țevi sînt standardizate și clasificate în funcție de tipul și destinația lor în:

- țevi din oțel sudate longitudinal, pentru construcții, folosite pentru construcții metalice, de aparate, conducte pentru fluide etc
- țevi din oțel sudate longitudinal pentru instalații, utilizate pentru transportul apei, gazului metan și aburului;

- țevi din oțel sudate elicoidal pentru uz general;
- țevi din oțel sudate elicoidal pentru conducte, întrebuințate în construcția de conducte, aparate și recipiente.

Dimensiunile de fabricație sînt de asemenea normalizate (tabela 1.10).

Se precizează că pentru realizarea lungimilor necesare sau pentru oricare alte motive, nu este admisă (conform STAS 20014-69) utilizarea unor adăosuri de porțiuni de țevă cu lungime mai mică decît diametrul nominal al conductei, lungimea minimă admisibilă trebuind să fie de cel puțin 200 mm.

În majoritatea cazurilor tubulatura conductelor termoelectrice se realizează din metale și aliaje ferose folosindu-se cu precădere oțelurile Siemens-Martin și electrice, care îndeplinesc cerințele prescripțiilor tehnice ale ISCIR (STAS 20014-69) și ale altor condiții tehnice în vigoare [174, 175, 176, 177].

În funcție de condițiile de lucru țevile din oțel folosite în construcția conductelor de abur și de apă fierbinte se vor alege în conformitate cu recomandările centralizate în tabela 1.11 după KOTIOWADZOR (1962-URSS).

Se precizează că, în prezent, în construcția de conducte termoelectrice, în URSS se folosesc cu precădere elementele executate din următoarele oțeluri: 20-15GS, 15-HM, 12HLMF, 15HLMF, 12H2MFB, (EL-531), 12H2MFSR, 1H16W12T, 15HLMFL, 20HMFL și 25L.

În legătură cu utilizarea recomandărilor prezentate în tabela 1.11 se precizează următoarele:

- încercările mecanice și tehnologice ale țevilor dintr-un lot se face prin sondaj, cu excepția țevilor destinate a lucra în cadrul unor centrale termoelectrice la $p > 100 \text{ kgf/cm}^2$ și care se încercă bucată cu bucată;
- indiferent de presiunea de lucru, țevilor din mărcile 12HLMF și 15HLMF, oțeluri cercetate în cadrul lucrării de doctorat, li se

TABLELA 1.1A

Tevi din oțeluri folosite în construcția conductelor de abur și de apă fierbinte. Recomandări de utilizare

Nr. crt.	Marca oțelului	GOST	TAE	Tipul tevelor în utilizare		Temperatura medie în lucru t _{med} , în sau 6 max. P _{max} kgf/cm ²	Cerințe
				Tipul tevelor în utilizare	Temperatura medie în lucru t _{med} , în sau 6 max. P _{max} kgf/cm ²		
0			2	3	4	5	6
1.-	St 2, St 3 GOST 380-60 GOST 9542-60	OL 24, (OL 38) STAE 500/2-68	OL 24, (OL 38) STAE 500/2-68	obligate întrite (sigara)	GOST 3262-62	n ≤ 10 Pn ≤ 16	Încercări pe epruvete conform GOST 3262 - 62
2.-	St 2, St 3 GOST 380-60	OL 24, (OL 38) STAE 500/2-68	OL 24, (OL 38) STAE 500/2-68	S u d a t e	200	Pn ≤ 16	Încercarea hidrolică la rece cu Pp > Pn 1,5 Conform GOST 1753-53
3.-	10, 20 GOST 1050-60	OL 10, (OL 20) STAE 860-66	OL 10, (OL 20) STAE 860-66	GOST 1755 - 53	200	Pn ≤ 16	Încercarea hidrolică la rece, proba se face la Pp > 1,5 Pn, conform GOST 1753-53
4.-	V. St 2, St 3 GOST 380-60	OL 24, (OL 38) STAE 500/2-68	OL 24, (OL 38) STAE 500/2-68	date elicoide GOST 8596-62 (grupele a și	200	Pn ≤ 25	Încercarea hidrolică la rece, proba se face la Pp > 1,5 Pn, conform GOST 1753-53
5.-	1002SD GOST 5098-65	-	-	date elicoide GOST 4015-53	200	Pn ≤ 25	Încercarea hidrolică la rece Pp > 1,5 Pn GOST 4015-68 Control defectoscopic 100% radiografic sau ultrasonic

T A B E L A 1.11 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6
7.-	1002BD (MK) 14 H08 GOST 5058-65	-	S u d a t e CMTU Ukr N171 182-60	400	m < 21	Incercarea pentru pro- be se face conform CMTU Ukr N171 182-60
8.-	14 GH 19 G GOST 5058-65	19 K10 STAS 6908-64	S u d a t e CMTU Ukr N171 182-60	300	F < 16	Incercarea se face con- form CMTU Ukr CMTU 42-60
9.-	15 GS GOST 5058-65	OLR 35 K OUT 45 K STAS 6184-68	S u d a t e CMTU Ukr N171	340	p < 43	Control defectoscopic 100% radiografic sau ultrasonice
10.-	38 2, St 3 GOST 380-60	OL 34, OL 37 (OL 38) STAS 500/2-68	Laminare (fără sudură) GOST 8721-56	300	p < 22	Incercarea probei se face conform GOST 8721-56 și 8723-58
11.-	10, 20 GOST 1050-60	OLC 10, CFC 20 STAS 830-68	8723-56	450 300	p < 60 p < 80	
12.-	20	OLQ 20		450	n nelimitat	
13.-	15GS	-		450	nelimitat	Incercările se fac conform GOST 10802 - 64
14.-	15GM	15G 0V2		500	nelimitat	
15.-	15HMF	-		505	nelimitat	
16.-	15HMFP	-		505	nelimitat	
17.-	15H2MF	-		600	nelimitat	
18.-	15HM120	-		610	nelimitat	
19.-	15HM14	-	Laminare (fără sudură) CMTU Ukr N171	610	nelimitat	
20.-	15GN18V2H	-		650	nelimitat	
21.-	15GN14V2H	-		650	nelimitat	
22.-	15GN16V2H	-		650	nelimitat	

fac încercări de reziliență;

-analiza compoziției chimice în fabrica producătoare este făcută pe lingou sau taglă; ea este obligatorie pentru toate mărcile de oțel destinate confecționării acestor conducte;

-încercarea hidraulică la rece este de asemenea obligatorie pentru fiecare țevă în parte.

În cazul controlului nedistructiv prin defectoscopie, se cere un procentaj de 100% putînd usa de metodele clasice: control ultrasonic, magnetic etc.

Se atrage atenția că în cazul probelor hidraulice la rece aplicate, țevelor fabricate fără sudură, probele se pot efectua direct, conducta fiind gata montată.

Este cunoscut că, țevele din oțeluri aliate se livrează tratate termic. Elementele din conductă executate pe platforma de montaj din astfel de țevi, prin curbare, îndoire, la forma geometrică cerută sau sudate, este necesar să fie supuse unui tratament termic final după un regim corespunzător stabilit.

Conform prescripțiilor tehnice KUTLONADZOR (1969-URSS), pentru conductele din categoria 3 și 4 este admisă utilizarea de țevi și piese fasonate, sudate, executate direct pe platformă de montaj din table sau platbenzi din oțeluri calmate Siemens-Martin de tipul St.3 și St.4, respectiv OL-37 și OL-42, conform STAS 500-69 [174, 175, 176, 177].

Conform prescripțiilor tehnice ISCIR (STAS 20014-69), pentru conductele de categoria I și II se folosesc oțeluri aliate din calitățile prevăzute în STAS 8184-68, iar pentru conductele din categoria III și IV pot fi folosite oțelurile carbon de calitate prevăzute în același STAS 8184-68.

Pentru conductele din categoria IV pot fi folosite de asemenea țevi sudate elicoidal (A și B) conform STAS 6898-66 și "Fișa privind domeniile de utilizare ale țevelor sudate longitudinal", fișa fiind

elaborată de Ministerul Industriei Metalurgice și avizată de către DGMS - ISCIR.

Odată cu livrarea țevilor, fabrica producătoare este obligată a indica întreprinderii beneficiare felul și condițiile de executare a tratamentului termic pentru îmbinările sudate; același lucru fiind valabil pentru piesele fasonate (curbe, coturi, nipluri etc).

Trebuie amintit că țevile sudate longitudinal pot fi folosite pentru executarea curbelor sau coturilor.

Din țevi sudate elicoidal pot fi executate de asemeni coturi din segmenti de țevă. Imbinarea prin sudare a acestor segmenti este simplă și se poate realiza manual sau automat. Aceste îmbinări sînt supuse controlului nedistructiv în procentaj de 100%.

1.4.2.-Imbinările sudate ale conductelor

În execuția și montajul conductelor de abur și de apă fierbinte și a elementelor acestor conducte este permisă utilizarea oricărui procedeu industrial de sudare (manual sau automat), cu condiția ca, în final, pentru îmbinările sudate să fie asigurată calitatea corespunzătoare prescripțiilor tehnice ale organelor oficiale de supraveghere tehnică (STAS 20014-69).

Procesul tehnologic de sudare și metodologia de control, regimul și modul de tratament termic ce se va aplica (în caz de necesitate) îmbinărilor sudate, se stabilesc prin instrucțiuni corespunzătoare elaborate de către uzina constructoare sau întreprinderea de montaj.

În general toate lucrările de sudare trebuie să fie executate în incintă, protejate de vînt și precipitații atmosferice și la temperaturi ale mediului înconjurător de cel puțin +7°C.

Sînt admise îmbinări și la temperatura mediului înconjurător sub 0°C, cu condiția prescrierii, prin procesul tehnologic, a

măsurilor speciale de execuție, în funcție de felul materialului, forma și dimensiunile piesei etc. În acest scop vor fi luate în considerare indicațiile cuprinse în tabela 1.12.

T A B L A 1.12.

Indicații privind executarea îmbinărilor sudate ale conductelor termoelectrice și de termoficare la temperaturi ale mediului

TIPUL ȘI MARCA MATERIALULUI	CREȘTEREA PERMISIVITĂȚII TUBULATURII		
	Până la 10	De la 10 până la 16	Peste 16
	Sudarea este permisă la temperaturi, în °C, ale mediului înconjurător superioare temperaturii 0L;		
Oțel carbon cu un conținut de carbon $C \leq 0,20\%$	+20°C, fără preîncălzirea capetelor ce sînt supuse sudării	-20°C cu preîncălzirea la 150-250°C a capetelor supuse sudării	
Oțeluri carbon cu un conținut de carbon $C = 0,20-0,28\%$	+20°C, fără preîncălzirea capetelor supuse sudării	-10°C cu preîncălzirea la 100-200°C a capetelor ce se sudează	
Oțeluri carbon $C > 0,28\%$ și oțel molibden 16M (GOST) respectiv 16M2 (STAS)	+10°C cu uscarea capetelor la 80-100°C	-10°C cu preîncălzirea capetelor la 250-400°C păstrînd această temperatură pe toată durata sudării	
Oțeluri Cr-Mo 12MH și 15MH după (GOST) respectiv 12CKov3 precum și alte oțeluri aliate din familia 12HMF etc	+10°C cu preîncălzirea capetelor supuse sudării la 250-400°C, păstrînd aceasta pe toată durata execuției cusăturii sudate		

Pe timp de ploaie, ninsoare sau vînt, lucrările de sudare vor putea fi executate numai în condițiile utilizării unor instalații corespunzătoare pentru protejarea sudurilor, împotriva acțiunii directe a factorilor atmosferici menționați.

La centrarea capetelor țevilor în vederea sudării, diferențele de grosime (s_1) a pereților țevilor și dezaxarea capetelor adiacente nu trebuie să depășească 15% din grosimea țevii ($0,15s$) la centrare, respectiv 10% ($0,10.s_1$) față de axa comună, nedeșășind însă 3 mm.

În cazurile cînd diferența de grosime a țevilor depășește 15%, este necesară prelucrarea corespunzătoare a capetelor țevilor în vederea realizării unei treceri line și treptate, de la țeava de grosime mai mare, la țeava de grosime mai mică, această prelucrare făcîndu-se pe o lungime de cel puțin $2,5 s_1$.

Pregătirea, respectiv prelucrarea capetelor țevilor pentru sudare poate fi făcută cu mijloace mecanice, cu oxigen de puritate maximă (99,9%) folosind flacăra oxiacetilenică, sau cu alte procedee care pot asigura forma, dimensiunile și calitatea cerută.

Se atrage atenția că, în cazul folosirii oxigenului la debitarea ștelurilor sensibile la acțiunea flăcării, tehnologia de prelucrare ulterioară va ține seama de această particularitate, aceasta pentru a se evita introducerea zonelor influențate termic în îmbinarea sudată.

Important este ca, înainte de sudare, capetele țevilor și chiar a altor elemente ce fac parte din astfel de ansamble să fie curățate (pînă la luciu metalic) înlăturînd oxizii, arderile sau alte impurități atât pe suprafața lor frontală prelucrată în vederea sudării, cît și pe suprafețele interioare și exterioare ale țevilor pe o porțiune de cel puțin 10 mm de la muchie.

Fixarea în poziție (preasamblarea) a capetelor de țeavă ce urmează să fi sudate, se poate realiza cu ajutorul unor dispozitive speciale confecționate pentru montaje, prevăzîndu-se măsurile care se impun pentru dispunerea reciprocă corectă a elementelor adiacente.

Se precizează că organele oficiale de supraveghere tehnică, permit ca la executarea conductelor de abur și de apă fierbinte, pentru una și aceeași îmbinare sudată, să fie folosită atât sudarea manuală est și cea în mediu de gaze protectoare sau automată sub strat de flux.

Dacă cusătura sudată se execută în majoritate prin sudare automată sub strat de flux și dacă suprafața secțiunii transversale a metalului depus în cusătura sudată respectivă, prin sudarea manuală, nu depășește 15% din suprafața totală a secțiunii transversale a cusăturii sudate; atunci cusătura sudată în cauză se va considera ca fiind executată automat sub strat de flux.

Fat fiind faptul că majoritatea oțelurilor termorezistente utilizate la realizarea conductelor au tendința de a se durifica în zona influențată termic, în cazul ansamblor cu pereți groși este necesar aplicarea unui tratament termic de preîncălzire, cel puțin asupra porțiunilor vizate a fi asamblate prin sudare. Prin aplicarea acestui tratament se evită nu numai fisurile, dar se influențează satisfăcător și asupra tenacității îmbinărilor sudate.

Preîncălzirea elementelor care se îmbină prin sudare în condiții obișnuite, având grosimi de pereți $s_1 \geq 10$ mm, este obligatorie în următoarele cazuri:

- pentru oțelurile Mo, CrMo și CrMoV, indiferent de conținutul de carbon pe care îl conține masa oțelului;
- pentru alte oțeluri aliate, dacă în urma cercetării sudabilității lor a rezultat că preîncălzirea este necesară;
- în toate cazurile sudării oțelurilor carbon în care conținutul de carbon depășește 0,28%, așa cum de altfel s-a precizat în tabelul 1.12.

Temperaturile de preîncălzire a capetelor elementelor tubăre ce urmează a fi îmbinate prin sudare și a probelor martor (probe

de control) corespunzătoare sînt precizate în tabela 1.12'.
 Valorile indicate sînt valabile atunci cînd elementele supuse sudării au aceeași grosime, cît și pentru cazurile cînd elementele au grosime diferită.

TABELA 1.12'

Temperaturile de preîncălzire a capetelor elementelor tubulare îmbinate prin sudare

Marea oțelului după GOST 1050-69, 10801-69	Grosimea maximă s_1 a peretelui tubulaturii mm	
	7 - 30	> 30
Temperatura minimă de preîncălzire °C		
15 GS	-	180-200
15 HK	180 - 200	250-300
12H1MF	200 - 250	
12H1M1F	250 - 350	350-400
15H1M1F ^{x)}	350 (pt. toate valorile s_1)	
20HMF ^{x)}	350 (pt. toate valorile s_1)	
25L ^{x)}	150 (pt. $s_1 > 15$ mm)	

^{x)} Oțeluri turnate

De obicei preîncălzirea se poate realiza folosind inductoare, cuptoare electrice adecuate, arzătoare înclare cu flacără de gaze sau chiar alte mijloace ce pot asigura o încălzire uniformă pe întreaga secțiune transversală a elementelor tubulare. Preîncălzirea este obligatorie mai ales în situațiile de montaj la care nu se pot aplica ulterior (după sudare) tratamente termice.

La îmbinările sudate din oțelurile 15HM, 12H1MF și 15H1M1F (ultimul cu grosimea peretelui $s_1=30-60$ mm) ce nu pot fi supuse tratamentului termic de detensionare sau revenire înaltă, îmbinările respective vor fi încălzite la 400 - 500°C lăsându-se să se răcească lent, protejate sub un strat termoisolant.

Cu toate că în timpul exploatării agregatelor termocenergetice la temperaturi înalte sînt posibile egalizări ale tensiunilor rezonante, la darea în exploatare a ansamblurilor sudate se pot ivi solicitări foarte mari care pot duce la distrugerea îmbinărilor sudate, tensionate înainte de atingerea temperaturii înalte de funcționare normală.

După sudare, conductele din oțeluri termorezistente, în mod obligatoriu, se supun unui tratament termic, atît ansamblele sudate cît și probele martor executate din aceste oțeluri; respectîndu-se valorile determinate prin calculul carbonului echivalent.

Același regim se aplică probelor martor de control executate din:

- Oțel 20-~~20~~(20ST), respectiv OLC-20 (2TAS), în cazul cînd grosimea $s_1 > 15$ mm;
- Oțeluri 15-OS (OSST), în cazurile cînd grosimea $s_1 > 10$ mm;
- Oțelurile Cr-Mo-V, în cazul cînd grosimea peretelui $s_1 > 5$ mm;
- Oțelurile 15-MM (OSST), respectiv 12CrMoV3 cînd grosimea $s_1 > 5$ mm;
- Oțelurile 20, respectiv OLC sau 15-OS îmbinate prin sudare cu oțeluri Cr-Mo; Cr-Mo-V cînd grosimea $s_1 > 6$ mm.

Temperatura la care se face tratamentul termic (de revenire) al îmbinărilor sudate din oțelurile menționate se stabilește luînd în considerare și valorile indicate în tabela 1.13.

Se atrage atenția că, pentru elementele de conductă deosebit de rigide, cum sînt teurile cu perete gros, este necesar ca tratamentul termic să se facă complet, adică o normalizare după sudare, procedînd în același timp și la aplicarea unui tratament termic de revenire.

TABELA 1.13

Temperaturile la care se fac tratamentele termice de revenire ale îmbinărilor sudate ale conductelor termoelectrice

Marca oțelului după GOST-1050-60 10801-69	20 20+25 20+15GS	15GS	20+12 HMF 15GS+ +12 HMF	15HM 15HM+ 12HLMF+ 15HMF+ 15HMLF	12HLMF 12HLMF+ 15HLMF 12HLMF+ 20HMF+ 15HLMFL	12HLMF 15HLMF+ 15HLMFL
Temperatura de revenire °C	650-660	650-680	700-730	700-750	720-750	750-750

Durata menținerii la temperatura de revenire a îmbinărilor sudate se stabilește în conformitate cu datele prezentate în tabela 1.14. Este de dorit ca, în timpul tratamentului termic să se prevadă măsuri adecvate care să asigure o dilatare liberă a elementelor de conductă și care să prevină deformarea lor reziduală, plastică sub acțiunea sarcinilor proprii.

TABELA 1.14

Durata de menținere la temperatura de revenire a îmbinărilor sudate ale conductelor termoelectrice (precizată conform tabelii 4.13)

Tipul oțelului utilizat	Grosimea s_1 , mm		
	≤ 15	< 40	≥ 40
	Durata în h		
Oțeluri carbon și alab aliate	-	1	2
Oțeluri CrMo	1	2	3
Oțeluri CrMoV	2	3	3

În cazul tratamentului termic aplicat local, îmbinarea sudată în zonele influențate termic trebuie să fie încălzită uniform pe întreaga secțiune și pe ambele porțiuni, pentru fiecare parte a cusăturii sudate, încălzirea extinzându-se pe o lungime egală cu:

-min. $4s_1 \geq 100$ mm pentru $s_1 \leq 40$ mm;

-min. $5s_1 \geq 120$ mm pentru $s_1 > 40$ mm.

La sudarea conductelor termoelectrice, care după sudare sînt supuse solicitărilor termice înalte, este necesar a avea o echivalență între proprietățile metalului depus și metalul de bază, aceasta pentru a satisface cerințelor de exploatare.

Compoziția chimică a îmbinărilor sudate va avea o importanță deosebită, aceasta deoarece ea este aceea care va influența în primul rînd proprietățile îmbinărilor sudate.

În toate cazurile de rezistență la cald și de stabilitate chimică, trebuie ca sudurile efectuate să aibă elemente de aliere cel puțin egale cu valorile minime prescrise pentru metalul de bază.

La sudarea conductelor termoelectrice, conductelor de termoficare și chiar a elementelor componente, se vor folosi materiale de adăos corespunzătoare cu metalul de bază și procedeul de sudare utilizat, care să asigure cusăturii sudate caracteristici cel puțin egale cu cele ale materialului de bază, în conformitate cu standardele și instrucțiunile IGCIR în vigoare (STAS 2.014-69, STAS 1125-64, STAS 1126-66, STAS 7240-68, STAS 7241-68, STAS 7242-68).

În cazul tubulaturilor executate din mărei de oțeluri diferite de oțelurile perlitice, materialele de adăos se aleg luînd în considerare oțelul cel mai puțin aliat. Astfel pentru oțelurile Mo și CrMo, conținutul de molibden și de crom în metalul depus nu trebuie să fie sub limita inferioară stabilită prin standarde și norme pentru respectiva marcă de oțel care se sudază.

Materialele de adăos folosite la sudarea conductelor termoelectrice, sau chiar a conductelor de abur, apă fierbinte, în final, trebuie să asigure cusăturilor caracteristicile mecanice

preconizate în tabelele 1.15 și 1.16.

TABELA 1.15

Valorile minime admisibile pentru caracteristicile mecanice ale cusăturilor sudate în cazul conductelor de abur și de apă fierbinte

Caracteristicile mecanice ale oțelului de bază sau chiar a cusăturii sudate	Pentru oțeluri slab aliate 16M, 12HM, 12HMNF, 15HM, 12HMNF		Pentru oțeluri carbon	
	Sudare electrică manuală sau automat sub strat de flux	Sudare cu flacără sau cu arc electric în mediu de argon	Sudare electrică manual sau automat sub strat de flux	Se poate suda și cu flacără oxidantă acetică
Rezistența de rupere $\sigma_r + 20^\circ\text{C}$ kgf/mm ²	Nu poate fi mai mică decât valoarea $\sigma_{r\min} + 20^\circ\text{C}$ standardizată sau normalizată corespunzătoare metalului de bază			
Lungimea specifică la rupere $\delta_5 + 20^\circ\text{C}$, %min	16	12	18	16
Reziliența $K_{cu} + 20^\circ\text{C}$ kgmf/cm ² min	5	4	8	4

Rezistența la căld a îmbinărilor sudate depinde nu numai de compoziția lor chimică, ci și de starea de îmbunătățire și finețea structurii cristaline rezultate în îmbinarea sudată. Aceasta cu precădere atunci când execuția îmbinării sudate impune realizarea ei din rinduri de sudură succesiv depuse în rostul de sudură.

În calculul de proiectare al conductelor termoelectrice și al altor conducte calde având îmbinări sudate, pentru coeficientul de rezistență γ_0 al îmbinărilor sudate, vor fi luate în considerare valorile maxime indicate în tabela 1.17.

TABELA 1.16

Caracteristicile mecanice ale îmbinărilor sudate ale conductelor termoenergetice după aplicarea tratamentului termic corespunzător

Marca oțelului conform GOST 1050-69 10801-72	Caracteristicile mecanice ale îmbinărilor sudate			
	σ_r la 20°C kgf/mm ² minim	Unghiul de îndoire în grade pentru o grosime s_1 de		Kcu la +20°C kgf/cm ² minim
		<20	>20	
	Valori minime obținute la +20°C			
20	41	100	100	5
15GS	50	80	60	5
15HM	45	50	40	5
12H1MF	45	50	40	5
15H1MF	50	50	40	5
12H2MFB	42	50	40	5
12H2MFSR	48	50	40	7
1H18N12T	54	100	100	-

TABELA 1.17

Valorile maxime ale coeficientului % al cusăturilor sudate în cazul conductelor termoenergetice

Tipul îmbinării prin sudură și felul cusăturii realizate	% MAX
cap la cap: sudare cu arc automat sub strat de flux, pe ambele părți	1,00
cap la cap: sudare cu arc electric manual cu completare la rădăcină	0,95
cap la cap: sudare cu arc electric automat sub strat de flux pe o singură parte folosind metal de sprijin	0,90
cap la cap: sudare cu arc electric automat sub strat de flux pe o singură parte fără de susținere a rădăcinii	0,80
cap la cap: sudare cu arc electric manual pe o singură parte fără sprijin la rădăcină	0,70

OBSERVAȚII: în STAS 20014-69 sînt menționate în general următoarele valori:

$\varphi = 0,9$ pentru cusături executate cap la cap pe ambele părți;

$\varphi = 0,8$ pentru cusături sudate pe o parte cu inel de prrijin la rădăcină;

$\varphi = 0,7$ pentru cusături sudate cap la cap pe o parte, fără folosirea inelului de sprijin la rădăcină

In calculele de rezistență privind îmbinările sudate, drept grosime de calcul se consideră cea mai mică grosime de rezistență "s" a metalului de bază. De asemenea in calculele de rezistență nu se iau in considerare eventualele consolidări ale structurii de rezistență, respectiv ale îmbinărilor sudate.

2.-CERCETARI PRIVIN INFLUENTA PARAMETRILOR PROCESULUI DE
SUDARE A TEVILOR DIN OTEL TERMORESISTENT ASUPRA CALITATII IMBI-
NARIILOR SUDATE

In execuția și montajul prin sudare a echipamentelor termo-energetice este permisă utilizarea oricărei metode industriale de sudare (manuală sau automată), cu condiția ca, în final, pentru îmbinările sudate să fie asigurată calitatea corespunzătoare prescripțiilor tehnice ale organelor oficiale de supraveghere și control tehnic (STAS 20014-69).

Procesul tehnologic de sudare și metodologia de control, regimul și modul de tratament termic aplicat (în caz de necesitate) pentru îmbinările sudate se stabilesc prin instrucțiuni corespunzătoare elaborate de către uzina constructoare sau de către întreprinderile de montaje suficient de bine pregătite în astfel de lucrări.

În general toate lucrările de sudare trebuie să fie executate în incinte protejate de vânt și precipitații atmosferice la care se va ține seama și de temperatura mediului înconjurător să nu scadă sub $+5^{\circ}\text{C}$. Se poate admite sudarea și la temperaturi mai scăzute, cu condiția prescrierii, prin procesul tehnologic, a măsurilor speciale de execuție luând în considerare felul materialului, forma și dimensiunile structurii de asamblat prin sudare [6, 50, 59].

Pentru sudarea echipamentelor termoelectrice se folosesc materiale de adaos corespunzătoare materialului de bază și se va lua în considerare procedeul de sudare utilizat, care în final să asigure cusăturilor sudate caracteristici cel puțin egale cu cele ale materialelor de bază, în conformitate cu standardele și instrucțiunile ISCIR în vigoare (STAS 20014-69; STAS 1125-65;

STAS 1126-66; STAS 7240-68; STAS 7241-68 și 69). În cazul sudării țevilor sau a tubulaturilor executate din mărci diferite de oțeluri perlitice, materialul de adaos se va alege după oțelul mai puțin aliat [123].

Stabilirea parametrilor procesului de sudare se face pe baza criteriilor de a se obține calități superioare metalului de bază însă nu la valori prea ridicate avînd în vedere coeficientul de rezistență φ_0 al cusăturilor sudate, în cazul țevilor sau conductelor termoenergetice pe care îl prezentăm în tabela 2.1.

TABELA 2.1

Valori maxime ale coeficientului de rezistență φ_0 al cusăturilor sudate în cazul țevilor din oțel termorezistent

Tipul îmbinării prin sudare și felul sudării	φ_0 MAX
Sudare automată sub strat de flux pe elemente cap la cap pe ambele părți	1,00
Sudarea cu arc electric manual cap la cap pe o singură parte cu resudarea rădăcinii	0,95
Sudarea automată sub strat de flux cap la cap pe o singură parte fără sprijin la rădăcină	0,80
Sudarea manuală sau automată sub strat de flux cap la cap cu inel de sprijin la rădăcina sudurii	0,90
Sudarea cu arc electric manual cap la cap fără inel de sprijin pe o singură parte	0,70

OBSERVAȚII: În STAS 20014-69 sînt menționate în general, următoarele valori (maxime):

- $\varphi_0 = 0,9$ pentru cusăturile sudate cap la cap pe ambele părți;
- $\varphi_0 = 0,8$ pentru cusăturile sudate pe o parte cu inel de sprijin la rădăcină;
- $\varphi_0 = 0,7$ pentru cusăturile sudate cap la cap pe o singură parte fără inel de sprijin la rădăcină

La fixarea parametrilor se ține seama de diametrul electrodului utilizat, caracterul înveligului, sau a fluxului eventual gazele protectoare utilizate [133, 134, 135].

2.1.-Analiza principalilor parametri care determină calitatea îmbinărilor sudate

2.1.1.-Sudarea țevilor din oțeluri slab aliate cu Mo, CrMo sau CrMoV, utilizate în montaje și în construcția de cazane și conducte de abur supraîncălzit se execută prin procedeele: sudarea cu flacără de gaze (oxiacetilenică), sudarea electrică (cu electrod) și recent se folosește sudarea în mediu de gaze protectoare (argon sau combinații ale argonului cu alte gaze inerte ca: heliu, oxigen, hidrogen) sau variante combinate ca de exemplu, sudarea stratului de rădăcină în mediu de gaz protector cu completarea rostului prin sudarea electrică manuală.

Experiențe efectuate în țări industrializate au arătat că sudarea în mediu de gaz protector sau combinată cu sudarea electrică manuală este echivalentă sau chiar superioară sudării cu flacără de gaze sau sudării electrice manuale.

Sudarea în mediu de gaz protector a stratului de rădăcină este posibilă în toate pozițiile, nu au loc impropieri, apare zgură sau oxizi în cantitate redusă, se obțin cusături sudate de bună calitate.

Calitatea îmbinărilor sudate prin procedeul MIG și cu electrozi înveliți este determinată de:

- parametrii regimului de sudare;
- medul de depunere a rindurilor;
- pregătirea marginilor țevilor (rostul);
- calitatea metalului de adaos (electrodului) și a gazului de protecție;
- diametrul electrodului (metalului de adaos);
- nivelul tehnic al instalației de sudare;
- pregătirea teoretică și practică a sudorilor.

2.1.1.1.-Parametrii de sudare includ valorile: curentului de sudare; tensiunii arcului, vitezei de sudare, debitului gazului de protecție, etc, diferiți pentru stratul de rădăcină și cel de umplere.

2.1.1.2.-Modul de depunere a rindurilor poate fi prin sudare verticală coboritoare sau urcătoare cu sau fără mișcări de oscilație. La stabilirea unuia sau altuia din modurile de umplere al rindurile se ține seama de parametrii regimului de sudare, de elementele legate de geometria țevii (suprafața secțiunii, grosime) și de forma rostului. La țevi cu pereți subțiri se preferă sudarea verticală coboritoare în timp ce la pereți mai groși sudarea verticală urcătoare.

2.1.1.3.-În ceea ce privește rostul de sudură se respectă prevederile normelor în vigoare, luându-se în considerare unghiul rostului, lățimea și înălțimea rostului corespunzător unei pătrunderi bune și unei suduri de calitate.

2.1.1.4.-Compoziția chimică a metalului de adaos (electrodului) poate varia în limite restrinse în ceea ce privește conținutul în Mn, Si, V, Mo. Purițata gazului de protecție are de asemenea influență asupra calității îmbinărilor sudate. În general se folosesc gaze de protecție de puritate ridicată, impurități ca oxigenul, vapori de apă, ulei etc, provoacă pori în cusătură și un aspect necorespunzător al cusăturii.

2.1.1.5.-Diametrul electrodului învelit (materialului de adaos) determină condițiile optime de sudare. Se preferă pentru grosimi ale pereților țevii de cea 4-5 mm electrozi de diametrul 2,5 mm, iar pentru grosimi mari, peste 10 mm, se recomandă electrozi de diametrul 3,25 și 4 mm.

2.1.1.6.-Nivelul tehnic al instalației de sudare se referă la sursa de sudare ce trebuie să prezinte siguranță la sudarea

cu arc scurt, iar capul de sudare trebuie să permită accesul ușor la rădăcină, să fie ușor de manipulat, motiv pentru care în normele internaționale i se prescrie o înclinare de 60° .

2.1.1.7.-Pregătirea teoretică și practică a sudorilor în domeniul sudării țevilor reprezintă factorul determinant al calității îmbinărilor sudate.

2.1.2.-Strins legat de calitatea îmbinărilor sudate a țevilor din oțeluri termorezistente este necesar a aminti și de natura și cauzele defectelor ce pot apărea în cusătură, defecte ce sînt analizate pe larg în literatura de specialitate. Este vorba despre:

2.1.2.1.-Nepătrunderea și lipsa de topire la rădăcina cusăturii legate de: parametri necorespunzători de sudare (curent, tensiunea arcului, diametrul electrodului), rost necorespunzător (prea mare) neliniaritatea țevilor, debit necorespunzător al gazului de protecție etc.

2.1.2.2.-Pori în cusătură din cauza gazului de protecție de puritate necorespunzătoare, debit de gaz necorespunzător, hidrogen în electrozi, lipsa elementelor dezoxidante din sîrma electrodului.

2.1.2.3.-Fisuri longitudinale în cusătură sau în cratere, determinate de conținutul ridicat în mangan și siliciu a metalului de adăos.

Calitatea îmbinărilor sudate ale țevilor din oțeluri termorezistente se testează prin încercări metalografice, încercări mecanice ca: încercări de tracțiune, unghi de îndoire, încercări de reziliență și duritate în metalul depus și zona influențată termic, încercări defectoscopice nedistructive etc.

2.2.-Influența modului de prelucrare a rostului îmbinărilor

2.2.1.-Influența modului de prelucrare a rostului asupra calității îmbinării sudate

Îmbinarea prin sudare a țevilor din oțeluri termorezistente folosite în montaje termoelectrice ridică două probleme în ceea ce privește calitatea și eficiența economică și anume:

- calitatea rădăcinii îmbinării sudate, știut fiind că ea este baza unei îmbinări sigure și
- productivitatea maximă de topire realizată pentru straturile formate din mai multe rânduri depuse succesiv în rosturile create prin tăgare în vederea realizării îmbinărilor sudate omogene, sigure în exploatare [46, 47].

Realizarea primei cerințe este funcție de alegerea procedurii de sudare, influențată fiind în mod hotărâtor de îndemnarea profesională a operatorului care la rândul ei este determinată de felul și calitatea pregătirii execuției cusăturii [44, 45, 46].

Felul acestei pregătiri este stabilit de particularitățile tehnologice ale procedurii de sudare, în timp ce calitatea depinde de abaterile dimensionale respectiv luarea în considerare a diametrului țevii, grosimii "s" a peretelui, de procedul de sudare, de pregătirea cusăturii și de centrarea ireproșabilă a capetelor țevilor de îmbinat.

Tehnologii referitoare la formele rostului necesar la sudare prin topire a îmbinărilor cap la cap sînt prezentate în literatura de specialitate [48, 49].

Se menționează că, la sudarea cu flacără de gaze oxiacetilenic: cusătura în I (rosturi așezate cap la cap cu muchii netezite) este posibil a suda pînă la grosimea de 5 mm. În acest caz, lucrul cel mai important este asigurarea unei distanțe prin centrare suficiente care, pe cît posibil trebuie să fie egală cu grosimea metalului de adăos folosit la sudare, sau chiar ceva mai mare (+0,5mm)

Probele practice executate au demonstrat că la sudarea conductelor din țevi cu grosimea peretelui pînă la 5 mm, sudarea cu flacără oxiacetilenică (metoda de sudare spre dreapta) fără țegirea marginilor țevii, constituie cel mai simplu și mai ieftin procedeu. La pregătirea cusăturilor cu țegirea muchiilor în V, unghiul de deschidere a rostului trebuie să fie de cel puțin 50° și dacă în execuție sudarea se efectuează în poziție fixă, este mai bine să se țegască la 60° [46, 47, 48, 49].

La sudarea cu flacără oxiacetilenică pot fi sudate printr-un singur strat grosimi de perete pînă la maximum 10 mm, chiar dacă în comparație cu procedeu de sudare cu arcul electric, dificultățile se măresc o dată cu creșterea grosimii peretelui. Este cunoscut de asemenea că se poate aplica sudarea cu flacără în două straturi, metoda implică avantaje din punct de vedere al calității cusăturii mai ales în cazul oțelurilor slab aliate termorezistente (de exemplu 12X1M/ sau 13CrMo44), în privința valorilor reduse ale durității și a lipsei aproape totale a porozităților în cusătură [99, 100].

Se remarcă faptul că procedeu de sudare cu flacără oxiacetilenică răspunde mai greu la grosimi ^{pute} sub 10 mm.

În procesul de sudare este obligatoriu a se lucra cu o flacără neutră sau ușor carburantă. Caracterul acesteia este bine să fie asigurat printr-un raport de forma

$$K_{\text{amest}} = \frac{O_2}{C_2H_2} \approx 1,1$$

Stratul de rădăcină poate fi realizat folosind la sudare procedeu WIG, sau chiar flacără oxiacetilenică, iar straturile de umplere se realizează prin procedeu de sudare cu arc electric manual, semiautomat și automat sub strat de flux. Procedeu combinat reprezintă o formă recomandabilă din punct de vedere a calității și eficienței economice, însă acest mod de execuție, cu două procedee combinate, necesită aparataj diferit și chiar lucrători sudori dife-

riți.

La oțelurile CrMo, CrMoV, CrMoVNB, termorezistente folosite în construcții montaje prin sudare a echipamentelor termoelectrice, acest mod de realizare al sudurii este folosibil pentru grosimi de perete sub 8 mm, caz în care unghiul de țegire la sudare în poziții fixe sau comode poate fi de 16...25°.

În cercetările efectuate pe țevi din oțel termorezistent, în cazul unor unghiuri de țegire prea mici < 16° cazul în care la sudare se folosesc electrozi cu înveliș bazic, există pericolul de formare a girurilor de zgură greu dirijabilă, mai ales la straturile de rădăcină a cusăturii. Rădăcini foarte curate și omogene ale sudurii se obțin la sudarea cu arc electric în mediu de gaz protector, dacă ca mediu de protecție se folosește un argon cu puritate 99,9% și electrod nefuzibil din wolfram, fără metal de adaos. Stratul de rădăcină se realizează din metalul de bază cu ajutorul unei pregătiri speciale a muchiilor.

Rezultate bune se mai pot obține dacă, drept mediu de protecție se folosește un amestec gazos de azot (N_2) cu hidrogen (H_2) în proporții de 80% N_2 și 20% H_2 sau amestecul de 90% N_2 și 10% H_2 .

Gaze inerte ca de pildă argonul pur sau în combinații cu heliul sînt necesare dacă la sudarea oțelurilor austenitice, bogat aliate trebuie evitată și apariția culorilor de revenire pe muchiile influențate termic. În cazul lucrării de față nu a fost cazul să se țină seama de acest fapt, fiind luate în cercetare oțelurile termorezistente CrMo, CrMoV.

Pentru sudarea conductelor cu pereți subțiri se va ține seama de procedeul de sudare și de pregătire necesară în vederea realizării cusăturii. Pe baza lucrărilor efectuate pe țevi cu pereți subțiri se recomandă folosirea procedeului de sudare cu arc electric manual, utilizînd la executarea în poziție fixă cusături de rădă-

cină circulară coboritoare. Sînt preferați în astfel de condiții electrozi celulozici, acest sort permițînd menținerea unui arc scurt înecat, astfel încît acest arc scurt acționează aproape exclusiv la interior (fig.2.1) fără străpungeri și scurgeri de metal topit în partea interioară a țevii.

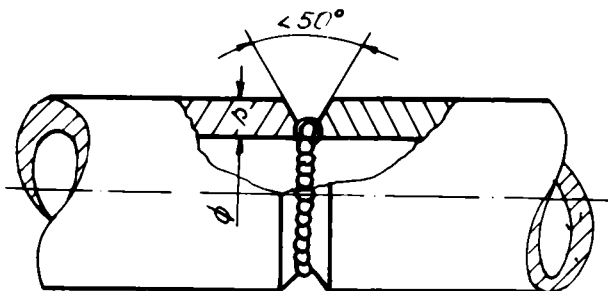


Fig.2.1.-Modul de realizare a stratului de rădăcină, folosind electrozi celulozici

Componentele existente din învelișul electrodului, care nu participă la acest proces, constituie o protecție similară unui mediu gazos. Pentru această formă a arcului electric în țările dezvoltate din punct de vedere industrial se folosește termenul de SCHILDLED ARC, adică "arc electric protejat", denumire care se folosește de unii cercetători și pentru un electrod special destinat din fabricație, acestui scop.

În figura 2.2 se prezintă o comparație între cusăturile executate ascendent și cele coboritoare (descendent).

În condiții comode, favorabile sudurii, este posibil ca rădăcina unei cusături coboritoare să fie realizată în a patra parte din timpul necesar pentru o cusătură urcătoare. Timpul total pentru executarea cusăturii coboritoare a unei suduri circulare pe țevă este aproximativ jumătate din acela consumat pentru o cusătură urcătoare. Trebuie relevat faptul că realizarea cu succes a unei cusături circulare coboritoare este posibilă

numai dacă rostul a fost pregătit în mod foarte îngrijit

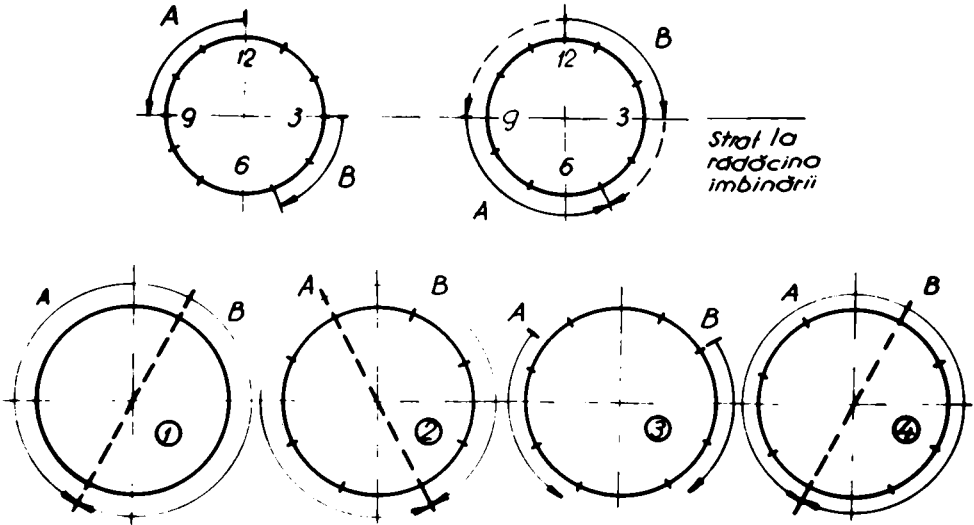


Fig.2.2.-Succesiunea fazelor de sudare pentru cusături circulare coboritoare: 1-primul strat de umplere; 2-al doilea strat de umplere; 3-strat intermediar; 4-strat de acoperire

Figura 2.3. prezintă măsurile caracteristice pentru succesiunea fazelor de realizare a unei cusături circulare coboritoare

În cazul acestor suduri se folosesc doi lucrători sudori pentru execuție, la care problema principală este sudarea rădăcinii cusăturii,

În funcție de grosimea peretelui țevii, se lucrează cu 3, 4 sau 5 grupuri de câte doi lucrători sudori. Diametrele de țevă cu care în prezent se realizează în mod economic cusături coboritoare, sînt cuprinse între 200...700 mm, la grosimi de perete

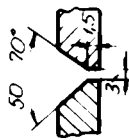

Felul cusăturii	Forma rostului	Secțiunea		ϕ_e mm	Curent de sudare I_s [A]	Tensiunea U_2 [V]	Timp necesari pentru sudare	
		totală	o rădăcină				rădăcină	cusătură
Cusătură urcătoare în poziție fixă		100%	100%	3,25	105	18-22	100%	100%
Cusătură coborătoare în poziție fixă		90%	40%	4,0	180	20-24	25%	50%

Fig. 2.3. - Comparație între cusături urcătoare respectiv coborătoare la țevi cu pereți subțiri

sub 8 mm cu acest procedeu se poate realiza într-un schimb de 10 ore de lucru și la lungimea unitară de cea 12 m a țevii, lungimi de conductă sudată până la 1000 m, ceea ce reprezintă la lungimea unitară de cea 12 m, mai mult de 80 îmbinări zilnice.

Referindu-ne la procedeele de sudare nu trebuie omisă mențiunea că, până în prezent, încercările de realizare automată a cusăturilor în poziții fixe pe șantier, adică ansamble cu axa staționară a țevii s-au soldat cu rezultate nesatisfăcătoare. Din literatura de specialitate [48, 49, 50], reiese că, în țările dezvoltate s-a aplicat procedeul de sudare cu "bandă magnetică", la care într-un rost anume pregătit se introduce electrozi înveliți, electrozi ce sînt presați în acest rost cu ajutorul unei benzi magnetice care generează un cîmp electromagnetic. Arcul electric din electrodul care se topește este deviat în acest mod în rădăcina cusăturii.

În cazul diametrelor mai mari de țevi, sudarea în poziție coborîtoare poate fi executată simultan de către mai mulți lucrători sudori.

2.2.2.-Moduri de pregătire a rostului îmbinărilor sudate

Avînd la dispoziție concluziile trase, în urma cercetărilor efectuate referitoare la domeniul procedeelor de sudare, se descriu în continuare comparativ diverse forme de pregătire a rosturilor pentru sudarea cap la cap a țevilor, analizîndu-se și modul cum se folosesc rosturile pentru realizarea acestor suduri în condiții de montaj.

Pregătirea rostului pentru o cusătură cu muchiile teșite în V, grosimea peretelui sub 16 mm, se prezintă în figura 2.4.

Procedeele de sudare ce pot fi folosite în astfel de cazuri sînt:

- sudare cu flacără oxiacetilenică;
- sudare cu arc electric manual;
- sudare cu arc electric în mediu de gaz protector.

Există posibilitatea de sudare dintr-o singură parte, avându-se în vedere diametrele mici folosite. Poziția sudurii poate fi: orizontală, urcătoare, în cornișă.

Ca particularitate se menționează că la sudarea cu flacără oxiacetilenică nu se poate suda dintr-o singură trecere, grosimi mai mari de 8 mm.

Aplicând procedeul de sudare cu arc electric manual sau cu arc electric în mediu de gaz protector, sudarea se realizează totdeauna din mai multe straturi succesiv depuse [133, 134, 135].

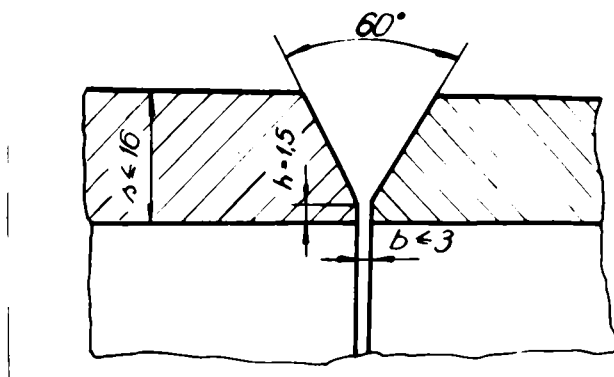


Fig.2.4.-Pregătirea rostului pentru o cusătură în V

Un alt mod de pregătire preferat este în U: acest mod de pregătire poate fi acceptat la grosimi mai mari de 12 mm, în cazul țevilor folosite în montaj echipamente termoelectrice.

Forma rostului și modul de tășire se prezintă în figura 2.5.

Procedeele de sudare folosite sînt: sudarea cu arc electric manual, sudarea cu arc electric în mediu de gaz protector, sau se poate folosi sudarea automată și semiautomată sub strat de flux.

Accesibilitatea rădăcinii rostului este pe o singură parte, poziția sudurii poate fi orizontală cu rotirea conductei în jurul axei sale.

Particularitatea acestui mod de țegire constă în faptul că se folosește la oțeluri slab și bogat aliate și se pretează la sudarea grosimilor de perete de peste 8 mm.

Unghiul de țegire pe una din muchii în cazul țevilor cu pereți mai groși de 8 mm, poate fi micșorat chiar sub 14° , luându-se în considerare și mărimea diametrului țevii. Cu cât diametrul crește unghiul de țegire scade [138, 139, 140].

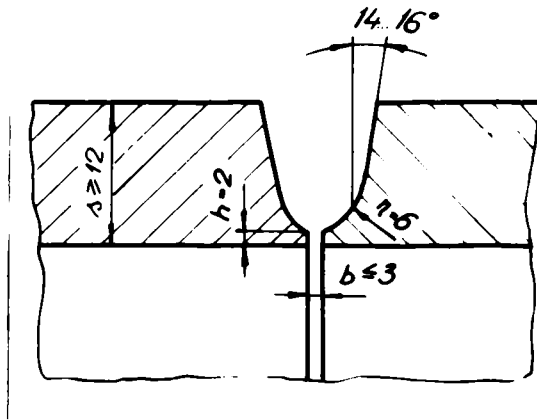


Fig.2.5.-Pregătirea rostului pentru o cusătură în U

O altă variantă în U cu pregătirea în V pentru realizarea rădăcinii sudurii se prezintă în figura 2.6.

Grosimea peretelui țevii este mai mare sau egală cu 12 mm. Procedul de sudare folosit este sudarea cu arc electric în mediu protector de gaz inert, combinat cu sudarea cu arc electric manual

Rădăcina rostului este accesibilă pe o singură parte. Poziția de sudare poate fi orizontală sau în cornișă.

Ca o particularitate se amintește faptul că forma combinată a cusăturii duce în final la o rădăcină compactă, omogenă și de calitate chiar a întregii cusături dacă la sudarea cu arc electric manual este bine și corespunzător ale electrodul ca metal de adăos.

?

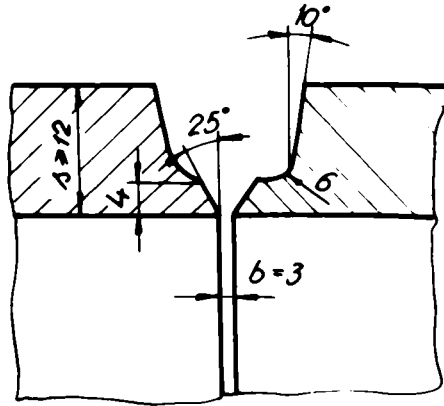


Fig.2.6.-Pregătirea rostului pentru cusături în U combinat cu cusătură în V

Cusături în V cu rost creat pentru centrare (fig.2.7) se pregătesc la grosimea peretelui țevii $s=5...12$ mm. Procedul de sudare poate fi combinat: MIG + arc electric manual. Accesul este pe o singură parte. Poziția de sudare poate fi orizontală, ureștoare sau chiar în cornișă.

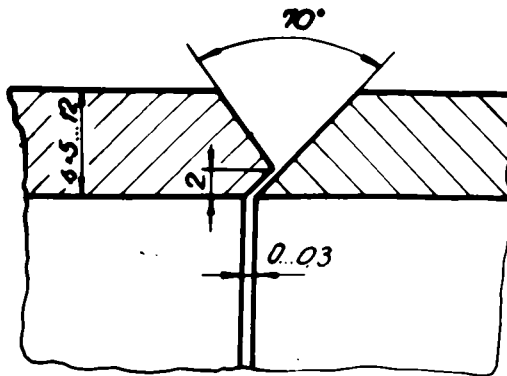


Fig.2.7.-Mod de pregătire pentru cusături în V cu rost de centrare

Pregătirea muchiilor în cazul cusăturilor în U, pentru realizarea rădăcinii sudurii, făcându-se din tăgărire buze (fig.2.8)

impune un mod de pregătire mai deosebit.

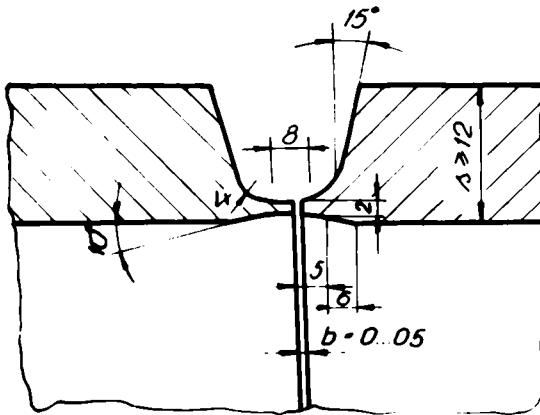


Fig.2.8.-Pregătirea în U cu rost cu buze

Grosimea peretelui țevii este mai mare sau egală cu 12 mm. Procedul de sudare este un procedeu combinat MIG cu procedul de sudare cu arc electric manual. Se sudează numai dintr-o singură parte. Poziția de sudare este orizontală, verticală și în cornișă. Răspunde cerințelor de sudare în cazul metalelor neferoase, dar nu a dat rezultate în construcții montaje prin sudare la țevi din oțel termorezistent. Forma de țegire este exagerat de mare, astfel devine neeconomică.

Un alt mod de pregătire este țegirea muchiilor în V cu inel interior neted (fig.2.9) cu grosimea peretelui țevii $s > 20$ mm. Procedul de sudare folosit este sudarea cu arc electric manual, sau poate fi combinat: MIG și sudarea cu arc electric manual. Accesul la sudare este numai dintr-o singură parte. Poziția sudurii poate fi comodă la orizontală, ureștoare sau chiar peste cap, precum și în cornișă.

O particularitate este faptul că inelul interior trebuie să fie neted, din același material ca și țeava, în caz contrar prezintă

tă mai multe dezavantaje decât avantaje: căldura de sudare este evacuată, diametrul interior al țevii poate deveni mai mic (obturat) în cazul când inelul de sprijin este deformat din sudare; apare coroziunea în rost; sînt necesare toleranțe mai mari pentru interiorul țevii. După sudare în exploatare vor avea o grosime rezultată din sudare și nu se va putea obține grosime proiectată, aceasta din cauza lățimii amperate a inelului și din cauză că nu întotdeauna putem fi siguri pe lucrătorii sudori, în sensul că pot realiza o pătrundere uniformă pe toată circumferința rădăcinii sudurii.

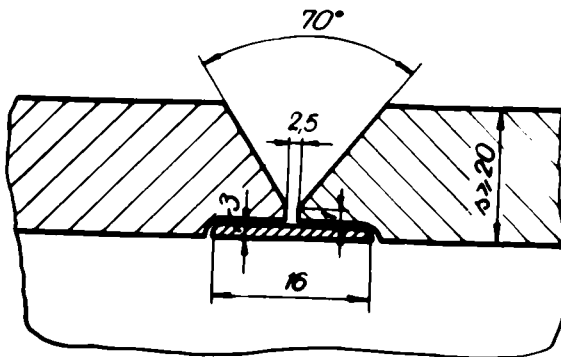


Fig.2.9.-Muchi teșite în V cu inel interior de sprijin la rădăcină

Un alt mod de pregătire este teșirea în V cu inel interior profilat (fig.2.10).

Accesul pentru sudare se face dintr-o singură parte. Poziția de sudare este orizontală urcătoare sau în cornișă.

Particularitățile modului de pregătire sînt legate de faptul că inelul interior este profilat, din același material ca și țevă. Inelul se folosește în scopul distanțării în egală măsură a muchilor în vederea realizării cusăturii la rădăcină, făcînd

posibilă o vehiculare bună prin țevă; sînt însă necesare toleranțe largi pentru interiorul țevii.

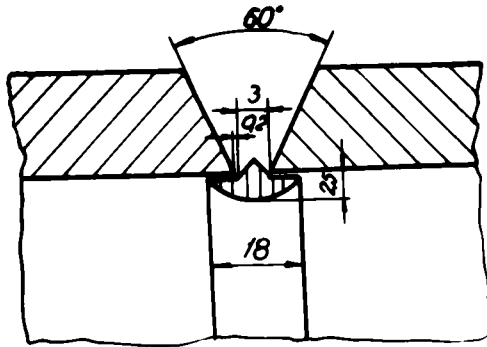


Fig.2.10.-Mod de pregătire pentru sudarea în V, cu inel interior profilat

Țevirea în V cu inel profilat în formă de romb (fig.2.11) se folosește cînd grosimea peretelui țevii variază între 16.. ..60 mm. Procedul de sudare este numai sudarea cu arc electric manual. Accesul se face numai pe o singură parte, putîndu-se suda în orice poziție.

Particularități: inelele de sprijin profilate asigură obținerea unor cusături de calitate la rădăcină, practic fără străpungere. Are însă inconvenientul că nu în toate condițiile de exploatare se folosește întreaga secțiune proiectată, după sudare rezultă o grosime care nu acoperă pretențiile de exploatare. Acest inconvenient îl produce mărimea exagerată a inelului profilat ce nu poate fi contopit prin topire în realizarea rădăcinii îmbinării.

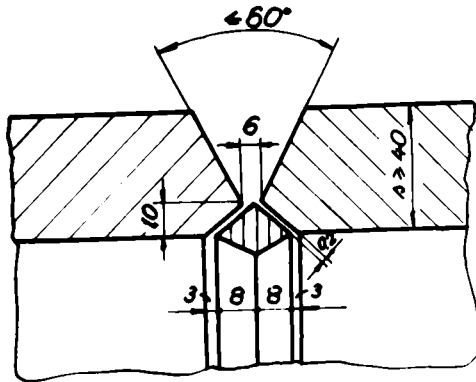


Fig.2.11.-Mod de pregătire în V cu inel de sprijin profilat

Un alt mod poate fi pregătirea în V cu inel de sprijin profilat în formă de nit (fig.2.12) pentru grosimea peretelui țevii peste 30 mm. Procedul de sudare aplicat la realizarea rădăcinii cusăturii este procedul MIG, fără metal de adăos, avându-se în vedere că inelul este laminat din același material ca și țeava [100, 139, 195].

În continuare, procedul este combinat cu procedul de sudare cu arc electric manual, sudarea făcându-se dintr-o singură parte.

Particularitățile modului de pregătire sînt legate de faptul că, cu ajutorul acestor inele se pot obține îmbinări foarte bune, inclusiv rădăcina sudurii, cu condiția ca lucrătorii sudori să fie perfecționați în astfel de lucrări. În caz contrar nu se poate conta pe realizarea unor rădăcini complet pătrunse, ceea ce poate constitui în exploatare surse de rușeri în sudură. În plus nepătrunderile sînt considerate concentratori dăunători îmbinării, așa cum ne sînt cunoscute multe avarii în decursul anilor.

În evoluția modului de pregătire a capetelor țevilor din oțel-

luri slab aliate, în speță oțelurile termorezistente, o etapă a constituirii realizarea rosturilor care să evite folosirea materialului de adăos la executarea stratului de rădăcină.

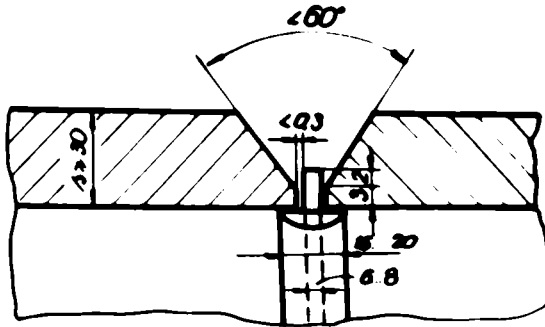


Fig.2.12.-Mod de pregătire în V cu inel de sprijin profilat

Executarea rosturilor de sudare cu degajări pe mașini unelte (fig.2.13 a, b, c) mărește volumul de muncă al prelucrărilor mecanice, dar în același timp permit pătrunderea rădăcinii cusăturii pe întreaga circumferință. În felul acesta se asigură o bună calitate a îmbinării sudate. Se menționează ca un mare dezavantaj în ceea ce privește exploatarea conductelor, că prin degajările suplimentare la partea interioară a țevii în scop nejustificat se reduce secțiunea activă de rezistență proiectată a țevii, neprevăzându-se elemente de sprijin la rădăcină. În plus nu se asigură completarea părții unghiulare la rădăcină (fig.2.13 a, b, c).

La țevi cu pereți groși, însă cu diametre mari, ce depășesc 500 mm, literatura de specialitate, [121, 122, 123], indică o largă varietate de moduri de pregătire a rostului de sudare, rost care să permită executarea cusăturii sudate atât din exteriorul țevii cât și din interiorul ei (fig.2.14 a, b, c).

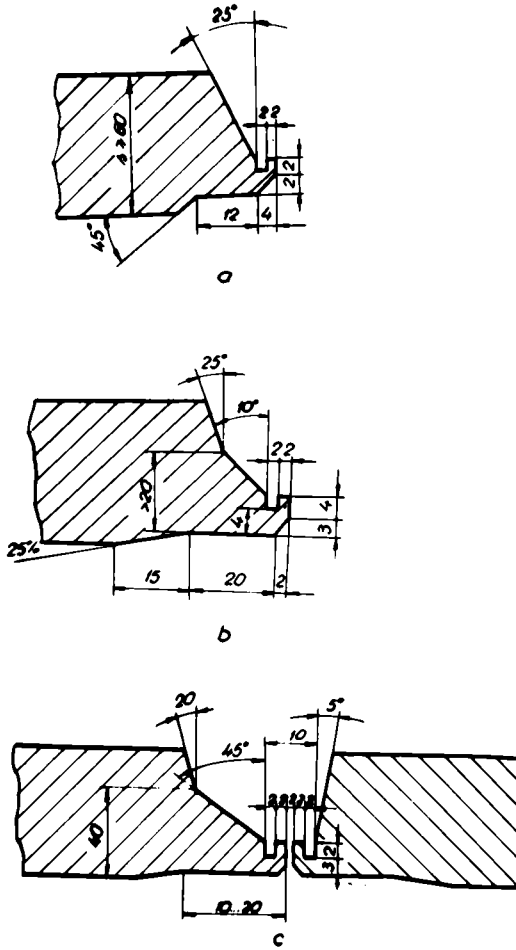
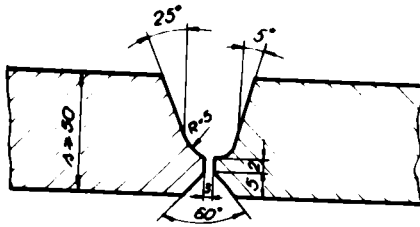
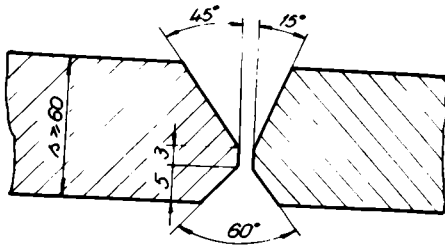


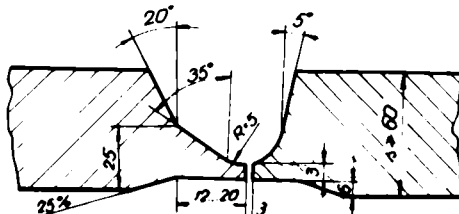
Fig.2.13.-



a



b



c

Fig. 2.14.-

În astfel de cazuri (fig.2.14 a) rămân nepătrunderi la rădăcină cu incluziuni de zgură și chiar pori de gaze, nevind posibilitatea unei scobiri a rădăcinii printr-un procedeu adecvat (aro-aer, dăltuire, frezare) din cauza pregătirii prealabile a capetelor. Nici chiar nișind pe o pregătire profesională ridicată a operatorului nu se poate asigura o îmbinare de calitate corespunzătoare. Aceleași inconveniente apar și în cazul prezentat în figura 2.14 b.

În cazul pregătirii unui rost combinat X - U (fig.2.14 c) costul ridicat al prelucrării este completat cu dezavantajul unei secțiuni a îmbinării sudate mai mică decât cea proiectată, dat fiind degajările suplimentare exagerate, impuse inutil la partea interioară a țevii și chiar la partea exterioară a țevii. În plus consumul ridicat de material de adăos este cumulat cu volumul ridicat de muncă la umplerea rostului și implicit o zonă influențată termic mare, cu implicațiile ei. Tratamentele termice cerute de astfel de oțeluri, înainte și după sudare, nu pot fi realizate conform cerințelor, [90, 142].

2.2.3. Cercetări pentru stabilirea unui rost de sudare optim

Cercetările efectuate în cadrul tezei pentru stabilirea unui rost de sudare optim, care să permită executarea comodă a îmbinărilor cap la cap a țevilor din oțeluri termorezistente, reducând totodată timpul de amonție au condus la elaborarea unui mod de pregătire original (fig.2.15).

Merita medului de pregătire a capetelor țevii constă în faptul că pe de o parte se elimină metalul de adăos la realizarea stratului de rădăcină, pe de altă parte se permite sudarea combinată a capetelor țevilor (fig.2.15).

Eliminarea materialului de adăos și realizarea stratului de rădăcină a cusăturii în mediu protectat de argon asigură o calitate foarte bună a cusăturii, ce rezultând omogenă, compac-

tă, fără scurgeri de metal sau defecte, ca nepătrunderi, incluziuni de zgură, fisuri etc. Stratul de rădăcină se realizează

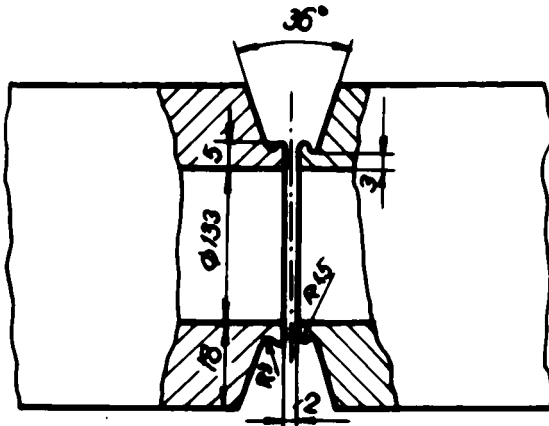


Fig.2.15.-Modul de pregătire în vederea sudării combinate cu metalul propriu al țevii.

Folosind sudarea cu arc electric în mediu de argon (WIG), arcul având energia relativ redusă, zona influențată termic este redusă iar sudura este bine protejată împotriva mediului înconjurător.

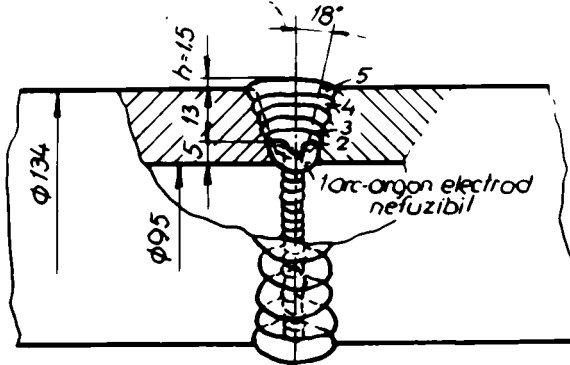


Fig.2.16.-Modul de realizare al sudării combinate

Prelucrarea mecanică cea mai pretentioasă a rostului, este compensată de eliminarea elementelor de sprijin a rădăcinii, elemente ce uneori se realizează cu volum de muncă mai mare; în plus nu apare o reducere a secțiunii de rezistență proiectare, respectiv apar scurgeri de metal și proeminențe care ar influența

asupra exploatării conductelor (vehicularea aburului nu este perturbată).

Modul de pregătire este avantajos și în ceea ce privește consumul de material de adaos necesar umplerii rostului.

Reducerea lățimii cusăturii prin micșorarea unghiului de teșire (sub 18°) ușurează și executarea tratamentului termic ulterior sudării. Apar deci și avantaje economice (pregătire și material de adaos).

2.3. Caracteristici asupra influenței modului de execuție a stratului de rădăcină

2.3.1. - Influența modului de execuție a stratului de rădăcină a îmbinării sudate

Realizarea îmbinărilor sudate a țevilor din oțel termorezistent pentru instalații centrale termoelectrice, impune o pătrundere corespunzătoare a rostului de sudare în vederea realizării unei rădăcini fără defecte, o îmbinare compactă și omogenă.

Calitatea îmbinării sudate pe toată secțiunea se obține în principal prin utilizarea unei tehnologii care să permită umplerea rostului din ambele părți sau dintr-o parte cu prelucrarea ulterioară a rădăcinii sudate [138, 139, 140].

În cazul când nu se folosesc elemente de sprijin la realizarea rădăcinii, îmbinarea realizându-se cu un singur procedeu de sudare (sudare cu flacără oxiacetilenică, sudarea cu arc electric manual), materialul cusăturii poate fi neomogen, rădăcina îmbinării prezentând defecte ce ar necesita refacearea întregii îmbinări. Dintre defectele frecvent întâlnite se amintesc: nepătrundere, fisuri, rinduri neaderente între ele, incluziuni de aer, peri de gaze și surgeri de material cu oxidarea rădăcinii, etc.

Majoritatea acestor defecte apar ca urmare a unei topiri insuficiente a rostului realizat de muchiile teșite. Partea

insuficient topită constitue o sursă de rupere a îmbinării în exploatare.

O topire corespunzătoare se poate obține dacă în prealabil muchiile ce urmează a fi sudate sînt teșite la un unghi 60° , rostul prezentînd o deschidere de 1,5...2 mm cu un umăr de sprijin de 1...1,5 mm (vezi fig.2.4), în felul acesta se pot evita defectele enunțate anterior, se constată însă o neregularitate exagerată a conturului exterior al rădăcinii.

Marele neajuns al acestui tip de îmbinare la montaj rămîne scurgerea metalului topit în interiorul țevii, obturînd secțiunea de vehiculare a agentului termic.

Înlăturarea acestui neajuns s-a realizat prin folosirea inelelor de sprijinire în vedere, sudării rădăcinii (vezi fig.2.9; 2.10; 2.11; 2.12). Acest inel în timpul sudării se topește parțial, pătrunderea realizată depinde de calificarea și îndemnarea operatorului [147, 148, 149, 150].

Modul de pregătire dă rezultate numai în anumite situații prezentînd însă inconvenientul că rezultă un cordon cu o secțiune mică, ce variază în funcție de calitatea pregătirii marginilor. De remarcat că folosind o astfel de pregătire secțiunea de rezistență se reduce simțitor din cauza degajării necesare introducerii elementului suplimentar de susținere a rădăcinii.

Perfecționarea metodelor uzuale de pregătire a capetelor țevilor din oțel termorezistent în vederea îmbinării prin sudare a condus la utilizarea inelelor de sprijin de formă tronconică cu sau fără umăr de sprijin la rădăcină (fig.2.17).

Din punct de vedere al costului execuției îmbinarea rămîne costisitoare fiind necesară prelucrarea stît a inelului de sprijin cît și a bazei muchilor țevilor ce se sudează, în plus pregătirea impune toleranțe pentru a se asigura la montaj o bună aderență a suprafețelor de contact. Și în acest caz se reduce

secțiunea de rezistență destul de pronunțat. Din punct de vedere al exploatarei soluția prezintă dezavantajul introducerii concentratorilor de tensiuni din cauza razei de curbură foarte mici

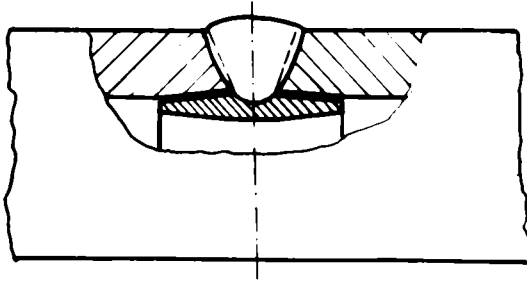


Fig.2.17.-Modul de îmbinare cu inel de sprijin de conicitate dublă

Deoarece fenomenul de frecare acești concentratori de tensiuni pot avea valori mari ducând în multe situații la fisurări complexe astfel încât inelul nu mai face parte din îmbinarea sudată (fig.2.18).

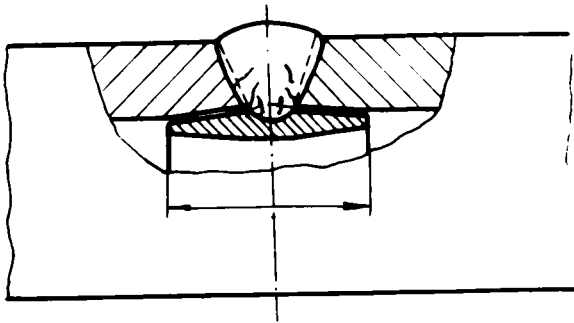


Fig.2.18.-Apariția fisurilor la rădăcina cusăturii realizate cu inel de sprijin de conicitate dublă

Trebuie ținut seama și de faptul că după sudare se creează un spațiu liber între inel și țevă, spațiu expus fenomenului de coroziune; în felul acesta funcționarea în bune condițiuni a conductei este afectată.

Reducerea secțiunii de vehiculare a fluidului sau a gazului ce apare ca un defect frecvent la astfel de soluții, conduce la majo-

rări ale presiunii care cumulate cu alte defecte de execuție poate contribui la svarierea îmbinărilor sudate.

Pornind de la soluțiile prezentate anterior, tratate în literatura de specialitate [139], s-a căutat rezolvarea modului de execuție a stratului de rădăcină în sensul eliminării elementului de sprijin al rădăcinii îmbinării sudate, obținerii unei rădăcinii de calitate, unei îmbinări omogene și compacte care să confere o siguranță mai mare în exploatare.

2.3.2.-Cercetări proprii pentru execuția optimă a stratului de rădăcină

Cercetări efectuate în sensul eliminării elementului de sprijin al rădăcinii și folosirii în întregime a grosimii peretelui țevii proiectate au condus la elaborarea unui mod original de pregătire a muchiilor țevilor și unei metode noi de realizarea îmbinării sudate.

Originalitatea modului de pregătire a muchiilor țevilor constă în realizarea unui rost de sudare care conduce la eliminarea inelelor de sprijin și a materialului de adaos la executarea stratului de rădăcină. Stratul de rădăcină se execută cu materialul de bază al țevii (fig.2.15).

Forma de pregătire a rostului de sudare a fost astfel concepută încât să se crească rezerva necesară de metal care prin topire să asigure realizarea stratului de rădăcină. Un alt avantaj constă în reducerea valorii unghiului de tăiere, în felul acesta reducându-se și consumul de material de adaos [138, 139, 140, 141, 142].

În ceea ce privește originalitatea metodei, aceasta constă în executarea stratului de rădăcină cu arc electric în mediu protector de argon, completarea rostului făcându-se prin depuneri succesive cu arc electric manual folosind electrozii destinați acestor operații.

Totodată se observă că sudarea rădăcinii în mediu de argon se execută comod, fără material de adăos, rezultând prin execuție o îmbinare cu material omogen .

Executarea stratului de rădăcină cu arc electric în mediu de argon impune utilizarea unui utilaj corespunzător, respectiv un cap de sudare (port-electrod) de dimensiuni reduse care să permită accesul la baza rostului sau modificarea ajutoarelor capetelor de sudare obișnuite. În felul acesta se reduce și consumul de argon pe unitate de cusătură [138,139, 140, 193].

Ca parametria ai regimului de sudare la executarea stratului de rădăcină s-au folosit cei indicați în tabela 2.2.

TABELA 2.2

Parametrii regimului de sudare cu arc electric în mediu de argon a stratului de rădăcină

Diametrul electrozodului de wolfram în mm	Felul curentului, polaritate	Curent de sudare A	Debitul de argon în l/minut
1...1,6	c.c (-)	70...110	6...8
1,6...2	c.c (-)	120...130	7...10
2...3	c.c (-)	125...135	9...12

Modul de realizare al cusăturii sudate se observă în figurile 5.4 și 5.5 (vezi cap.5).

În interiorul conductei ce se îmbină conform noii tehnologii, la sudarea stratului de rădăcină cu arc electric în mediu de argon, se produce topirea umărului de sprijin în întregime. În felul acesta se realizează o cusătură de formă convexă, ordonată în funcție de modul de conducere a arcului pe direcția de sudare. Probele practice realizate, certificate prin examenul macro și microstructural al îmbinărilor sudate, au arătat că la sudarea prin acest procedeu combinat a țevilor din oțel termorezistent (arc argon la stratul de rădăcină și completarea ulterioară cu arc electric obișnuit,

fig.2.16) se asigură o continuitate perfectă între cele două capete sudate.

Pentru a realiza o rădăcină corect sudată post electrodul trebuie inclinat cu 15° sub normala la planul tangent la periferia țevii (fig.5.6, vezi cap.5). Se recomandă să se folosească electrozi de wolfram aliat cu toriu, care în procesul de sudare asigură stabilitate mai bună a arcului. În procesul de sudare se folosește un arc scurt în scopul utilizării cât mai rațional a căldurii arcului.

Realizarea sudurii în condițiile enunțate elimină suflajul magnetic.

Pentru buna reușită a îmbinării sudate, în plus mai trebuie respectate unele detalii tehnologice ca:

-La executarea centrării capetelor țevilor în vederea sudării să se respecte abaterile limite impuse (fig.2.19)

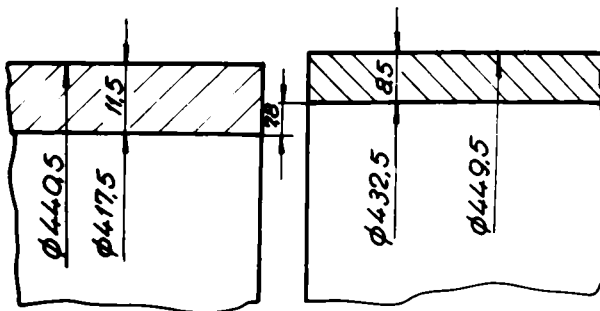


Fig.2.19.-Abateri dimensionale maxime admisibile la două țevi cu dimensiunile nominale 445 x 10 (conform DIN 1629)

la care se fac următoarele precizări privind înțelegerea datelor:

- Diametrul nominal exterior: $D_{ne} = 419 \text{ mm}$;
- Toleranța admisibilă maximă la $D_{ne} - \Delta_{ne} = 4,5 \text{ mm}$;
- Grosimea nominală a peretelui $e = 10 \text{ mm}$;
- Toleranța admisibilă maximă la $e - \delta = 1,5 \text{ mm}$;

-Diametrul exterior minim al țevii - (D_{em})

$$D_{em} = D_{ne} - \Delta_{ne} = 445 - 4,5 = 440,5 \text{ mm}$$

-Diametrul exterior maxim al țevii - (D_{eM})

$$D_{eM} = D_{ne} + \Delta_{ne} = 445 + 4,5 = 449,5$$

-Diametrul interior minim - (D_{im})

$$D_{im} = D_{em} - 2(s + \delta) = 440,5 - 2(10 + 1,5) = 417,5$$

-Diametrul interior maxim - (D_{iM})

$$D_{iM} = D_{eM} - 2(s + \delta) = 449,5 - 2(10 - 1,5) = 432,5$$

-Eroarea maximă posibilă între două țevi cu diametre interioare

la limitele maxime admise - ϵ_i

$$\epsilon_i = 1/2(D_{iM} - D_{im}) = 1/2(432,5 - 417,5) = 7,5$$

-Eroarea maximă posibilă între două țevi cu diametrele exterioare

la limitele maxime admise - ϵ_e

$$\epsilon_e = 1/2(D_{eM} - D_{em}) = 1/2(449,5 - 440,5) = 4,5$$

(mărimile sînt toate în milimetri).

-Sudarea manuală cu electrozi să înceapă imediat după terminarea sudării stratului de rădăcină în mediu de argon.

-Nu se admit întreruperi ale procesului de sudare, menținîndu-se pe toată durata sudării și între executarea răndurilor la temperatură minimă de 200°C.

-Curentul de sudare se alege astfel încît să nu se depășească o densitate de curent de cea 12...16 A/mm², la sudarea de poziție preferîndu-se valoarea minimă.

-Se preferă utilizarea electrozilor de \varnothing 4 mm, respectiv \varnothing 3,25 mm la deschideri mici ale rostului de sudare cu lungimea arcului ($l_{arc} = 0,8...1 \times r_0$) și cu polaritate inversă. Eventual, stratul de închidere final se poate executa și cu un electrod de $\varnothing=5$ mm;

-Lățimea maximă a cusăturii va fi cea determinată teoretic însă nu va depăși 2,5... 3 x r_0 .

Detaliile tehnologice sînt prezentate în figura 2.20.

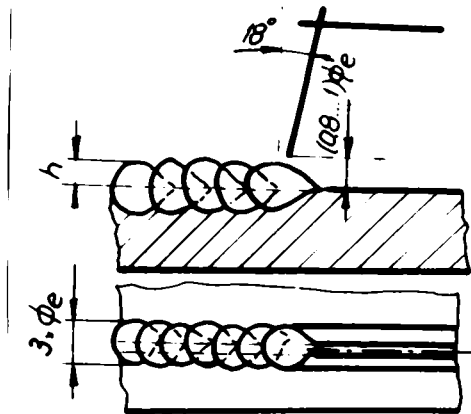


Fig.2.20.-Detalii tehnologice la executarea sudurii electrice manuale pentru completarea rostului de sudare

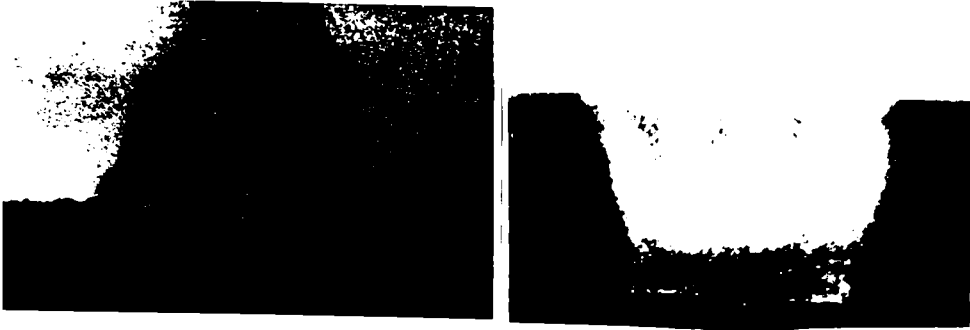
Parametrii tehnologici folosiți la sudarea cu arc electric manual în scopul completării rostului de sudare se prezintă în capitolul 5 (petul 3.1).

Noul mod de pregătire al rostului de sudare și folosirea unui procedeu combinat de sudare a țevilor din oțel termorezistent folosite frecvent în construcții montașe echipamente termoelectrice, a constituit obiectul brevetului de inovație nr.203/13.04.1971, eliberat de Institutul Politehnic Traian Vuia din Timișoara, avînd la bază contractul de colaborare nr.384/386 -1969-70 între IPTVT și întreprinderea Energomontaj București.

2.3.3.-Studiu comparativ între metoda de sudare obișnuită și metoda combinată

Studiul comparativ al metodei de sudare obișnuite cu metoda de sudare combinată executată pe același material de bază, cu aceeași electrozi și în aceleași condiții de depunere a straturilor scante în evidență următoarele:

-în cazul sudării obișnuite se observă nepătrunderea stratului de rădăcină (fig.2.21 a, b);



**Fig.2.21.-Aspectul macrostructurii după sudarea: a) obișnuită;
b) combinată**

- in comparație cu metoda obișnuită, prin sudarea cu arc argon a stratului de rădăcină se asigură pătrunderea uniformă și completă a rostului de sudare;
- prin sudarea combinată, rezultă o structură omogenă cu duritate mai mică a rădăcinii cu proprietăți mecanice mai ridicate (cap.3);
- după tratamentul termic de revenire are loc o omogenizare a structurilor diferitelor zone mai pronunțată pentru sudarea combinată;
- metoda de sudare combinată față de metoda de sudare cu arc electric obișnuită prezintă avantajul simplificării procesului datorită lipsei inelelor de sprijin;
- cercetările întreprinse în cadrul tezei de doctorat au arătat că sudarea combinată a stratului de rădăcină cu arc electric în mediu de argon și în continuare cu arc electric manual se pretează la sudarea cap la cap a țevilor din oțel termorezistent.

2.4.-Cercetări privind influența parametrilor electrici ai regimului de sudare

Influența parametrilor electrici ai regimului de sudare asupra proceselor ce au loc la sudarea oțelurilor termorezistente este o problemă mai puțin tratată în literatura de specialitate. Această problemă se va trata într-un cadru mai restrâns, ținând seama de forma cusăturii sudate, element care se poate considera ca un criteriu aproape sigur de apreciere a calității îmbinărilor sudate. De forma cusăturii depinde proporția materialului de bază și a materialului de adăos ce participă la formarea cusăturii, în consecință compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale îmbinărilor sudate, elementele formei cusăturii (fig.2.22) sînt:

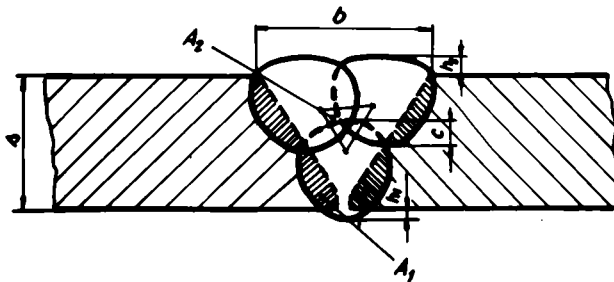


Fig.2.22.-Elementele formei cusăturii sudate

- pătrunderea (h_1);
- supraînălțarea (h_2);
- înălțimea cusăturii ($h=h_1+h_2$);
- lățimea (b);
- întrepătrunderea straturilor (c);
- coeficientul de formă al cusăturii ($\mu = \frac{b}{h_1}$);
- secțiunea metalului topit din materialul de bază (A_1);
- secțiunea metalului topit din electrod (A_2);
- secțiunea cusăturii ($A=A_1+A_2$);

-coeficientul de participare al metalului de bază la formarea cusăturii ($n = \frac{A_1}{A}$)

-coeficientul de participare al metalului de adaos la formarea cusăturii ($n = \frac{A_2}{A}$)

Între elementele amintite anterior, parametrii electrice ai regimului de sudare influențează mai pregnant asupra pătrunderii, lățimii, supraînălțării secțiunii metalului topit din metalul de bază și de adaos. Mai general ar fi vorba de coeficientul de formă, coeficientul de participare al metalului de bază și coeficientul de participare al metalului de adaos la formarea cusăturii.

Influența parametrilor electrice ai regimului de sudare se resfringe asupra formei și dimensiunilor cusăturii prin căldura degajată de arcul electric, prin modul de repartiție al acesteia între metalul de bază și metalul de adaos și prin condițiile de formare a cusăturii.

2.4.1.-Influența curentului de sudare asupra formei și dimensiunilor cusăturii.

Principalul parametru al regimului de sudare care influențează forma și dimensiunile cusăturii este curentul de sudare. Creșterea curentului de sudare conduce la creșterea cantității de căldură degajată de arcul electric și totodată o creștere a efectului de pătrundere a metalului topit din baia lichidă formată, astfel încât crește pătrunderea cusăturii.

În condițiile menținerii constante a celorlalte parametri de sudare, între curentul de sudare și pătrundere există o variație relativ liniară, în sensul că o dată cu creșterea curentului de sudare crește și pătrunderea cusăturii, considerându-se în general o variație a pătrunderii cu 1 mm pentru o variație a curentului de 35 - 45 A. Creșterea curentului de sudare influențează și asupra supraînălțării cusăturii, crescând-o, aceasta datorându-se amplificării efectului de penetrație.

Lățimea cusăturii crește mai puțin la creșterea curentului de sudare, mai ales în cazul elementelor cu pereți groși.

Totodată cu creșterea curentului de sudare, datorită măririi cantității de căldură dezvoltată în arc, are loc o creștere a cantității de metal topit din metalul de bază ce participă la formarea cusăturii.

Modificarea acestor elemente a formei cusăturii conduce și la modificarea coeficientului de formă, coeficienților de participare a metalului de bază și de adăos, la formarea cusăturii (fig.2.25).

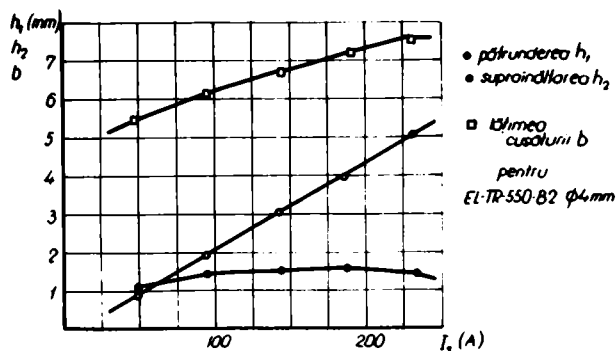


Fig.2.25.-Influența curentului de sudare asupra formei cusăturii

Aceeași influență a curentului de sudare asupra elementelor formei cusăturii se manifestă și în cazul procedurii de sudare cu arc electric în mediu protector de argon (MIG). De remarcat că variația pătrunderii cu 1 mm se produce la o variație a curentului de sudare de 40...50 A (evident că curentul de sudare se va alege în funcție de densitatea de curent admisă de electrodul de wolfram și implicit de diametrul acestuia).

Felul și polaritatea curentului folosit influențează atât și prin pătrunderea și și puterea de topire. În general aceste două elemente sînt mai pronunțate dacă la folosirea curentului continuu se folosește polaritatea directă (la electrod borna minus), comparativ cu folosirea polarității inverse (plus la electrod).

Comparativ cu sudarea în curent continuu în cazul folosirii curentului alternativ la sudare pătrunderea și puterea de topire este mai mică decât în cazul utilizării curentului continuu cu polaritate directă (fig.2.24).

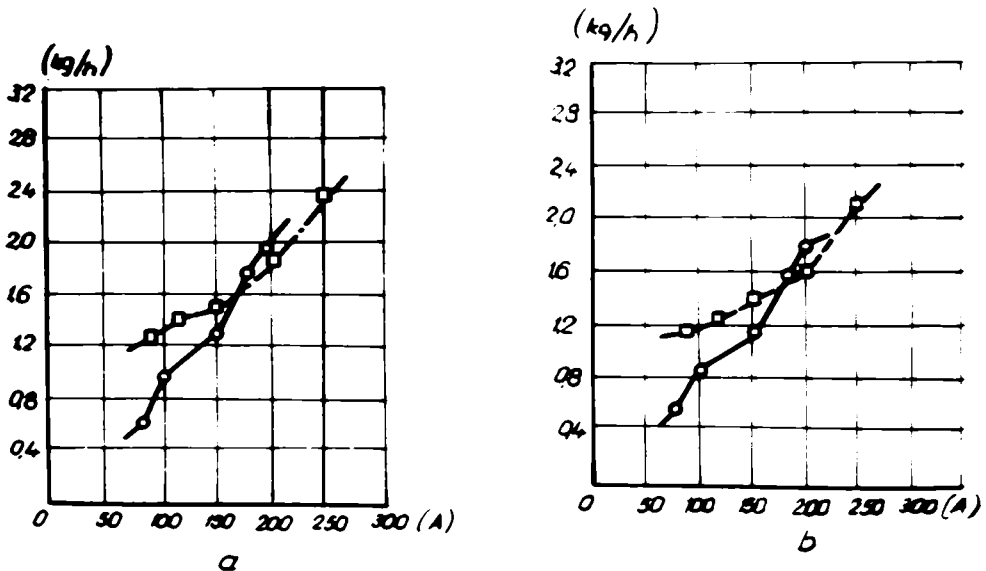


Fig.2.24.-Influența polarității curentului de sudare asupra puterii de topire: a) polaritate directă; b) polaritate inversă

În cazul sudării în mediu de argon cu electrod neconsumabil (WIG) se utilizează curentul continuu cu polaritate directă. Schimbarea polarității conduce la o încălzire puternică a electrodului, în consecință un consum exagerat sau chiar fustrarea

acestui dacă curentul de sudare este prea mare.

Polaritatea electrodului influențează și pătrunderea cusăturii. În cazul polarității directe se obține o cusătură îngustă și pătrunsă, spre deosebire de polaritatea inversă unde cusătura este lată și insuficient pătrunsă.

Foarte important este ca electrodul de wolfram să fie suficient încălzit astfel încât temperatura capătului electrodului să se găsească în vecinătatea punctului de topire al wolframului însă sub această valoare.

Acest deziderat se obține prin utilizarea unei densități de curent optim în funcție de diametrul electrodului folosit (tabela 2.3 [73]).

TABELA 2.3

Valorile curenților pentru electrozii de wolfram

Diametrul electrodului (mm)	Curent continuu A	
	Polaritate directă	Polaritate inversă
1	35 ... 70	15
1,6	50 ... 150	10 ... 20
2	100 ... 200	15 ... 25
3	200 ... 350	25 ... 40

În procesul de sudare se va urmări ca electrodul de wolfram să fie încărcat cât mai aproape de valorile maxime ale curentului admisibil pentru obținerea unui arc perfect stabil în funcție de dimensiunile și calitatea oțelului sudat.

2.4.2.-Influența tensiunii arcului asupra formei și dimensiunii cusăturii sudate

Influența tensiunii arcului este mai redusă asupra puterii de topire însă pronunțată asupra formei cusăturii. Legată de tensiunea arcului este lungimea arcului în sensul unei proporționalități:

intre ele, respectiv la creșterea tensiunii arcului crește lungimea lui, coloana arcului se mărește și deci acțiunea arcului se extinde pe o porțiune mai mare mărindu-se lățimea băii de sudură. Crește totodată și suprafața metalului de bază afectată de zăbură, fapt ce conduce de asemenea la creșterea lățimii cusăturii. Crescând lățimea cusăturii scade pătrunderea cu oca 0,4...0,5 mm pentru fiecare 3 Volți

Influența deosebită a tensiunii arcului se manifestă asupra lățimii cusăturii, la variația tensiunii arcului cu oca 1,5 V se produce o variație a lățimii cusăturii de 1 mm. Creșterea lățimii cusăturii conduce la scăderea suprinălțării, producându-se totodată modificări asupra formei secțiunii și a participării metalului de bază și de așare la formarea cusăturii (Fig.2.25).

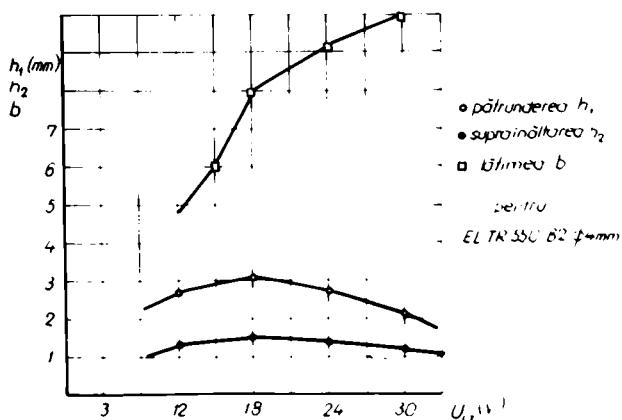


Fig.2.25.-Influența tensiunii arcului asupra formei cusăturii

Valori mici ale tensiunii arcului conduc la cusături

inguste cu supraîncălțări mari, cu aspect ordonat. Creșterea tensiunii provocată de lungirea excesivă a arcului implică instabilitate în procesul de sudare (arcul devine mobil, are fluctuații pe o suprafață mare a metalului de bază), în final obținându-se și o cusătură cu defecte (incluziuni de aer, pori, lipsă de întrepătrundere), ce afectează simțitor caracteristicile mecanice ale cusăturii.

La creșterea excesivă a tensiunii arcului transferul de metal din electrod nu mai este corespunzător, la metalul de bază nu tres picături ci fragmente care nu au posibilitatea de a se omogeniza cu metalul de bază care este rece. În felul acesta se obține o lipire și nu o sudare, deși calitatea cusăturii este necorespunzătoare.

Valoarea optimă a tensiunii arcului, care asigură o stabilitate bună a arcului și implicit cusătură de calitate este de cea 18-22 V.

Felul curentului nu influențează asupra tensiunii arcului, intervine doar în momentul aprinderii și formării arcului, când în curent continuu e necesar o tensiune de aprindere de minimum 50 V, iar în curent alternativ de minimum 60 V, aceste funcție de diametrul electrodului folosit.

Strins legat de felul curentului folosit este și caracterul învelișului electrodului.

Influența tensiunii arcului asupra formei și dimensiunii cusăturii în cazul sudării cu arc electric în mediu de argon este similară, valorile optime ale tensiunii arcului fiind de 20...24 V.

2.4.3.-Încălzirea electrodului la sudare

Legat de parametrii electrici ai regimului de sudare este problema încălzirii la sudare a electrodului. În timpul sudării electrodul se încălzește datorită efectului Joule Lens la trecerea curentului electric prin electrod. Această încălzirea în

fluențasă pe de o parte viteza de topire v_c și coeficientul de neuniformitate ξ , iar pe de altă parte poate să deterioreze învelișul electrodului referitor la compoziția sa, în cazul în care se depășește o anumită temperatură. În plus capătul electrodului se încălzește datorită arcului electric.

Ținând seama de cele arătate mai sus este necesar să se studieze încălzirea electrodului în timpul sudării. Determinarea încălzirii, respectiv a temperaturii la care se încălzește electrodul, în speță învelișul acestuia se poate face analitic și experimental.

Studiul analitic al încălzirii electrodului se face pornind de la bilanțul termic între căldura necesară ridicării temperaturii sale de la valoarea v_1 la valoarea v_2 și căldură datorită efectului Joule Iana.

$$c \gamma A_0 \cdot l (v_2 - v_1) = C_0 \cdot 24 \cdot R I_s^2 \cdot t \cdot \eta$$

unde:

c - căldura specifică a metalului electrodului, în $\text{cal/g}^\circ\text{C}$;

γ - masa specifică, în g/cm^3 ;

A_0 - aria suprafeței sârmei electrodului, în cm^2 ;

l - lungimea electrodului, în cm ;

v_2 - temperatura finală de încălzire, în $^\circ\text{C}$;

v_1 - temperatura inițială a capătului electrodului, în $^\circ\text{C}$;

$R = \rho \frac{l}{A_0}$ - rezistența electrică a sârmei electrod, în Ω ;

ρ - rezistivitatea sârmei electrod, în $\Omega \text{ cm}$;

I_s - curentul de sudare, în A ;

t - timpul de sudare (încălzire), în s ;

η - randamentul încălzirii.

Se observă că temperatura este direct proporțională cu lungimea electrodului și curentul de sudare ca parametrii mai importanți.

Temperatura finală de încălzire a electrodului sub influența efectului Joule Lens se determină cu relația:

$$v_2 = \frac{0,24 \cdot \rho \cdot j^2 \cdot \eta \cdot \pi \cdot a^2 \cdot t}{c \cdot \gamma} - v_1$$

La sudarea manuală densitatea de curent $j = \frac{I}{A_0}$ are valorile 12...16 A/mm².

Determinarea analitică a temperaturii de încălzire a electrodului sub influența efectului Joule Lens la trecerea curentului de sudare prin electrod în funcție de densitatea de curent pentru electrozii EL TR550B₁, EL TR550R₁, EL TR550...600B₂, EL TR550...600R₂, elaborați în cadrul tezei de doctorat, este cuprinsă în figura 2.26.

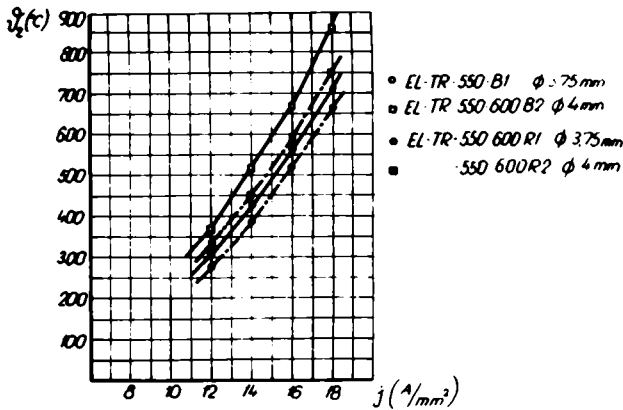


Fig.2.26.-Variația teoretică a temperaturii electrodului cu densitatea de curent pentru electrozii EL 550...600 B₂, EL 550...600 R₂

Timul de topire a electrodului s-a considerat pentru sortele banale 73 s pentru $\phi 325 \times 450 \text{ mm}$ și 8,5 s pentru $\phi 4 \times 450 \text{ mm}$, respectiv 6 s și 7 s pentru sortele rutilee, iar ca poziție

de sudare a-a laet in considerare poziția orizontală.

Determinarea temperaturii electrodului se poate face și pe cale experimentală, folosind scheme de încălzire din figura 2.27.

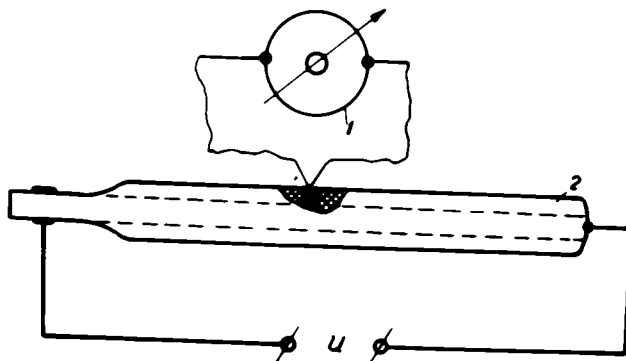


Fig. 2.27. - Schema de determinare experimentală a temperaturii de încălzire a electrodului

Electrodul este conectat la o sursă de curent continuu și respectiv alternativ pentru a determina influența felului curentului folosit la sudare.

Temperatura se măsoară cu ajutorul unei termocuple T_e -constantă, cu domeniul de măsură pînă la 900°C . Timpul de încălzire t se ia egal cu timpul rezultat din procesul de sudare, valorile fiind prezentate mai sus.

Densitatea de curent va fi de $12...18 \text{ A/mm}^2$ în felul acesta determinîndu-se valoarea curenților de sudare ce se folosesc în cazul determinărilor experimentale.

Rezultatele obținute sînt trecute în figura 2.28.

Încălzirea electrodului are o importantă influență asupra comportării sale la sudare. În cazul încălzirii excesive, în primul rînd se deteriorează învelișul prin ardere și volatilizare și se desprinde parțial de sîrmă. Acesta conduce la reducerea

stabilității arcului și respectiv va afecta calitățile mecanice ale îmbinării sudate. Totodată crește gradul de stropire, metalul topit trecând în picături mari în baia de sudură. Cusătura sudată capătă o geometrie neuniformă și scade sințitor gradul de penetrație.

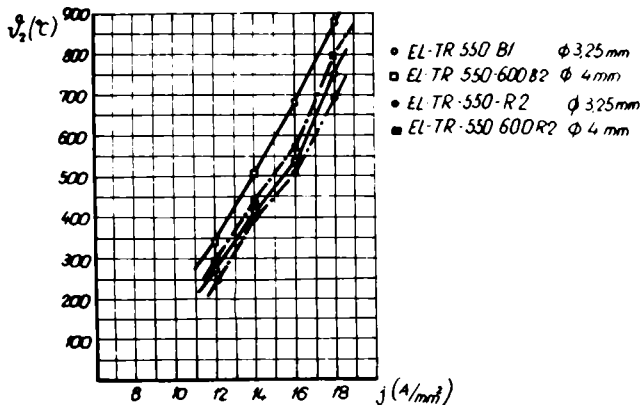


Fig. 2.28. - Variația practică a temperaturii electrodului cu densitatea de curent pentru electrozii EL TR550...600B₂ și EL TR550...600R₂

2.4.4. - Determinarea vitezei de topire a electrodului

Topirea electrodului, respectiv determinarea vitezei de topire a electrodului este o problemă de importanță practică. Ecuația care definește mersul topirii electrodului, plecând de la puterea arcului este:

$$P = 0,24 \eta_e \cdot U_a \cdot I_a = c \cdot \tau \cdot \rho_e \cdot v_e \cdot (T_2 - T_1)$$

unde: $\eta_{el} = \eta_{arc} \cdot \eta_{tb}$, randamentul topirii electrodului ($\eta_{el} = 0,316$ pentru cazul plăcii)

$\eta_{arc} = 0,8$, randamentul arcului;

$\eta_{tb} = \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot \rho_e}} = 0,494$; - randamentul topirii materialului de bază în cazul plăcii;

U_a - tensiunea arcului, în V;

I_a - curentul de sudură, în A;

c - căldura specifică, în cal/g°C;

τ - masa specifică, g/cm³;

A_0 - aria suprafeței sârmei electrod, în cm^2 ;

v_0 - viteza de înaintare a electrodului, în cm/s ;

$v_2 = 2500^\circ\text{C}$ - temperatura capătului electrodului în contact cu
arcul electric;

$v_1' = \frac{v_0 + v_1}{2}$ - temperatura la care este încălzit electrodul de
curentul ce îl pătrunde.

Se poate calcula viteza de topire:

$$v_t = v_0 = \frac{0,24 \eta e^{v_1'} A_0 I_0}{c \gamma A_0} \cdot \frac{1}{v_2 - v_1'}$$

Considerind primul factor constant, viteza de topire se poate
pune sub forma:

$$v_t = \frac{H}{v_2 - v_1'}$$

În timpul sudării temperatura v_1' variază pe măsură ce sudarea
progresează, această variație trebuind să fie compensată de o
creștere a vitezei de topire pentru obținerea unei cusături unifor-
me de către operator.

Variația totală a vitezei de topire este determinată de tempe-
ratura finală v_f la care poate ajunge sârma electrod datorită încăl-
zirii sale de către curentul de sudare. Se definește astfel viteza
de topire inițială:

$$v_{t0} = \frac{H}{v_2 - v_0}$$

și viteza de topire finală

$$v_{tf} = \frac{H}{v_2 - v_f}; \quad v_f = v_1'$$

Aprecieră gradului de neuniformitate a topirii electrodului se
face prin coeficientul:

$$\xi = \frac{v_{tf}}{v_{t0}} = \frac{v_2 - v_0}{v_2 - v_f}$$

Pentru o sudare corespunzătoare $\xi < 1,3$

Limitarea valorilor ξ se poate face prin:

-limitarea lungimii electrodului;

-limitarea curentului de sudare.

Dacă la un electrod, ξ , trebuie limitat în realabil prin alegerea potrivită a învelișului, astfel încât coeficientul α de transmitere a căldurii către mediul ambiant să contribuie la reducerea lui ξ fără a fi necesare modificarea prea mare a lungimii electrodului sau a curentului de sudare.

Coeficientul ξ este considerat un factor de calitate pentru un anumit tip de electrod, valoarea lui ξ apropiată de 1 arată că este un electrod ușor de minuit la sudare.

2.5.-Unele aspecte care conduc la stabilirea lățimii optime a cordoanelor de sudură

Lățimea cusăturii sudate influențează calitățile mecanice ale îmbinării sudate. O lățime optimă a rindului de sudură conduce la proprietăți mecanice corespunzătoare cerințelor de exploatare (în special reziliența îmbinării sudate) și implicit siguranță deplină în exploatarea a structurii sudate.

În cele ce urmează se cercetează determinarea lățimii optime a rindului de sudură pe cale analitică și verificarea rezultatelor obținute pe probe sudate.

2.5.1.-Determinarea analitică a lățimii cusăturii

Determinarea analitică a lățimii optime a rindului de sudură comportă determinarea distanței "r" de la a la x a rindului respectiv la punctul limită la care se obține temperatura de topire a materialului de bază:

$$T_{top} = 1480^{\circ}\text{C}$$

În calcule se pleacă de la expresia cîmpului termic, respectiv a temperaturii [142, 147, 148], adică:

$$T(y, z, t) = \frac{P}{2\pi \cdot \lambda \cdot \rho \cdot t} \cdot \frac{y^2 + z^2}{4\alpha t}$$

știind că

$$y^2 + z^2 = r^2, \quad B = \frac{r^2}{4a}$$

și notând

$$A = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot \nu_s}$$

astfel expresia temperaturii devine:

$$v_{(r,t)} = \frac{A}{t} \cdot e^{-\frac{B}{t}}$$

Temperatura maximă: $v_{\max} = v_{\text{top}} = 1480^\circ\text{C}$

Astfel, se obține prin derivarea ecuației precedente în raport cu timpul și anularea derivatei, următoarea expresie:

$$\frac{dv}{dt} = -A \cdot t^{-2} \cdot e^{-\frac{B}{t}} + A \cdot t^{-1} \cdot e^{-\frac{B}{t}} \cdot \frac{B}{t^2} = 0$$

sau:

$$A \cdot t^{-2} \cdot e^{-\frac{B}{t}} \left(\frac{B}{t} - t^{-1} \right) = 0$$

Rezultă că:

$$\frac{B}{t} - t^{-1} = 0$$

Introcit la valoarea v_{\max} , $t \rightarrow t_m$ se obține:

$$\frac{B}{t_m} = t_m^{-1} \quad \text{sau} \quad t_m = B = \frac{r^2}{4a}$$

Deci:

$$a_{\max} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot \nu_s \cdot \frac{r^2}{4a}} \cdot e^{-\frac{r^2}{4ar^2}}$$

dacă se pune condiția ca $v_{\max} = 1480^\circ\text{C}$ și se înlocuiește difuzivitatea cu expresia ei:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma}$$

se obține pentru expresia distanței "r" de la axa zindului de sudură la punctul limită la care se atinge valoarea temperaturii maxime:

$$r = 0,24 \cdot U \cdot I \cdot \eta \quad (\text{cm/s})$$

în care:

U - tensiunea arcului în (V);

I - curentul de sudură în (A);

η - randamentul arcului electric;

λ - conductibilitatea termică (cal/cm.s.^{°C})

T_{max} - temperatura maximă de topire în ^{°C};

c - căldura specifică (cal/g ^{°C});

γ - greutatea specifică (g/cm³);

v_g - viteza de sudare (cm/s)

2.5.2. - Determinarea practică a lățimii cusăturii

Ținând seama de relația dedusă anterior, pentru distanța "r" de la axa cusăturii la punctul limită de stingere a temperaturii de topire în materialul de bază, respectiv lățimea optimă a cusăturii s-au executat probe pe conducte din oțel termorezistent cu regiuni de sudare variabile. Pe baza acestor cercetări s-a căutat a se corela lățimea cusăturii cu cifrele mecanice obținute din îmbinările sudate.

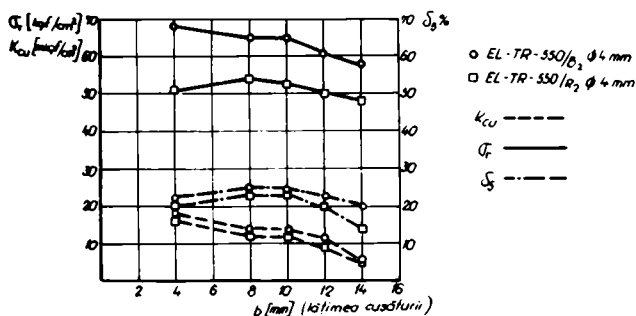


Fig.2.29. - Influența lățimii cusăturii asupra caracteristicilor mecanice ale îmbinării sudate

Rezultatele determinărilor practice ale caracteristicilor mecanice sînt prezentate în Figura 2.29.-

Se observă că rezultatele cele mai bune se obțin pentru valori ale lățimii cusăturii de ordinul 8...12 mm, ceea ce reprezintă cea de 2...5 x β_0 . De remarcă că probele au fost executate cu electrozi de $\varnothing=4$ mm din rețetele elaborate în cadrul tosei de doctorat (EL TR550B₂; EL TR600B₂; EL TR550R₂; EL TR600R₂).

Execuția probelor în scopul obținerii unor lățimi optime ale cusăturii în sensul celor expuse anterior, a impus realizarea dintr-un electrod de lungime $L=450$ mm a unui rînd de sudură cu cel puțin 400 mm și menținerea lungimii arcului chiar sub diametrul electrodului. Menținerea constantă a lungimii arcului a asigurat în execuție o lățime uniformă pe lungimea rîndului de sudură.

3.-CERCETARI PRIVIND MATERIALELE DE SUDARE DESTINATE

SUDAREA TELURII DE OTEL TERMOREZISTENTE

3.1.- Acțiunea componentelor învelișurilor de electrozi destinați sudării oțelurilor termorezistente

Învelișurile electrozilor de sudură destinați sudării oțelurilor termorezistente, sînt din punctul de vedere al componentelor principale (care constituie scheletul rețetelor), similare cu învelișurile tuturor tipurilor de electrozi slab aliați pentru oțeluri de construcții, sudabile. Diferența constă aproape exclusiv în notarea elementelor de aliere și proporțiile în care acestea din urmă sînt dozate în învelișurile respective. Astfel, pentru cazul cel mai general, cînd vergelele electrozilor sînt dintr-o firmă nealiată (cu conținut redus de carbon), învelișurile trebuie să conțină toate elementele de aliere utile care sînt posibile în nota-lul deșus prin sudare, pentru a-și asigura acestuia compoziția chimică între limitele prescrise [158, 159, 160].

Pentru cazul electrozilor de tip croma-molibden-vanadiu, în speță a celor cu conținut mediu de 1%Cr, 0,5%Mo și adăos de pînă la 0,3%V, învelișul va conține aceste elemente sub formă de fero-aliaje (pulberi) în proporții corespunzătoare, dozate în rețeta de bază, respectiv în complexul celorlalte componente care formează scheletul determinant al învelișului.

Prin scheletul învelișului se înțelege natura și proporția componentelor care determină caracterul chimico-metalurgic al agurei ce se formează în procesul de sudare, caracterul transferului de metal și proprietățile tehnologice de comportare în timpul sudării, specifice tipului de înveliș [134, 138].

Pentru elaborarea electrozilor slab aliați cu Cr-Mo-V pot fi alese două tipuri de învelișuri: bazice și rutilice. Acestea

din urmă pot avea caracter chimic-metalurgic acid sau neutru, după repertul dintre oxizii acizi și bazei. Avantajul tipului de înveliș basic este cunoscut, el se rezumă la obținerea unui metal depus prin sudare cu grad ridicat de puritate și deci cu însușiri superioare de tenacitate față de electrozii de tip rutilic de aceeași rezistență nominală la tracțiune.

Dezavantajele electrozilor cu înveliș basic, deși de natură secundară față de scopul urmărit, au dus la tendința de a-i utiliza acolo unde este posibil și electrozii cu înveliș rutilic sau acid, cunoscute fiind anumite însușiri tehnologice și tehnico-economice ale acestora. Printre acestea se amintesc: tendința mai redusă spre formarea porilor precum și penetrația și viteza de sudare mai mare.

Componentele principale ale electrozilor cu înveliș basic sînt cele indicate în continuare:

3.1.1.-Rolul carbonaților în învelișul electrozilor

Carbonatul de calciu (CaCO_3) și fluorina (CaF_2) care împreună se dozează în proporție de peste 50%, de cele mai multe ori între 55...60% din greutatea amestecului uscat. Rolul acestor componente este în principal formarea de oxid basic (CaO) în aer și de a îndepărta umescala; prin aceasta se reduce hidrogenul solubil din materialul depus prin sudare.

Carbonatul de calciu, prezent sub formă de cretă, marmoră sau calcită se descompune după reacția (3.1) formînd oxid basic de calciu și dioxid de carbon

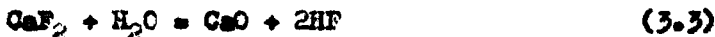


Fluorura de calciu prezentă sub forma minerului denumit fluorină, are în sîd practic un rol mai complex, reacționînd după relația (3.2) și (3.3) cu formarea tot de oxid de calciu și de gaze insolubile în oțel, respectiv cu dioxidul de siliciu din silicații învelișului din care va rezulta:



adică oxid de calciu și tetrafluorură de siliciu gazoasă, care se degaje în timpul procesului de topire și prin aceasta se micșorează concentrația în SiO_2 , component acid al zgurei.

Concomitent fluorina reacționează cu apa din inveliș pe care o descompune conform reacției:



îndepărtînd hidrogenul sub formă de acid fluorhidric gaseos, insolubil în metalul depus prin sudare.

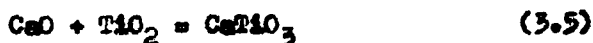
Toate reacțiile de mai sus sînt endoterme, consumînd din energia calorică generată de arcul electric.

Oxidul basic format reacționează în fază lichidă cu bioxidul de siliciu existent în silicații invelișului, legîndu-l sub formă de silicat de calciu, neutralizînd în felul acesta efectul acid după reacția:



Silicatul de calciu format conferă o fluiditate mai mare a zgurei decît oxidul de calciu.

Aceeași reacție se petrece și în cazul cînd în inveliș se găsește introdus bioxidul de titan (acesta sub formă de rutil), formîndu-se de această dată titanul de calciu după reacția:



S-a dovedit că acest component micșorează intervalul de solidificare, concurend la formarea unei așe nice "șaguri scurte" favorabilă unei depuneri uniforme a acestora pe cordonul de sudură rezultat, favorizînd în același timp o manipulare mai comodă a electrodului, mai ales în cazul lucrărilor de sudare în poziție fixă, (adică vertical, orizontal în plan vertical și de plafon).

Prin reacțiile de mai sus sînt explicate și rolurile silicailor și rutilului din invelișul electrodului cu caracter basic.

3.1.2.-Rolul silicaților și titanajilor în învelișul electrozilor

Compoziții de învelișuri pe electrozi avînd la bază SiO_2 și TiO_2 sînt prezenți în mase de amestecuri într-o proporție redusă, însă necesară pentru obținerea unei zone cu însușiri avantajoase din punct de vedere al comportării la sudare.

Silicații pot fi prezenți în învelișurile bazice atît sub formă de lianți (silicat de potasiu sau de sodiu), cit și sub formă de minereuri ca: feldspat și cuarț sau talc. Acest ultim element avînd și un important rol de plastifiant al pastei preparate necesară procesului de păsare a învelișului. Concomitent talcul e considerat în procesul de fabricație al electrozilor ca material care mărește aderența învelișului la suprafața vergelelor metalice folosite.

Talcul în învelișurile bazice trebuie adăugat însă în proporție redusă atît, cit se dovedește strict necesar pentru a-și face efectele favorabile amintite.

Conținuturi mai mari în talc sînt dezavantajoase atît din cauză că aceasta conține apă de constituție, cit și pentru influența nefavorabilă asupra procesului de topire. La topire cauzează improprietăți explosive de agură în multe cazuri, antrenînd și picături mari de metal expulsat din coloana centrală a arcului electric folosit pentru topire [133, 134, 135].

Dioxidul de titan sub formă de rutil sau alb de titan, s-a dovedit un component util și chiar necesar în cele mai frecvente cazuri mai ales cînd este prezent în înveliș în proporție de ordinul a 5.. ..10% din greutatea învelișului în sine.

3.1.3.-Rolul ferrosiliciului și feromanganului în învelișul electrozilor

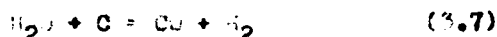
În complexul de componenți ai învelișurilor bazice pentru electrozii alab aliați, joacă un rol de cea mai mare importanță ferrosilici-

jale cu acțiune desoxidantă și în același timp alianță. Din rețetele înveligurilor bazice nu pot să lipsească feromanganul și ferossiliciul, ambele având rolul de desoxidanți și alianți. Acțiunea alianță predomină la feromangan iar cea desoxidantă fiind determinată mai mult de ferossiliciu.

În general feromanganul trebuie să fie utilizat din sortimentele cu conținut de cel mult 2% carbon; de preferință pentru fabricație, sub 1% carbon și sub 0,25% fosfor, concomitent cu cel puțin 80% mangan.

Ferossiliciul este preferat de calitate cu conținut de 45..50%, deoarece sortimentele cu conținut mai înalt în siliciu nu pot fi utilizate fără o prealabilă operație de "pasivizare". Aceasta se face în scopul evitării unei reacții de combinare cu liantul întrebuințat. Prin această combinare se produce o supraîncălzire (înfierbîntare) a pastei de presat favorizînd formarea de gaze în interiorul acestuia (fenomen așa zis de dospire a amestecului pistoaie umed) [15, 159, 16].

Ca desoxidant și alianț în același timp poate fi utilizat și silicomanganul, completat cu ferossiliciu, care s-a dovedit în practică că dau bune rezultate. Important este însă menținerea unei anumite proporții între concentrațiile de mangan și de siliciu, astfel încît în metalul depus prin topire, respectiv prin sudare să avem un raport de mangan față de siliciu, de ordinul 2:1, concomitent cu condiția unui conținut minim de 0,3% Si. În caz contrar, baia formată de metalul topit în procesul de sudare, nu este suficient calmată, prezentînd tendința de a favoriza formarea porozităților în interiorul metalului ce formează cusătura. Fenomenul în acest caz este inevitabil chiar în decursul solidificării și răcirii fazei solide, cînd se pot petrece următoarele reacții generatoare de gaze în sudură:



Aceste gaze pot lua naștere și din reacția între carbonul metalului topit și oxigenul dizolvat în acesta, în cazul când oxigenul nu a fost în măsură suficientă legat prin calmare cu siliciul ca element cu afinitate mare față de oxigen.

Pericolul formării porilor în timpul topirii și după solidificarea metalului depus prin sudare, rezidă în faptul că gazele insolubile în sudură nu au timpul să se degaje, aglomerându-se sub formă de bule sferice în interiorul cusăturii rezultate.

3.1.4.-Acțiunea hidrogenului în invelișul electrozilor

Hidrogenul sub formă atomică este foarte solubil în baia lichidă de oțel și în austenită și mai puțin solubil în ferită. Dacă în timpul solidificării, atomi de hidrogen se combină între ei cu formarea hidrogenului molecular (H_2) și acesta din urmă nu are timp ^{se} suficient la dispoziție să degaje în atmosferă, el va rămâne ca incluziune gazoasă în sudură. Pe de altă parte, hidrogenul atomic, ușor difuzibil în oțel, care tinde să părăsească totuși metalul în timpul răcirii, va găsi în anumite puncte, în drumul său spre exterior incluziuni de natură oxidică (FeO, MnO) care pierd mai ușor oxigenul decât SiO_2 -ul sau TiO_2 -ul, în punctele respective. La o anumită temperatură și presiune, se va petrece o reacție de formare a vaporilor de apă, concomitent cu o reducere a oxizilor după reacția ce urmează:



Ori, acești vapori de apă, formați în interiorul fazei solide nu vor putea difuza și moleculele respective se vor aglomera în cusăturile sudate, sub formă de pori. Așa dar, din cele de mai sus rezultă evident rațiunea pentru care este necesar să se realizeze încă în timpul existenței fazei lichide, o foarte bună desoxidare, respectiv calmare a metalului depus ce formează cusătura propriei sa, oxigenul fiind legat în principal sub formă de SiO_2

lichid, care în timpul topirii metalului trece în zăbură și nu rămâne sub formă de oxizi metalici de formă (FeO , MnO , CrO_2 , etc).

Din cercetările efectuate s-a demonstrat că acești oxizi au numai efecte negative asupra însușirilor metalului.

3.1.5.-Rolul ferotitanului în învelișul electrozilor

O acțiune deoxidantă mai puternică decât aceea ce ne-o oferă siliciul, o poate exercita în timpul procesului de topire titanul. În masa învelișurilor titanul este dozat, pentru sorturile bazice de electrozi, sub formă de ferotitan. În acest caz siliciul poate fi micșorat în compoziția rețetei. Pe de altă parte titanul are și un efect pozitiv asupra structurii finale a cusăturilor efectuate deoarece titanul ca element în masa oțelului, favorizează cristalizarea în grăunți mai fini. În plus titanul leagă o parte din carbon sub formă de carbură de titan, micșorând în același timp concentrația de carburi prea dure în masa sudurii sau în zona de trecere de formă (carburi de Cr, Mo etc) insolubile în ferită. Ceea ce este mai important, titanul leagă o mare parte din azotul dizolvat în baia metalică, formată în procesul de sudare, dând azotură de titan solubilă în fază solidă. Prin aceasta se evită formarea unei concentrații prea mari de azotură de fier, despre care se cunoaște că influențează în mod negativ stabilitatea oțelului la apariția fenomenului de îmbătrânire.

Prezența titanului în metalul depus prin sudare, chiar într-o concentrație de ordinul a 0,05...0,10%, favorizează obținerea unor valori mult mai ridicate de rezistență la șoc a îmbinărilor efectuate prin sudare folosind pentru aceste electrozi cu înveliș bazic. Nu același lucru putem obține în cazul folosirii la sudare a sorturilor de electrozi cu înveliș acid sau rutilic. Este cunoscut că acestea din urmă conțin mici cantități de titan, rezultat din reducerea parțială a TiO_2 -ului din înveliș. În felul acesta sudurile obținute au o reziliență mai mică datorită conținuturilor sensibil

mai mari în oxigen, azot și hidrogen. De asemenea pragul de fragilitate la rece la sudurile executate cu electrozi bazici este situat la temperaturi mult mai joase decât a sudurilor executate cu electrozi cu înveliș de natură acidă sau titanică [138, 160].

În ceea ce privește acțiunea elementelor Cr, Mo, V respectiv dozarea lor în învelișurile electrozilor destinați sudării oțelurilor termorezistente, aceasta va fi tratată în capitolul 5.

Se atrage atenția însă că pentru utilizarea feroaliajelor amintite ca, Cr, Mo, V trebuie să se aibă în vedere conținutul de carbon în masa oțelului, acesta să fie mai redus $< 0,12\%$, de asemenea impuritățile dăunătoare să rămână cu urme.

3.2.-Cercetări experimentale asupra electrozilor de sudare indigeni și străini

Pentru sudarea oțelurilor termorezistente de tipul 0,5% Mo, 1,0% Cr cu adăos de 0,5...0,5% V, oțeluri livrate de URSS pentru construcția echipamentelor termoelectrice, din sorturile (12HMF) 12XMF, sînt recomandați electrozii de sudură cu înveliș basic de tipul E-HMF după GOST 9660-60 pentru al căror metal depus prin sudare sînt prescrise următoarele condiții tehnice esențiale (tabela 3.1):

TABELA 3.1

x) Condiții tehnice esențiale impuse prin GOST 9660-60 pentru materialul depus la sudarea oțelurilor termorezistente

Tipul electrozilor GOST 9660-60	C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S	σ_r kgf/mm ²	δ_5 mm	k_{C_2} min mkgf/cm ²
E-HMF H=20	0,06-0,13	0,5-0,9	0,15-0,40	0,8-1,2	0,45-0,70	0,04	0,04	≥ 50	> 16	≥ 6

x) Nu este prescrisă limita de curgere la temperatura normală sau la cald, dar în literatura de specialitate sînt indicate valorile obținute

Aceste proprietăți mecanice minime se referă la metalul depus prin sudare, deci metal neinfluențat de metalul de bază. Rezultatul este cel obținut din probe sudate în profil cornier, în straturi multiple depuse succesiv, iar după terminare epruvetele sînt supuse unui tratament termic de revenire înaltă la 750°C timp de 2...3 ore apoi răcite în aer liber.

Standardele noastre, respectiv STAS 7240-68 prevede (tabela 3.2) o serie de gaze tipuri de electrozi pentru sudarea oțelurilor termorezistente aliate cu Mo, MoCr și MoCrV. Unul dintre aceste sorturi respectiv cel simbolizat cu El VMoCr1B corespunde cu cel simbolizat în GOST 9660-60 cu inițialele E-HLMF, elaborarea lui fiind realizată în țară, la fabrica de electrozi INDUSTRIA SIRMII din Cimpia Turzii.

Cercetările efectuate de autor la ISCT pentru elaborarea unor sorturi de electrozi destinați sudării unor oțeluri termorezistente cu compoziție stabilită au condus la obținerea a patru noi sorturi de electrozi, ce se prezintă în continuare

3.2.1.-Electrozi de sudare pentru oțeluri termorezistente aliate cu Mo și MoCr

În scopul sudării unor oțeluri aliate cu Mo și MoCr, utilizate la construcția prin sudare a cazanelor și țevilor pentru abur supraîncălzit, s-au efectuat în anii 1960-1961 o serie de cercetări avînd ca rezultat obținerea a două sorturi de electrozi care sînt corespundă condițiilor tehnice din proiectul de recomandare Kol2 (URSS). Aceasta pentru unificarea standardelor de electrozi și sîrme de sudură.

S-a reușit elaborarea unor ^{electrozi} experimentali, de calitate corespunzătoare care au fost apoi standardizați (STAS 11125-61 cu intrarea în vigoare din 1.6.1962). În consecință electrozii aliați cu Mo și MoCr au fost prevăzuți a se fabrica pe scară industrială și introduși

Electrod destinați sudării oțelurilor rezistente aliate cu Mo, NiCr și MoCrV

Nr el. lui	Marca o- telului	D mm	L mm	R mm	K ₁ %	K ₂ %	K ₃ %	K ₄ %	COMPOZIȚIA CHIMICĂ						
									C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Ni
16	ELMo3	34	48	18	8	6	0,05-0,12	max 0,40	0,4-0,80	-	0,35-0,70	-	0,05	0,05	680
17	ELMoCr3	34	48	18	8	6	0,05-0,12	max 0,40	0,40-0,90	0,30-0,65	0,40-0,70	-	0,04	0,04	700
18	ELMoCr1B	36	50	16	8	6	0,06-0,12	0,15-0,45	0,50-0,90	0,70-1,1	0,40-0,70	-	0,04	0,04	700
19	EL	36	50	16	8	6	0,08-0,13	0,15-0,45	0,45-0,90	0,80-1,2	0,40-0,70	0,10-0,35	0,04	0,04	700
20	EL	40	55	14	6	6	0,08-0,13	0,15-0,45	0,30-0,90	4,5-5,0	0,40-0,70	0,10-0,35	0,04	0,04	730
21	EL	36	50	16	6	6	0,06-0,12	max 0,40	0,40-0,80	2,0-2,5	0,80-1,10	-	0,04	0,04	750

x) Se fabrică numai pe bază de înțelegere între părți

xx) Conform STAS 5540-65

CEBIVASII: Caracteristicile mecanice sînt obținute după tratamentul termic indicat în fișa tehnică a fiecărui electrod

in planul tematic departamental pe 1962 la capitolul "Asimilări de produse noi".

Cercetările efectuate pentru definitivarea rețetelor și tehnologia de fabricație la scară industrială au fost efectuate în trimestrul I și II din anul 1962, electrozii fiind puși în fabricație și livrați pe baza STAS 1125-64, ca o cerință a producției de construcții montaje prin sudare a echipamentelor termoelectrice.

Caracteristicile tehnice principale ale electrozilor realizați (conform STAS 1125-64) comparativ cu prescripțiile din proiectul de recomandare K₀12 (URSS) sînt prezentate în tabelele 3.3 și 3.4.

ABILA 3.3

Electrozi EI-MoB, caracteristicile mecanice ale metalului după prin sudare

Caracteristici mecanice usuale	Prescripțiuni		Realizări		
	Ko12 (URSS) marca EM	STAS 1125-61 tip EI-MoB	Minim	Maxim	Media la 5 probe
	Valori minime				
σ_c , in kgf/mm ²	-	34	37	51	45
σ_p , in kgf/mm ²	50	50	51	63	56
δ_5 %	18	20	22	28	25
KCU 50/2 mkgf/cm ²	8	8	12	18	14

OBSERVAȚII: Conform tabelii 3.1 rezultă că prescripțiile STAS 1125-61 sînt mai exigente deoarece se precizează și limita de curgere (σ_c) ca valoare obligatorie, de minimum 34 kgf/mm², iar alungirea la îmbinări prin sudare cu sortul respectiv (EI-MoB) este minimum 20% în loc de minimum 18%.

TABELA 3.4

Caracteristicile mecanice ale metalului depus cu electrozi
E1-MoCrB

Caracteristicii mecanice uzuale	Prescripțiuni		Realizări		
	Kol2 (URSS)	STAS 1125-61	Minim	Maxim	Media la 5 probe
	marca EM	tip E1 MoCrB			
Valori minime					
σ_c , in kgf/mm ²	-	34	43	54	48
σ_r , in kgf/mm ²	50	50	53	67	60
δ_5 %	18	18	19	26	23
KCU 3W/2 mkgf/cm ²	8	8	10	15	11

OBSERVAȚII: Valorile realizate sînt superioare, în deosebi la rezistență și reziliență.

Limita de curgere de minim 34 kgf/mm² a metalului depus prin sudare trebuie considerată acoperitoare deoarece pentru oțelurile aliate cu Mo și MoCr din STAS 2881-68 se prescrie minim 25 kgf/mm² la oțelurile CAT-1 aliate numai cu Mo, iar la oțelurile CAT 2... CAT-5 aliate cu MoCr se prescrie minim 30 kgf/mm².

Electrozii au fost standardizați cu simbolurile de E1-MoB și E1-MoCrB, avînd următoarele semnificații:

E1-MoB = electrozi aliați cu Mo cu înveliș basic;

E1-MoCrB = electrozi aliați cu MoCr cu înveliș basic.

Dimensiunile de fabricație prevăzute sînt de $\varnothing 3,25$ mm, l 4 mm și δ 5 mm, la lungimea de 450 mm, sau la alte dimensiuni ($\varnothing_e \times l_e$) standardizate.

În ceea ce privește compoziția chimică a metalului depus prin sudare, standardul prevede următoarele conținuturi în elemente de aliere:

-la electrodul de tip E1-MoB minim 0,4% Mo;

-la electrodul de tip El-MoCrB minimum 0,4% Mo și 0,4% Cr.

Aceste conținuturi de Mo, respectiv MoCr sînt prescrise a fi introduse în invelig cu scopul de a asigura rezistența corespunzătoare a îmbinărilor sudate la temperaturi $\geq 500^{\circ}\text{C}$.

Pentru a cunoaște ordinul de mărime a rezistenței corespunzătoare a sudurilor la temperatura $\geq 500^{\circ}\text{C}$ s-au determinat aceste valori pe un set de epruvete, obținindu-se următoarele rezultate (tabela 3.5)

TABELA 3.5

x)

Caracteristicile mecanice la temperaturi ridicate ale electrozilor El-MoB și El-MoCrB

Sudură pură cu electrozi avînd denumirea	Limita de curgere σ_c , kgf/mm ²			Rezistența la rupere σ_r , kgf/mm ²		
	minim	maxim	media la 5 probe	minim	maxim	media la 5 probe
El-MoB(525°C)	26	34	29,6	31,5	41,7	37,6
El-MoCrB(575°C)	31	38	33,6	36,4	43,6	41,4

x) Datele sînt întocmite pe baza buletinelor de încercări Nr.171 și 172 din 30.04.1962 elaborate de ICPI-București

Cea mai importantă caracteristică este limita de curgere (σ_c) la temperaturi ridicate. Ori, din tabelul 3.5 rezultă că sudura depusă cu electrozii El-MoB are o limită de curgere la 525°C mai mare decît cea prescrisă pentru oțelul CAT-1 la temperatura ambiantă (minim 26 față de minim 25 kgf/mm²), iar sudura depusă cu electrozii El-MoCrB are limita de curgere (σ_c) la 575°C mai mare decît cea prescrisă pentru oțelurile CAT-2, CAT-3, CAT-4 și CAT-5 la temperatura ambiantă (minim 31 față de minim 30 kgf/mm²).

Aceste rezultate atestă un indiciu nefindoelnic că îmbinările executate cu arc electric manual, folosind electrozii El-MoB și El-MoCrB asigură rezistența corespunzătoare și la temperaturile ridicate la care sînt supuse în exploatare.

Cele două sorturi, tipul 16 și 17, cu denumirea comercială **Ni-MoB** și **Ni-MoCrB** sînt destinate sudării oțelurilor slab aliate cu molibden și molibden-crom, utilizate la construcții prin sudare, de cazane și țevi, care funcționează la temperaturi cuprinse între 500...575°C.

Pentru fabricarea electrozilor **Ni-MoB** și **Ni-MoCrB** se aplică procesul tehnologic general de fabricare al electrozilor cu învelișul basic, folosind sîrma trefilată de calitate SLA.

La fabricare trebuie ținut seama de faptul că: rețetele de înveliș sînt bazice și se dozează conform tabelului 3.6, luînd în considerare atât presarea cit și uscarea acestora după presare.

TABELA 3.6

Rețete pentru sorturile **Ni-MoB** și **Ni-MoCrB**

Materialele pulverulente utile în procente pe sort electrozi	Sortul de electrozi și simbolul Ni-MoB	Sortul de electrozi și simbolul Ni-MoCrB
Grata de Bazarab cal. I	33,0	33,0
Fluorina cu minim 95% CaF_2	3,0	3,0
Ferotitan, T ₁₁ sau T ₁₀	15,0	14,5
Feromangan Mn ₁ sau Mn ₂	0,5	0,5
Ferosiliciu Si-45	3,0	3,0
Feromolibden M ₁ sau M ₂	3,5	3,5
Ferocrom H ₁₀₀₀₀ sau H ₁₀₀₀	-	2,5
Tale tip A, sort I	12,0	10,0
Celuloză specială pentru electrozi	3,0	3,0
T o t a l general	100%	100%

OBSERVAȚII: Pentru cazul cînd feroaliajele cu Mo și Cr au conținut sensibil deosebit în Mo și Cr decît limitele inferioare de 55%, respectiv 65%, se dozează procentaje echivalente compensînd conținutul de eretă în tabelul menționat. Granulația feroaliajelor < 0,20. La rest în stare de livrare.

Ca liant pentru prepararea pastei presabile se utilizează amestecul de silicat de Na și K prescris pentru electrozi bazici obișnuiți în proporție de 27...30% din greutatea amestecului^u uscat, această indicație fiind precizată de tehnologii secției.

Diametrul total se presează la $D=1,55 \text{ --- } 1,60 d$, iar electrozii se vor fabrica la diametrele $\varnothing 3,25, 4$ și 5 mm . Presiunea maximă va fi de 200 atm pe mașinile existente de presat (ACIL) de care dispune Uzina Industria Sirmei din Cimpia Turzii.

Preuscarea se face la minim 16 h în aerul hălei industriale (ISCT), urmată de o calcinare la $300...350^{\circ}\text{C}$ în cuptor, timp de 1 h .

Tratamentul termic și prescripțiunile pentru sudare cu aceste sorturi de electrozi sînt:

Sudurile executate cu acești electrozi (Ni-MoB și Ni-MoCrB) dacă nu sînt supuse unui tratament termic de revenire dau rezistențe mult mai mari decît cele necesare și în consecință alungiri mai reduse care nu satisfac cerințele impuse. De aceea toate normele uzuale prescriu ca, după sudare să se aplice îmbinărilor un tratament termic de revenire.

Acest tratament trebuie indicat de către producători în certificatul de calitate al electrozilor livrați.

Electrozii Ni-MoB fabricați de Uzina Industria Sirmei Cimpia Turzii după rețeta din procesul tehnologic stabilit, dau în metalul depus prin sudare, caracteristicile prescise în STAS 7240-68, după un tratament termic de revenire la temperaturi cuprinse între limitele de $550...600^{\circ}\text{C}$ (la unele șarje au dat rezultate chiar la 500°C)

Electrozii Ni-MoCrB dau rezultate corespunzătoare în sudură după revenirea la temperaturi de $650...700^{\circ}\text{C}$.

Ambel tipuri de electrozi se pretează bine la sudare cu surse de curent continuu folosind polaritate inversă la electrod, respectîndu-se parametrii prezentați în tabela 3.7.

Arcul electric se menține cît mai scurt posibil, nu va depăși $1 \times D_p$, iar viteza de avans pe direcția de sudare redusă, astfel ca metalul lichid depus să nu se poată răci cu viteze mari. Se asigură prin aceasta o eliminare cît mai bună a gazelor din metalul topit.

TABELA 5.7

Parametrii recomandați pentru sudarea cu electrozi El-MoB și El-MoCrB

Diametrul în mm	Ø3,25 mm	Ø4,0 mm	Ø5 mm
Curentul de sudură I_s în A	100...130	140...170	180...210
Tensiunea arcului U_a în V	18...23	20...24	20...25

La elemente de construcții prin sudare cu pereții groși, < 16 mm, se recomandă sudarea după o preîncălzire la temperatura de minim 200°C. După sudare se prescrie în toate cazurile un tratament de detensionare care se stabilește de la caz la caz, în funcție de oțelul ce s-a sudat.

O bună detensionare poate fi obținută conform probelor practice la temperatura de 650...675°C.

Sortul de electrozi tip 16, El-MoB, se utilizează numai pentru sudarea oțelurilor termorezistente aliate cu Mo, care lucrează ca elemente de construcții până la temperatura de 500°C. Presiunea de regim în cazul tuburilor sau țevilor din instalații termoelectrice nu poate depăși 110...130 atm.

Sortul de electrozi tip 17, El-MoCrB se utilizează și pentru sudarea oțelurilor cu MoCr, care lucrează la temperaturi până la 550°C.

Fabricația în țară a celor două tipuri 16 și 17, respectiv El-MoB și El-MoCrB, similari cu sortul B-M și E-MH după normele sovietice precum și cu alte sorturi destinați aceluiaș scop, se poate realiza cu actualele mijloace disponibile la Uzina Industria Sîrmei din Cîmpia Turzii, folosind minereurile de proveniență indigenă, excepție făcînd o parte din feroaliaje.

Se atrage atenția că nu se necesită investiții de noi utilaje, sau cumpărarea unor licențe străine pentru rețete de învelișuri în acest scop.

Lucrările executate la noi în țară cu astfel de electrozi, prezentate în prima parte a lucrării, satisfac cerințele de exploatare.

3.2.2.- Electrozi de sudare pentru oțeluri termorezistente aliate cu CrMoV.

Pe baza cercetărilor efectuate în anul 1962-63, concretizate în lucrarea din planul de cercetare al catedrei Utilajul și tehnologia sudării, cu titlul "Comportarea la sudare a electrozilor de fabricație indigenă CrMoV și CrMoVNb destinați sudării oțelurilor termorezistente" a fost posibilă asimilarea acestor sorturi de electrozi în țară și fabricarea lor pe scară industrială din anul 1964 la Uzinele Industria Sîrmei Cîmpia Turzii.

Electrodul CrMoV, din punct de vedere al performanțelor, corespunde și condițiilor tehnice din proiectul de recomandare CAER. St. Tema 66/63, atât ca însușiri mecanice cât și din punct de vedere al compoziției chimice.

Tipul aliat în plus cu Niobiu nu a fost prevăzut a fi asimilat, deoarece pe parcurs a fost eliminat din proiectul de recomandare CAER, de către comisia experților.

Pînă în anul 1964 la Uzinele Industria Sîrmei din Cîmpia Turzii s-au fabricat din categoria electrozilor destinați sudării oțelurilor termorezistente, numai tipurile slab aliate cu Mo și MoCr, standardizate sub simbolul E1-MoB și E1-MoCrB, corespunzătoare cu tipurile nr.16 și 17, (tabelul 3.2) a proiectului CAER de mai sus.

Electrozii asimilați în anul 1964, aliați pe lângă MoCr și cu elementul V, se caracterizează printr-o creștere însemnată a limitei de curgere la temperaturi înalte de regim, față de cei fără Vanadiu. Acest fapt a fost scos în evidență prin rezultatele lucrării de cercetare științifică efectuată în anul 1963. S-au determinat atunci pentru electrozii Cr-Mo-V valori ale limitei de curgere **BUPT**

tehnică la 550°C cuprinse între 50...75 kgf/mm² față de numai 24...26 kgf/mm², obținute cu electrozii MoB și MoCrB, fără Vanadiu.

Înainte de a se trece la fabricația pe scară industrială a prototipului de electrozi crom-molibden-vanadiu, s-au efectuat încercări comparative între două variante de laborator, produse, prima cu silicat de potasiu ca liant, a doua variantă cu silicat de sodiu, urmărindu-se următoarele:

- caracteristicile mecanice pe epruvete obținute prin sudură pură;
- comportarea la sudare și stabilitatea arcului în procesul de topire;

Nu există deosebiri cu privire la caracteristicile mecanice esențiale ale celor două variante; ambele dau după topire un metal după de compoziție chimică corespunzătoare și caracteristici mecanice foarte apropiate (tabelul 3.8).

TABELA 3.8

Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale celor două variante de electrozi CrMoV

Variante comparative	Compoziția chimică						Caracteristicile mecanice în kgf/mm ² , * și mkgf/cm ²			
	Cr	Mn	Si	Cr	Mo	V	σ _c	σ _r	δ ₅	KCu 30/2
Varianta I cu silicat de potasiu (K)	0,07	0,66	0,23	1,12	0,55	0,26	26,8	66,5	20,6	17
Varianta II cu silicat de sodiu (Na)	0,07	0,64	0,25	1,16	0,57	0,27	28,2	68	19	16
Prescripția conform normelor	0,13 max	0,4-0,9	0,15-0,45	0,8-1,2	0,4-0,7	0,10-0,85	27	5 min	16 min	8 min

Trebuie de asemenea menționat că nici în ceea ce privește comportarea în timpul sudării nu s-a observat între cele două variante deosebiri apreciable.

O examinare mai atentă a unui lucrător su/or mai experimentat scote în evidență însă faptul că varianta de electrozi produsă

utilizând ca liant exclusiv silicatul de potasiu în timpul topirii dă un arc mai stabil la sudare cu stropi mai reduși.

La ambele variante produse dintr-o rețetă cu 3% FeV, se evidențiază o rezistență la tracțiune mult prea mare față de cea prescrisă (admisă) în literatura de specialitate. În consecință se poate deci reduce conținutul de FeV din rețetele de laborator astfel ca vanadiul să fie prezent în sudură într-o proporție mai apropiată de limita inferioară prescrisă.

Pe baza verificărilor preliminare descrise mai sus, cit și pe baza experienței acumulate în elaborarea unui set de cca 21...25 variante de studiu, s-a trecut la fabricarea prototipului, după rețeta dată în procesul tehnologic din documentația prezentată în continuare.

Pentru fabricarea electrozilor de sudură CrMoV (Al-VMoCrB) destinați sudării oțelurilor termorezistente, se aplică procesul tehnologic general, cu particularitățile prescrise pentru electrozi cu înveliș basic aliat și sîrmă nealiată SiX, rețeta fiind prezentată în tabela 3.9

TABELA 3.9

Rețeta masei uscate pentru înveliș a electrozilor Al-VMoCrB

Materialul și calitatea prescrisă	Gren	Țozare
Marmoră albă STAS 266-49	0,20	36
Fluorină cu min.95% CaF ₂	0,20	30
Ferotitan T ₁ GOST 4761-54	0,20	10
Ferocrom 0000 GOST 4757-49	0,20	4
Ferosiliciu Si45, GOST 1415-49	0,20	4
Feromolibden Mol, GOST 4759-49	0,20	3
Ferovanadiu Vd1, GOST 4760-49	0,20	2,5
Feromangan Mn1, GOST 1415-49	0,20	0,5
Tale tip A, calitatea I	0,20	10

Ca liant se folosește silicat de potasiu curat cu densitatea cca 1,38 și modulul SiO₂; K₂O în jur de 2,8...3,0.

Adaosul de liant va fi de 9...11 l soluție la 50 kg masă uscată, în funcție de condițiile concrete pentru a se forma din malagare o masă compactă bună de presat la 240...280 atm. Presarea se realizează în vechile prese de tip AGIL.

Ca factor de învelire se iau în considerare $D:d = 1,55...1,60$. Înseamnă că se va presa un înveliș basic, diametrul miezurilor (diuze) de presare sînt conforme mărimilor prezentate în tabela 3.10.

TABELA 3.10

Factorul de învelire $D:d$, respectiv diametrul miezului (diuză la presare) pentru fabricarea electrozilor de tip $El-MoB$, $El-MoCrB$ și $El-VMoCrB$

Diametrul sirnei (mm)	22,5 mm	23,25 mm	24 mm	25 mm
Diametrul miezului (mm)	3,9...4,0	5,0...5,2	6,2...6,4	7,8...8,0

OBSERVAȚII: Timpul de preuscare înaintea calcinării este de minim 16h în aer liniștit sau chiar cel existent în hala de presare

Temperatura de calcinare după această preuscare în cuptorul de calcinat va fi de $350...400^{\circ}C$, durata calcinării date de 1 h, aceasta fiind măsurată de la momentul în care s-a atins temperatura de $350^{\circ}C$.

Se atrage atenția ca la calcinare să nu se depășească temperatura de $400^{\circ}C$, deoarece se oxidează în mod nedorit sirna, chiar sub înveliș.

Controlul și recepția fabricației se face ca pentru toate tipurile de electrozi bazici sau cei descriși $El-MoB$ și $El-MoCrB$.

Ve altfel este elaborat conform STAS 1125-64, caietul de sarcini pentru fabricare (CS) nr.163-64 al Uzinei Industria Sirnei din Câmpia Turzii.

În legătură cu tehnologia de fabricație a electrozilor prezentați se fac următoarele precizări:

a) Inlocuiri de materii prime sau modificări de dozare a inveligului se fac după cum urmează:

-Marmora se poate înlocui parțial sau total cu cretă sau carbonat de calciu precipitat, dacă prin această înlocuire, presarea decurge totuși normal și după presare inveligul are un aspect și aderență pe sirmă corespunzător;

-Feroaliajele utilizate pot fi și de mărei apropiate ca analiză cu cele indicate în rețeta prezentată în tabela 3.9. De exemplu: ferotitanul poate fi din măreile TiO sau TiO_2 , ferocromul din marca H_20000 , feromolibdenul din marca $Mo2$, ferovanadiul din marca $Vd2$, feromanganul afinat marca MnO sau $Mn2$. Ferosiliciul poate fi numai $Si75$ însă pasivizat în prealabil și dozat în proporțiile de numai 2,5% cu compensarea la marmoră.

-Pentru utilizarea feroaliajelor fabricate după alte norme decât GOST-uri, se va decide de la caz la caz. Nu trebuie neglijat însă, că, în toate cazurile, înainte de lansarea în producție a unui lot se va proceda la producerea și verificarea electrozilor în laborator, utilizând materiile prime disponibile și sirmă din aceeași garză ce a fost destinată presării loturilor industriale.

b) Verificarea preventivă și cercetări la producția de masă se referă la:

-Verificarea preventivă prin fabricarea la scară de laborator trebuie executată obligatoriu ca la toți electrozii aliați.

-Electrozii de laborator, minim 100 bucăți dintr-o dimensiune se fabrică utilizând materiile prime de aceeași calitate și lot din care se va produce lotul la scară industrială (inclusiv sirmă și liant);

-Dacă electrozii produși în laborator corespund tuturor verificărilor de calitate, se poate trece la producerea loturilor industriale;

-Verificarea electrozilor experimentali se face prin sudare executând epruvete ce sînt după prelevare supuse încercărilor mecanice obligatorii inclusiv determinarea compoziției chimice a metalului rezultat din topire și depunere;

-Înainte de aplicarea încercărilor distructive, epruvetele să fie verificate și examinate röntgen, această verificare să se facă în faza cînd sînt obogate prin strungire la $\varnothing 15...16$ mm;

-Dacă rezultatele obținute asupra epruvetelor arată rezistențe prea mari și alungiri prea mici, iar din analiza chimică rezultă că unele elemente de aliere sînt depășite sau se situează la limita superioară admisă, se procedează la cercetarea rețetei scăzîndu-se procentual feroaliajele de dozare într-o proporție liniară, calculată pentru conținutul mediu prescris al fiecărui element în parte;

-Dacă conținutul de carbon este peste sau aproape de limita superioară se va alege o sîrmă SLOX cu conținutul cit mai redus în carbon și cu suprafața cit mai curată din trefilare și debitare (lipsită de oxizi, scorii, grosimi, denivelări etc).

Se atrage atenția că sîrma degresată este calitatea care în mod normal ar trebui prescrisă pentru producerea sortelor de electrozi basici.

-Dacă în sudură unele elemente de aliere să găsească sub limita în inferioară prescrisă, se cercetează procentual feroaliajele respective din rețete, aceasta pentru obținerea conținutului mediu a elementelor respective prescrise, considerînd creșterea practic liniară;

-Prezența unor pori rari și izolați în epruvetele examinate röntgenografic, mai ales dacă epruvetele încercate au avut cifre mecanice superioare celor prescrise, în deosebi referindu-se la valorile privind alungirea și ruperea la șoc (reziliența).

-Lotul industrial este normal a se fabrica cu aceeași grosime de miez cu care s-au fabricat electrozii de laborator, cu toleranțe numai în minus de cel mult $0,1$ mm. De asemenea proporția de liant

va fi aceeași sau foarte apropiată, din același vas efectuându-se chiar la determinări pe cale de analize pentru concretizare reală.

c) Din cercetările efectuate rezultă:

-Cunoașterea compoziției chimice și granulometrice concrete a feroaliajelor de care se dispune în fabricarea acestor sorturi de electrozi slab aliați sau pentru ori care fabricație de electrozi de tipul $El-VMoCr$, este foarte importantă pentru asigurarea reușitei, evitându-se în acest caz calculele și modificarea dozării lor în amestecul final. Important devine conținutul în elementul de aliere principal și conținutul de carbon, care trebuie să se înscrie în limitele prevăzute conform rețetei.

-Feroaliajele destinate fabricării electrozilor bazici aliați se vor măcina cu excepția feromanganului fără adăos de alte substanțe, aceasta, pentru a nu falsifica compoziția chimică a lotului respectiv care se va verifica asupra materialului gata de utilizare cernut.

-Se cere conform practicii fabricării electrozilor și literaturii de specialitate a se evita în special impurificarea tuturor componentilor cu substanțe ce conțin mult carbon și oxizi de fier (grafit, $FeMnSi$, țunder) atât la instalațiile de măcinat cit și la sitele de cernut pentru obținerea granulației impuse, la insilozare, dozare și omogenizare.

-La dozare se va cînțiri și răsturna în container în ordine: marmura, feroaliajele și la sfîrșit în ordinea enumerată fluorina și talcul.

În baza cercetărilor efectuate se vor prezenta în continuare rezultatele încercărilor electrozilor fabricați ca prototip din sorturile $El VMoCr$ [133, 134, 135, 136].

Însușirile mecanice obținute asupra metalului după prin sudare sînt prezentate în tabela 3.11.

TABELA 3.11

Însușiri mecanice obținute pe epruvete efectuate prin sudare cu electrozii de tip E1-VMoCr

Caracteristici mecanice importante din punct de vedere tehnic	Prescrise conform normelor	Realizate
σ_c , în kgf/mm ²	-	41,5...44,5
σ_r , în kgf/mm ²	48...50	62,0...64,0
Alungirea relativă (L ₅ x d)%	16...18	20 ...24
Reziliența (KCu 30/2) în mkgf/cm ²	8...10	13 ... 15

Trebuie scos în evidență faptul că rupțura obținută, cu aspect tenace, nu prezintă defecte, suprafața ruperii prezentînd grăunți fini.

În ceea ce privește compoziția chimică obținută din metalul depus prin sudare (tabela 3.12), aceasta este optimă.

TABELA 3.12

Compoziția chimică a metalului depus prin sudare cu electrozi E1 VMoCrB

Elemente componente	C max	Mn	Si	Cr	Mo	V	P max	S max	Obs.
Prescrise conform normelor	0,15	0,40-0,90	0,15-0,45	0,8-1,2	0,4-0,7	0,10-0,35	0,04	0,04	
Rezultate după analiză	0,09-0,09	0,56-0,59	0,35-0,59	1,05-1,10	0,65-0,59	0,16-0,18	0,021-0,022	0,010-0,012	

3.2.3.-Comportarea la sudare a electrozilor prototip din sortele EI-VMoCrB

Sursele de curent prescrise pentru astfel de electrozi sînt surse de curent continuu, cu polaritate inversă la electrod, folosind la sudare parametrii prezentați în tabela 3.13.

TABELA 3.13

Parametrii recomandați pentru sudare cu sortele EI VMoCrB

Diametrul în mm	Ø2,5 mm	Ø3,25 mm	Ø4 mm	Ø5 mm
Curentul de sudură I_p , în A	70...90	130...140	150...170	190...210
Tensiunea arcului U_a , în V	18...20	18...22	20...25	20...26

Se recomandă să se lucreze cu arc scurt ($\max l \times \varnothing_e$) și viteză de înaintare pe direcția de sudare redusă; oscilații, pendulări - de asemenea de cît mai mică amplitudine, astfel ca baia topită să răpîină o perioadă mai îndelungată în stare lichidă, să se solidifice cu viteză lentă.

Regimul termic impune preîncălzirea oțelului de sudat din sortele termorezistente la temperatura de minimum 300°C și menținerea la această temperatură pe tot timpul execuției sudurii.

Din cercetările efectuate asupra comportării la sudare a electrozilor din loturile prototip, atât pe tablă groasă de oțeluri OL 42, OLK 1, OLK 2, OLK 3, OLK 4 și OLK 5 cît și pe țevi din oțeluri termorezistente aliate cu CrMoV cu pereții de 12...60 mm, grosimea s, s-au observat următoarele: stabilitatea arcului, topirea electrodului, depunerea metalului și a zgurei rezultate din topirea înveligului, aspectul metalului depus și modul de înlăturare al zgurei sînt corespunzătoare specificului prescris pentru electrozii cu învelig basis în STAS 1125-64, respectiv STAS 7240-68 și DIN 1913 [133, 134, 135, 136, 140].

Se remarcă în plus față de sorturile El 308, El 423, El 463 realizați cit și față de actualele rețete ale tipurilor aliate ElMoB și El MoCrB, că electrozii din sorturile El VMoCrB au o comportare mai bună la sudare. Aceasta îndecosebi în ce privește topirea care este mult mai liniștită, stropii de metal mult mai redus, aproape neglijabil, aspectul mai neted al stratului de sudură, iar zgura se înlătură mult mai ușor având după răcire un coeficient ridicat de contracție.

La sudare în poziție verticală și de plafon, sorturile de electrozi prototip și de serie El VMoCrB se comportă corespunzător prescripțiilor pentru electrozii basici; nu apar în timpul sudării și nici după sudare defecte neadmisibile ca: pori, fisuri, arsuri marginale, incluziuni de zgură etc.

Cu cit temperatura de preîncălzire este mai ridicată (max400°C) cu atât electrozii din sorturile El VMoCrB se pretează mai bine la sudare îndecosebi când se execută îmbinări cap la cap e turbi sau țevi cu pereții groși.

3.2.4.-Încălzirea îmbinărilor sudate pe oțeluri CrMoV

S-au sudat trei îmbinări cap la cap pe țeavă de Ø200 x 12 mm din oțel 20HMFl, cu următoarea compoziția chimică (tabela 3.14)

TABELA 3.14

Compoziția chimică obținută din metalul de bază (oțel 20HMFl)

Elemente componente	C %	Mn %	Si %	Cr %	Mo %	V %	P %	S %	REZ.
Țeavă Ø200x12 mm	0,11-0,15	0,50-0,55	0,2-0,22	0,90-0,96	0,50-0,52	0,21-0,23	0,016-0,017	0,014-0,016	Analiza s-a făcut în 3 variante

Îmbinările prin sudare a acestor țevi s-au realizat cu și fără cotirea țevilor folosind în execuție toate pozițiile de sudare posibile, de întilnit în construcții montaje conducte prin sudare.

Imbinările au fost executate la stratul de rădăcină cu electrozii de $\varnothing 3,25$ mm, restul straturilor cu un $\varnothing 4$ mm din sorturile EI VMoCrB, unghiul de țegire privind rostul de sudare cap la cap de $60-70^\circ$, cu inel de sprijin interior de 3 mm grosime din O1 37 (fi (fig.3.1).

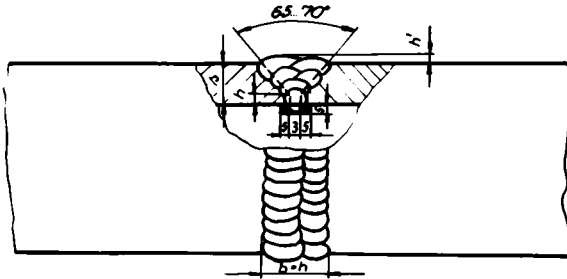


Fig.3.1.-Modul de pregătire și sudare a epruvetelor din țevă de $\varnothing 200 \times 12$ mm din oțel 20HMF1 cu electrozi EI VMoCrB

S-a sudat cu preîncălzirea elementelor la $250...300^\circ\text{C}$ apoi conform prescripțiilor s-a efectuat după sudare un tratament termic de revenire la 750°C timp de 3 h, încălzirea s-a făcut cu o temperatură cu $220...230^\circ\text{C/h}$, procedându-se apoi la răcirea probei în aer liniștit la $+16...20^\circ\text{C}$, evitându-se astfel o răcire forțată.

S-au prelevat și prelucrat epruvete de tracțiune și îndoire conform STAS 5540-65 după cum urmează:

- 12 epruvete de tracțiune fără degajare;
- 18 epruvete de tracțiune cu degajare;
- 12 epruvete de îndoire.

Din buletinele de laborator emise de Industria Sîrmei din Cimpia Turzii și încercările efectuate în cadrul laboratorului catedrei Utilajul și tehnologia sudării au rezultat valorile în-

sumate in tabela 3.15 a, b și c.

TABELA 3.15 a

Inbinări sudate cu electrozi ELVMoCrB pe țevă din oțel 20MnF1.

Epruvetele de tracțiune confecționate conform STAS 5540-65

Notații epru- ve x) xx)	Dimensiune conside- ra- ta bxa	Sect. mm ²	Sar- cina rup- te raf	σ_r kgf/ mm ²	Mod de sudare	Unde nu s-a produs ruptura	CRS.
C,1	20,4x8	163	8960	55	comod	metal	Fără
C,1'	20,4x8	163	8961	55,5	(ori- zontal)	de bază	defecte
C,1"	20,4x8	163	8960	55			
V,3	20,3x8	162	8580	53	vertical	metal	Fără
V,3'	20,3x8	162	8580	53	vertical	de bază	defecte
V,3"	20,3x8	162	8580	53	vertical		
V,4	20,5x8	164	9160	56	vertical	metal	Fără
V,4'	20,5x8	164	9160	56	vertical	de bază	defecte
V,4"	20,5x8	164	9160	56	vertical		
P,5	20,4x8	163	9260	57	(plafon)	metal	Fără
P,5'	20,4x8	163	9260	57		de bază	defecte
P,5"	20,4x8	163	9260	57			
P,6	20 x 8	160	9100	57	(plafon)	metal	Fără
P,6'	20 x 8	160	9100	57		de bază	defecte
P,6"	20 x 8	160	9100	57			
O,2	20,5x8	162	9120	56	comod	metal	Fără
O,2'	20,5x8	162	9120	56	(ori- zontal)	de bază	defecte
O,2"	20,5x8	162	9120	56			

x) Notațiile s-au făcut în funcție de poziția de sudare a probei astfel:

- orizontal, notația O,1 și O,2
- vertical, notația V,2 și V,3
- plafon, notația P,5 și P,6

xx) Epruvetele tratate termic înainte de prelucrare. Revenire la 750°C, timp de 3 h. Răcire în aer.

TABELA 3.15 b

Epruvete de tracțiune confecționate conform STAS 5540-65 (fig. 9)
Secțiunea epruvetei redusă în porțiunea sudurii

Notății epruvete x) xx)	Dimensiune considerată b x a	Secț. mm ²	Sarcina rupere kgf	σ_r kgf/mm ²	Mod de sudare	Unde nu s-a produs rupțura	Obs.
O,11	20,1x8	161	9840	61	orizontal (comod)	Rupțura în sudură	Tratate termic înainte de prelucrare
O,12	20,5x8	162	10120	62			
O,13	20,5x8	164	10500	64			
O,14	20,2x8	162	9880	61			
O,15	20,2x8	162	9720	60			
V,21	20 x 8	162	9980	62	vertical	"-"	Revenire la 750°C timp de 3h cu răcire în aer liniștit la +18°
V,22	20,2x8	163	10200	63			
V,23	20,4x8	163	10150	62			
V,24	20,4x8	162	9860	61			
P,31	20,3x8	162	9560	59	plafon	"-"	
P,32	20,5x8	164	9520	58			
P,33	20,2x8	162	9540	60			

TABELA 3.15 c

Imbinări sudate cu electrozi EI 3MoCrB pe țevă din oțel 0200x12 mm tip 20HMFL

Epruvete de îndoire la rece confecționate conform STAS 5540-65 (fig.10). Dimensiuni: $L_1=200$ mm; $L_2=60$ mm; $R=25$ mm; $D=30$ mm; $a=8$ mm; $b=30$ mm

Notății epruvete	Unghi de îndoire în grade	Defecte	Observații
O,41	180	Fără defecte	Tratament termic înainte de prelucrare Revenire la 750°C, timp de 3h. Răcite în aer liniștit
O,42	180		
O,43	180		
O,44	180		
O,45	180		
V,51	180	"-"	"-"
V,52	180	"-"	"-"
V,53	180	"-"	"-"
V,54	180	"-"	"-"
P,61	128	Crăpături	"-"
P,62	145	"-"	
P,63	180	Fără defecte	

La toate epruvetele de tracțiune fără degajare, la care secțiunea elementului din țevă de oțel termoresistent a fost egală cu a sudurii, ruperea s-a produs exclusiv în metalul de bază, în afara zonei influențate termic de operația de sudare. Rezistența la rupere în oțelul țevii a fost cuprinsă în limitele de 53...57 kgf/mm² pe un set de 12 epruvete.

La epruvetele de tracțiune cu degajare, forțate a se rupe în sudură, rezistența la rupere a fost de 58...64 kgf/mm². Toate ruperile au fost de natură tenace, precedate acestea de deformare plastică accentuată.

La îndoire pe un lot de 10 epruvete s-au obținut unghiul maxim de 180° fără apariția în timpul îndoirii a vreunui defect sub efortul de îndoire. Celelalte două epruvete s-au îndoit și acestea la un unghi cuprins între limitele de 120...145°, defectele apărute în timpul îndoirii nu au fost de natură esențială cu apariția unei amorce de fisuri survenite din porii sau incluziuni de zgură. Se menționează faptul că aceste două epruvete au fost prelevate din sudura executată în poziție dificilă de sudare, peste cap (de plafon).

Rezultatele obținute și prezentate în tabela 3.15 (a, b, c), atestă pe deplin calitatea îmbinărilor sudate cap la cap la țevi și casane de abur supraîncălzit.

3.2.5.-Limita de fluaj la temperaturi ridicate a metalului depus cu electrozi termoresistenți.

Determinarea limitei de fluaj a fost efectuată de către Institutul Politehnic Traian Vuia Timișoara, catedra Rezistența materialelor, conform buletinului nr.807. Determinarea s-a făcut în comparație cu electrozii din serturile El MoCrB nealiați cu vanadiu, la temperaturi de 550°C după DIN 50117.

Rezultatele obținute, comparate cu datele din prospectul producătorului de electrozi, EWB din RDG, pentru electrozi aliați cu

crom-molibden și cu crom-molibden-vanadiu sînt de aceeași ordine de mărime. Pentru justificarea celor prezentate, în tabela 3.16 sînt arătate tipurile de electrozi cercetați, elementele de aliere în sudură și caracteristicile de fluaj obținute.

TABELA 3.16

Tipul de electrozi cercetați, elementele de aliere în sudură și caracteristicile de fluaj

Tipul electrozilor cu simbolul sării	Elemente de aliere în sudură			Fluaj DIN DIN 50117	Temperatura la care s-a făcut cer- cetarea
	Cr%	Mo	V%		
El CrMo 12	2,7...5	0,5...0,45	0,15...0,17	12 kg/mm ²	500
El CrMo 44R	0,7...0,9	0,40...0,60	-	15 kg/mm ²	550
El VMoCrB	0,8...1,20	0,40...0,60	0,10...0,35	15 kg/mm ²	550
El MoCrB	0,40...0,60	0,40...0,60	-	10 kg/mm ²	550

Electrozii mai slab aliați cu crom și fără vanadiu (El MoCrB) au limita de fluaj mai redusă, însă ca valoare absolută poate fi considerată satisfăcătoare întru totul, pentru sudarea oțelurilor cu aceeași compoziție chimică.

Din cercetările efectuate și din prospectele pentru electrozi ai firmei BOHLER, au rezultat limitele de sarcină pentru alungirea remanentă de 1% la 10.000 și 100.000 h încărcare la cald, astfel că la tipul de electrozi cel mai apropiat de sortul românesc El VMoCrB, adică DCMS-Kb, limita de 1%/10000h/550 este de cea 8kg/mm², iar la 100000 h de cea 5 kg/mm².

De asemenea în prospectele suedeze Kjellberg, pentru tipul apropiat celor rom negri, sortul suedez OK-VI cu 1%Cr și 0,5%Mo se dă ca limită de fluaj la 550°C valoarea de 10 kg/mm², fără a se specifica timpul de încercare.

3.2.6.-Tehnologia de fabricație în serie a electrozilor

El VMoCrB

Pentru perfectarea rețetelor în scopul fabricării electrozilor necesari sudării oțelurilor termoresistente s-a procedat în continuare la urmărirea mai amănunțită a fabricației. În continuare se prezintă rezultatele diferitelor loturi fabricate la Industria Sirmei din Cimpia Turzii.

În afară de fabricarea la mașinile de presat tip D (AGIL), s-a încercat compararea la presare pe mașina PELISSIER, producându-se electrozi din sortul El VMoCrB de $\varnothing 4$ mm, cu lungimi de 350 și 450mm. Electrozii s-au presat în condiții normale, fără a se observa vreo deosebire față de felul cum se comportă tipul El-B.

Rezultatele la recepție ale electrozilor produși la acest utilaj PELISSIER, au fost următoarele (la metalul depus prin sudare:

Însușiri mecanice, după tratamentul termic de 750°C aplicat epruvetelor:

-limita de curgere (σ_c)	44,5...45 kgf/mm ²
-rezistența la rupere (σ_r)	57,5...58 kgf/mm ²
-alungirea ($\delta_5\%$)	25,6...25,6
-resiliența KCU 30/2	17 ...17,8 mkgf/cm ²

Compoziția chimică în sudură pură depusă cu arcul electric manual:

C% $\leq 0,09$; Mn% $\leq 0,52$; Si% $\leq 0,54$; Cr% $\leq 1,04$; Mo% ≤ 58 ; V% $\leq 0,18$;
P% $\leq 0,025$; S% $\leq 0,012$

Comportarea la sudare a fost corespunzătoare ca și la loturile prototip.

Pentru a exclude eventuale suspiciuni s-au mai produs electrozi El VMoCrB la mașinile de tip D(AGIL) dintr-un amestec de 200 kg, obținut de la omogenizator.

Acest amestec a fost dozat în varianta de fabricare a electrozilor cu 2% celuloză, iar la prepararea pastei s-a utilizat ca liant

siliatul de sodiu cu potasiu din buncărul ca siloz industrial, din care se consumă în mod curent pentru fabricarea sorturilor bazice de tipul EI 50B, EI 42B, EI 46B.

Presarea, uscarea și calcinarea au de curs normal. Se poate afirma că inveligul pe sirmă nu s-a fisurat în nici o fază a fabricării. Aderența inveligului din presarea pe sirmă, de asemeni a corespuns scopului.

Rezultatele încercărilor de recepție sînt prezentate în tabela 3.17

TABELA 3.17

Rezultatele încercărilor de recepție privind însușirile mecanice ale metalului depus cu electrozi EI VMCrB în fabricație de serie, revenire la 750°C/h

Marcaj eprove vete	Nr. gar- je de fabri- cație	ϕ_s mm	σ_c kgf/mm ²	σ_r kgf/mm ²	δ_5 %	ψ %	KCU30/2 mkgf/cm ²
503	2895	3,25	66	74	17	53	10,5
504		3,25	66	74	17	59	10,5
505		3,25	63	72	20	42	13,2
506		3,25	61	70	18	56	11,7
507		3,25	54	65	16,6	42	8,9
508		3,25	59	68	17,5	56	9,2
501	3841	4,0	48	59	17,2	55	8,5
502		4,0	48	59,2	17,0	52	9,2
240		4,0	51	64	19,0	55	9,0
241		4,0	51	64,1	19,6	52	8,7
242		4,0	52	65,5	18,8	50	8,9
243		4,0	53	65,3	18,5	52	8,5
505	4827	5,0	46,0	58,0	16,0	55	8,7
506		5,0	47,0	56	17,4	60	8,9
241		5,0	46,0	62	17,4	44	8,7

Compoziția chimică a metalului depus prin sudare este prezentată în tabela 3.18, analiza făcîndu-se de asemeni pe garjă de produs preat.

TABELA 3.18

Compoziția chimică a metalului depus cu electrozi EI VMoCrB
în fabricație de serie

Marcaj opre- vete	Nr. gar- je de fabrica- ție	C%	Mn%	Si%	Cr%	Mo%	V%	Pr	Sb
505 508	2885	0,15- 0,12	0,65- 0,63	0,54- 0,56	0,92- 1,22	0,45- 0,53	0,16- 0,17	0,018- 0,017	0,010- 0,006
501 243	3841	0,08- 0,09	0,58- 0,60	0,28- 0,24	0,98- 1,20	0,46- 0,45	0,16- 0,18	0,018- 0,017	0,008- 0,006
505 506 241	4827	0,09- 0,09	0,54- 0,56	0,28- 0,34	0,88- 0,92	0,46- 0,52	0,14- 0,14	0,018- 0,018	0,010- 0,006

Se poate remarca faptul că la electrozii din fabricațiile de mai sus, spre deosebire de prototip, au rezultat în metalul depus prin sudare, tenacitate mai scăzută, totuși corespunzătoare prescripțiilor. Acest fapt se poate atribui celulozei incomplet descompuse sau vergelelor de sîrmă cu strat prea gros de lubrifiant rămas de la trefilare și debitare. Rezultă de aici că trebuie evitate substanțele care pot provoca o durificare nedorită a metalului depus precum și o creștere a hidrogenului dizolvat în acesta.

În consecință procesul tehnologic de fabricație al electrozilor EI VMoCrB trebuie să fie axat pe varianta inițială dovedită în practică ea fiind cea mai bună, în care s-au obținut rezultate dovedite în lucrările de cercetare premergătoare asimilării; adică fără adăos de celuloză și cu utilizarea silicelui de potasiu ca liant unic.

3.2.7.-Verificările röntgenografice a îmbinărilor sudate cu electrozi prototip EI VMoCrB

Röntgenografiile efectuate de "Usina de prototipuri și reparații utilaj chimic" Păgăraș, asupra îmbinărilor sudate cu electrozii prototip, corespund pe întreaga lungime a cordonului, respectiv a cordonelor sudate.

Se observă însă, așa cum este prenotat în observația finală, că în crăterele terminale după topirea unui electrod și remorsarea gregită la începerea topirii altui electrod, apar mici porozități locale ce pot fi considerate în unele cazuri rabateri de calitate pe unitate de produs.

Acest fenomen se poate evita însă prin respectarea indicațiilor de minuire la sudare (fără oscilații și pendulări exagerate, lungimea arcului exagerată, lățimea cusăturii exagerate etc), inclusiv indicația de a suda cu preîncălzire și de a usca electrozii înaintea folosirii lor, la 250...500°C timp de 1...3h, bineînțeles uscarea trebuie făcută numai în ziua când se folosesc electrozii pentru sudare.

Conform contractelor de cercetare științifică, încheiate între Institutul Politehnic Traian Vuia Timișoara și Uzinele Industria Sirmei din Cimpia Turzii, s-a procedat la verificări röntgenografice a unor îmbinări realizate cu folosirea electrozilor de Ø3,25, 4 și 5 mm produși după rețetavariantei cu 2% celuloză.

În acest scop s-a suat un număr de 12 epruvete paralele folosind pe probe execuția a patru rinduri depuse succesiv în rosturi create din fiecare diametru, începând cu Ø3,25 mm.

Probele s-au sudat atât în poziție comodă (orizontal), cât și înclinat, sudarea efectuându-se ascendent (în poziție verticală).

La 11 epruvete nu s-au observat, din interpretarea filmelor, porii sau alte defecte. La un singur cordon sudat în poziție verticală a fost depistat un por izolat, care se poate atribui unei minuiiri momentane necorespunzătoare (arc prea lung, lățime mare de cusătură) sau altui fenomen sporadic produs la sudare.

Când se sudează corect, rezultă din cercetări că și varianta de rețetă cu adăos de celuloză oferă practică cusături compacte, lipsite de porozități sau incluziuni de aer, chiar în lucrările de sudare în poziție dificilă.

3.2.8.-C a m e l u s i i

-In urma cercetărilor și a lucrărilor practice efectuate pentru întregirea investigațiilor propuse în acest domeniu, a fost asimilat un nou tip de electrozi destinați sudării oțelurilor termorezistente ce pot funcționa ca ansamble sudate la temperaturi de 550°C.

Electrozii sînt aliați cu cca 1%Cr, 0,5%Mo și cu adăos de 0,15...0,55%V. Electrozii respectivi simbolizați EL VMoCr 1B, sînt fabricați din sîrmă nealiată SLOK și au un înveliș basic aliat.

Electrozii corespund prescripțiilor din recomandarea de standardizare CAER la tipul 19, 20 și 21 din tabela de electrozi destinați sudării oțelurilor termorezistente.

-Pe baza cercetărilor efectuate s-a elaborat caietul de sarcini pentru electrozii asimilați care este în conformitate cu prescripțiile de mai sus.

-Au fost verificate și însușirile de fluaj la temperaturi ridicate (550...575°C) a electrozilor asimilați. Din încercări rezultă că valorile obținute sînt situate la nivelul unor electrozi echivalenți produși în BRG, Austria și Suedia.

Față de valoarea găsită de minim 15,5 kgf/mm² ca limită de fluaj după DIN 50117, în fișa tehnică și prospectul noilor electrozi se poate conta pe valoarea minimă (informativă) de 12 kgf/mm².

În ceea ce privește limita de curgere la fluaj la 550°C, față de 30...35 kg/mm² determinată, se poate indica în fișa tehnică o valoare minimă garantată de 24...26 kgf/mm², care a fost de altfel depășită chiar și cu tipul de electrozi EL MoCrB fără vanadiu cu conținut de numai 0,5%Cr și 0,5%Mo.

-Au fost verificate și însușirile îmbinărilor sudate atât pe țevi din oțel aliat cu pereți subțiri < 10 mm, și groși > 40 mm cât și pe oțeluri nealiate. Rezultatele consemnate în protocoalele finale au fost corespunzătoare. Se observă însă că dacă lucrătorul

sudor nu este pregătit în lucrări de sudare cu electrozi bazei, pot să apară pori în cusătură, neadmiși în astfel de lucrări.

-Electrodul este susceptibil de a fi îmbunătățit atât ca ușurință de fabricare cât și ca mod de comportare la sudare, prin mici modificări ale rețetelor de bază sau prin introducerea de componenți cu efect chimico-metalurgic echivalent.

Cercetările autorului în vederea îmbunătățirii calității sorturilor de electrozi pentru oțeluri aliate cu înveliș bazic sau rutilic se redau în continuare (punctul 3.3).

3.3.-Cercetări privind elaborarea unor tipuri de electrozi având conținut de hidrogen redus în metalul depus

Pentru sudarea unor oțeluri slab aliate cu molibden și molibden-crom, utilizate frecvent în construcția de cazane și conducte de abur supraîncălzit, au fost studiat și asimilate inițial la noi două tipuri de electrozi înveliși. Aceștia au fost standardizați sub denumirea de EI MoB și EI MoCrB și corespund calitativ tipurilor simbolizate cu E-M și E-MH din GOST 9476-60, având caracteristicile metalului depus prin sudare similare (tabela 3.19).

TABELA 3.19

Caracteristici mecanice comparative ale electrozilor fabricați în RSR și URSS

Tipul de electrozi	Proprietăți mecanice la +20°C Valori minime prescr.				Compoziția chimică a metalului depus prin sudare. Valori prescrise						
	σ_c kgf/mm ²	σ_r kgf/mm ²	δ_5 %	kCU mkof/cm ²	C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S
E-M GOST 9467-60	-	50	18	8	0,16- 0,12	0,40 0,80	Max 0,35		0,4- 0,7	0,050- 0,040	0,050 0,040
EI MoB STAS 7240-68	34	50	20	8	0,15	-	-	-	0,4- 0,5	0,040	0,040
E-MH GOST 9467-60	-	50	18	8	0,06- 0,12	0,4- 0,8	0,35	0,30- 0,60	0,40- 0,70	0,040	0,040
EI MoCrB STAS 7240-68	34	50	18	8	0,15	-	-	0,4	0,4	0,04	0,040

x) Proprietățile mecanice sînt date după tratamentul termic indicat în certificatul de calitate al electrozilor emis de producător

Se atrage atenția că încă din anul 1961, GOST 9467-60 a devenit după neînsemnate modificări, proiect de recomandare pentru un standard unificat al electrozilor de sudură în cadrul țărilor socialiste participante la CAER.

În acest proiect, electrozii pentru sudarea oțelurilor termorezistente sînt grupați într-o clasă aparte, care conține în afara aliaților aliați numai cu Mo sau MoCr, încă patru tipuri aliați și cu V sau VNb.

TABELA 3.20

Caracteristicile mecanice obținute la sorturile după GOST 9476-60 și analiza chimică

Tipul de electrozi	Proprietățile mec. la +20°C, valori minime prescise xx)				Compoziția chimică a metalului depus prin sudare valori prescise x)						
	σ_c kgf/mm ²	σ_T kgf/mm ²	δ_5 %	kCU 20/2 mtaf/cm ²	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Nb
E-EMF	-	50	16	8	0,08- 0,13	0,50- 0,90	0,15- 0,45	0,80- 1,20	0,40- 0,70	0,10- 0,35	
E-EMFB	-	55	14	6	0,08- 0,13	0,50- 0,90	1,00- 1,40	0,70- 1,00	0,15- 0,40	0,15- 0,40	0,10- 0,25
E-H2MFB	-	55	14	6	0,08- 0,13	0,50- 0,90	0,15- 0,45	2,40- 3,00	0,70- 1,00	0,25- 0,50	0,35- 0,65
E-H5MF	-	55	14	6	0,08- 0,13	0,50- 0,90	0,15- 0,45	4,50- 5,00	0,40- 0,70	0,10- 0,35	-

x) Conținutul maxim admis în P și S este de 0,04% pentru fiecare element în parte la toate tipurile prezentate în tabela 3.20

xx) Cu privire la proprietățile mecanice este valabilă și aici observația anterioară, adică aceasta se referă la metalul depus prin sudare și supus unui tratament termic indicat în producător în certificatul electrozilor

5.3.1.-Studii asupra rețetelor de electrozi străini cu conținut redus de hidrogen

Primele sorturi de electrozi aliați CrMoV, cu conținut redus de hidrogen în metalul depus, destinate sudării oțelurilor termorezistente utilizate la temperaturi pînă la 540°C de tipul 12HLMZ, 20HLMZ-L, 20HLMZ și altele, au fost electrozii sovietici din clasa E-HMF.

A doua grupă de electrozi aliați cu CrMoWNB pentru oțelurile termorezistente utilizate la temperaturi de regiune de 570°C de tipul 15HLMZ-L, 12HLMZ, 15HLMZ și altele au fost electrozii din sorturile sovietice E-HMFB.

Studiul elaborării acestor sorturi pentru găsitarea rețetelor și tehnologiei corespunzătoare de elaborare, ținînd seama de considerentele tehnico-economice au creat premisele realizării unor noi sorturi de electrozi aliați cu CrMoV care conduc la un conținut redus de hidrogen în cusătură, similare sorturilor prezentate în tabelul 5.20 și care se prezintă în continuare (vezi tabelele 5.22, 5.23, 5.24 și 5.25).

Înainte de alegerea oțelurilor care trebuie să ducă la scopul propus, se va expune și comenta cele mai importante date găsite în literatura de specialitate cu privire la elaborarea electrozilor de sudură din această clasă.

Referitor la electrozii aliați exclusiv cu molibden sau cu molibden-crom, cercetătorii sovietici au elaborat diverse variante [172]. Pentru tipul standardizat cu simbolul E-M aliat cu 0,4...0,7% molibden, se utilizează exclusiv sîrmă de sudură nealiată SV-EM (G-ST 2246-60) și două feluri de înveliguri, rezultînd următoarele mări sau sorturi de electrozi presăți [82, 172]:

-Ti-6 cu învelig acid pe scheletul rețetei electrozului TN-7, cu oțel de 3% feromolibden și 3% Ti;

-TU-2M cu inveliş basic şi dezoxidant pe scheletul uşor modificat al tipurilor UONI-2, cu adaos de 4% feromolibden.

Pentru tipurile aliate cu molibden-crom, E-MH şi E-HM apar mărcile:

-TL-14 cu inveliş acid ca şi TL-6 însă cu adaos de 3% ferocrom, sirmă nealiată Sv OBA, GOST 2246-60.

-TU-2HM cu inveliş basic, similar lui TU-2M însă cu adaos de 6% ferro-crom. Sirmă nealiată S OBA;

TL-50 cu inveliş basic fără adaos de ferro-crom şi ferro-molibden însă cu sirmă aliată Sv OBM.

La noi în ţară au fost realizate pînă în anul 1960 tipurile echivalente cu E-M şi E-MH, utilizînd exclusiv sirmă nealiată marca SLOX după STAS 1126-66 şi inveliş basic cu componente dezoxidante şi aliante.

În ceea ce priveşte tipurile aliate cu crom-molibden-vanadiu-niobiu, se observă că pentru acestea nu se mai aplică în nici un caz inveliş cu caracter metalurgic acid, ci numai basic, în cîte două variante pentru fiecare marcă standardizată.

Fiind în atenţia cercetării electrozii care formează obiectul prezentului subcapitol se vor reîncepe mai amănunţit reţetele de fabricaţie găsite în literatură (tabela 3.21).

În unele publicaţii de specialitate nu se dau reţete de invelişuri pentru electrozi şi nici indicaţii asupra sirmelor utilizate.

Indicaţii sumare apar în aproape toate prospectele unor firme producătoare de electrozi invelişi, din alte ţări, acestea reprezintă însă, numai o descriere a invelişurilor diferitelor tipuri, cu scopuri comerciale.

Astfel în prospectele fabricii BOHLER din Austria sau RFG, se găsesc cîteva tipuri de electrozi aliaţi cu Mo şi MoCr sau cu alte elemente în plus, destinaţi de regulă pentru sudarea oţelurilor termoprezistente.

Ineuşirile etalate în prospecte sînt pentru variantele cu invelişul titanic, aproape identice cu ale electrozilor similari de fabricaţie sovietică după GOST 9467-60.

TABELA 3.21

Reţete pentru electrozi termorezistenţi cu hidrogen redus de producţie sovietică [82, 172].

Tipul GOST 9467-60	E-HM			E-HMFB
Marca producător.	TL-20			TL-27
Variante existente	TL-20A	TL-20B	TL-27A	TL-27B
Sîrmă utilizată	SV 08A	SV08 HMF	SV08A	SV 08.HMFB
Invelişul în % pulverulente uscate				
Marmoră	43	46	40,5	46
Fluorină	23,5	28	22	28
Nisip de cuarţ	7,0	8,0	8,0	8,0
FeMn, cu carbon mediu	5,0	4,0	4,0	4,0
FeSi, marca 3175	4,0	2,0	4,0	2,0
FeCr, cu carbon mediu	7,0	-	7,0	-
Feromolibden (FeMo)	3,0	-	5,0	-
Ferotitan (FeTi)	-	12	-	12
Bioxid de titan	4,0	-	4,0	-
Ferovanadiu (FeV)	2,5	-	2,5	-
Feroniobiu (FeNb)	-	-	2,0	-
Aluminiu (Al)	1,0	-	1,0	-
Total amestec uscat	100	100	100	100
Silicat de Na lichid	30...35% din greutatea mestecului uscat			
Coefficient de greutate al invelişului	36...40	32...36	36...40	32...36

La variantele cu inveliş basic apar valori mai ridicate îndeosebi asupra rezilienţei minime garantate. Spre exemplu, la tipul aliat cu 0,5%Mo şi 1%Cr simbolizat VCHS-Kb, rezilienţa minimă indicată în prospectul BOWLER este de 15 mkgf/cm^2 faţă de minim 8 mkgf/cm^2 prevăzută în GOST 9467 pentru tipul E-HM în general. Se remarcă însă că valorile medii găsite la metalul depus prin sudare cu elec-

trozii sovietici E-HM de tip bazic (TU-2HM) după același tratament termic sînt mai superiori decît cele prezentate în prospectul BOHLER (20 mkgf/cm² față de 17 mkgf/cm²).

Din examinarea tuturor performanțelor obținute cu electrozii de tip sovietic aliați cu Mo, CrMo, CrMoV și CrMoVNb, rezultă că aceștia corespund pentru sudarea oțelurilor respective. Rețetele publicate pot fi luate ca o informare prețioasă pentru cercetările care urmăresc realizarea și la noi a electrozilor din această categorie 156, 158 .

3.3.2.-Cercetări proprii pentru elaborarea electrozilor cu conținut redus de hidrogen în cuștură pentru oțeluri termorezistente aliate cu CrMoV

Linia de cercetare adoptată s-a axat pe următoarele puncte principale:

-Utilizarea de inveliguri cu caracter bazic, dezoxidant și aliant, asemănătoare cu cele elaborate deja la primele tipuri de electrozi pentru oțeluri aliate cu Mo și CrMo;

-Utilizarea sirnei de oțel carbon SLOX pentru vergele, sirnă ce se produce în întregime în țara noastră, ea ca materie primă în fabricarea electrozilor reprezintă cea 70% din greutatea electrozilor inveliți prin presare sau imersionare.

În afară de cele de mai sus s-a urmărit în cercetarea efectuată și elaborarea electrozilor din sirne aliate, în scopul verificării dacă prin aceasta se obțin sau nu avantaje calitative, care ar justifica un preț de cost mai ridicat pe unitate de produs finit.

La alegerea scheletului de bază efectiv al rețetelor de invelig pentru electrozii experimentali, cercetările efectuate au mers pe o linie paralelă însă nu identică cu cea a rețetelor prezentate în tabela 3.21.

S-a urmărit elaborarea unor noi sorturi de electrozi care să corespundă proiectului de standard și cerințelor de exploatare a ansamblului

lor sudate ce formează structura instalațiilor termoenergetice din țara noastră.

În prima parte se propun două variante de electrozi din care: o variantă cu înveliș bazic pentru sudarea în curent continuu cu polaritate inversă ce se pot folosi în tehnica sudării la îmbinări sudate de bună calitate pe țevi și table din oțel 12X1M6 (GOST 9960-60) și OAT-2 și OAT-3 (STAS 288-70, 2883/1-70, 2883/2-70, 2883/3-70). Detalii se dau în tabela 3.22.

TABELA 3.22

Rețeta de electrozi cu înveliș bazic EI TR 550-B (elemente pentru realizarea învelișului date în procente de greutate)

Denumirea substanțelor componente	Caracteristici	STAS sau GOST	Participarea la compoziția învelișului și electrod
Fluorură de calciu	Minim 90% CaF ₂	-	30
Cretă sau marmoră	Minim 95% CaCO ₃	-	40
Bioxid de titan alb tehnic	(sub tehnic) TiO ₂	-	5
Cuarț măcinat	Minim 92% SiO ₂	STAS 265-49	5
Celuloză pentru electrozi			2
Ferocrom	Cu max. 0,5% și 65...70% Cr		6
Feromolibden	Marca FeMoI	STAS 7038-64	3
Ferovanadiu	Marca VdI	GOST 4760-49	2
Silico-mangan	Marca SiMn20	STAS 7037-64	2
Ferocobalt	Marca SiAl5	GOST 1415-49	5

TOTAL kg masă

100

În prepararea masei la 100 părți (în greutate) amestec de pulbere uscată se adaugă 18...20 părți (în volum) alioest de potasiu, respectiv 1000 g masă, 180...200 cm³ soluție cu densitatea 1,37...1,39 și modul 2,8...3.

După presare electrozii se lasă la uscare în aer, timp de cel puțin 10 ore la temperatura camerei, apoi se introduc în cupor pentru uscare completă la o temperatură de 120...150°C.

timp de 1 h. După uscare, în final se calcinesc la temperatura de 400...420°C timp de 1 h.

Granulația materialelor utilizate în compunerea rețelei din masă uscată va fi sub 0,5 mm pentru pulberile metalice, pentru fluorură și marmoră. Pentru celelalte materiale metalice, granulația va fi bioxid de titan sub 0,10 mm, cuarț sub 0,15 mm, celuloza la finețea livrată de furnizor.

Vergelele din oțel de Ø4 mm, la lungimea de 350...450 mm din oțel SLOX, STAS 1126-66 trebuie să fie pregătite prin trefilare în vederea presării cu suprafața curată lipsită de grăsimi, scori și praf de săpun rămas de la trefilare prin filiere.

Grosimea totală a electrozudului la Ø4 mm va fi cu învelișul umed rezultat din presare de 6,5...6,6 mm.

Acești electrozi experimentali cu înveliș basic au fost marcați cu simbolul convențional El TR550°C-B (electrozi de tip termorezistenți la 550°C bazi).

A doua variantă cu învelișul neutru de tip rutilic, pentru sudarea în curent alternativ sau în curent continuu folosind la sudare polaritate directă (tabela 3.23).

TABELA 3.23

Rețeta pentru tipul de electrozi cu învelișul neutru de tip rutilic E TR550-B

Denumirea substanțelor componente	Caracteristici	STAS sau GOST	Participare la comp.inveliș. pe electrod %
Rutil	Granulație mare între 0,10...0,20 mm	-	20
Rutil	Granulație fină sub 0,10 mm	-	20
Mică albă	Măcinată	STAS4733-55	16
Feromangan	Marca marca Mnl	GOST 1415-69	12
Ferocrom	FeCr-max 0,5%C 65...70% Cr	-	7
Feromolibden	Marca FeMo	STAS7038-64	3
Ferovanadiu	Marca Vdl	GOST 4760-49	2
Celuloză	Marca pt.electr.	-	2
Opolenită	Măcinată	STAS6284-64	18

TOTAL kg masă

100

Granulația ferocaliajelor prezentate în tabela 3.23 trebuie respectată la mărimea de 0,2 mm;

-granulația dolomitei sub 0,15 mm;

-granulația celulozei se va folosi cea livrată de furnisor, ca finete;

-granulația la mazăre sub 0,25 mm-

În cazul acestei variante, vergelele din oțel SLOX STAS 1126-66 cu lungimea de 350...450 mm sînt în stare trasă, fără a fi necesară degresarea.

Grosimea învelișului pe oțel în stare umedă, după presare 6,5...6,6 mm.

La 100 g amestec uscat se folosește cea 220 cm³ silicat de potasiu cu densitate de 1,37...1,39 și modul de 2,8...3.

După realizarea presării sortului respectiv, electrozii se usucă în aer la temperatura camerei timp de 6...8 h, apoi în cuptor la maximum 150°C, timp de 2 h.

Electrozii rutilici experimentali după confecționare au fost marcați cu simbolul convențional El TR550°C-R.

În scopul cercetărilor științifice aplicative, pentru elaborarea unor noi sorturi de electrozi de sudare aliați cu MoCrV, destinați sudării cu arc electric manual a oțelurilor termorezistente, utilizați la construcții și montaje instalații termoelectrice ce lucrează la temperaturi de 550...600°C, cit și pentru oțeluri destinate instalațiilor de cracare a petrolului au fost elaborate încă în prima parte alte două variante de electrozi înveliți și anume:

-O variantă cu înveliș basic pentru sudare în surse de curent continuu folosind polaritate inversă la electrod (tabela 3.24) simbolizată El TR550...600 B2.

TABELA 3.24

Rețeta pentru electrozi cu înveliș basic (elementele componente pentru realizarea învelișului fiind date în procente de greutate) Simbol WI TF550...600 B₂

Denumirea sub- stanțelor	Caracteristici	STAS GOST	Participarea la com- poziția învelișului de electrod %
Fluorură de calciu	Minimum 90% CaF ₂		30% granulația sub 0,2 mm
Marmură	Minimum 95% CaCO ₃		20% granulația sub 0,2 mm
Praf de fier	Maximum 0,1 C și 1% O ₂		20% granulația sub 0,3 mm
Rutil	Granulație fină sub 0,10 mm		10% granulație sub 0,2 mm
Ferocrom afinat	FaHa cu 82...85% Mn		3% -"
Ferosiliciu	Cu 45% Si		4% -"
Ferocrom afinat	Cu cea 70% Cr		4% -"
Feromolibden	Cu cea 55% Mo 0,5% C		3% -"
Ferovanadiu	Cu cea 35% V		2% -"
Talc	Pentru elec- trozi	STAS 1901-69	3% -"
Carboximetil celuloză	CMC		1% -"
Lignit	Siliocat de K		
TOTAL			100%

În prepararea masei la 100 părți (în greutate) amestec de pulbere uscată se adaugă 18...20 părți (în volum, siliocat de kalium, respectiv la 1000 g masă, 180...200 cm³ soluție cu densitatea 1,37...1,39 modul 2,8...3.

După presare electrozii umeși se lasă la uscare în aer timp de minimum 10 ore la temperatura camerei, apoi se introduce în cuptor pentru uscare completă la o temperatură de 120...150°C timp de 1 oră. Sortul respectiv în final se calcinează în cuptorul electric la 400...420°C.

Granulația materialelor utilizate în compunerea rețetei de masă uscată va fi de 0,2 mm pentru pulberile metalice, dioxid de titan sub 0,10 mm, cuarț sub 0,15 mm, iar celuloza poate fi utilizată la finețea și granulația livrată de producător.

Vergelele din oțel de $\phi 4$ mm la lungimea de 350...450 mm din oțel SLOX, STAS 1126-66 trebuie pregătite prin trefilare în vederea presării având suprafața perfect curată lipsită de grăsimi, praf de săpun sau alte impurități dăunătoare sudării.

Grosimea totală a electrodului cu învelișul în stare umedă să se păstreze între limitele 6,5...6,6 mm adică $D=(1,6...1,7) \cdot d_p$.

-0 variantă cu înveliș neutru de tip rutilic pentru sudare cu surse de curent alternativ sau continuu cu polaritate directă (tabela 3.25) simbolizată cu EI TR550-600₂.

TABELA 3.25

Rețeta pentru electrozi neutri de tip rutilic simbol EI TR550..600 R₂

Denumirea substanțelor	Caracteristici	STAS GOST	Participarea la compoziția înve- lișului pe elec- trod
Rutil	Cu granulație fină sub 0,10 mm		45% granulație sub 0,2 mm
Marmoră	Minim 90% CaCO ₃		16% -"-
Mică	Albă sau brună pară	STAS4733-55	14% -"-
Feromangan afinat	Felin marca MI	GOST1415-69	10% -"-
Ferocrom afinat	FeCr cu max.0,4..0,5 C și 65..70%Cr		5% -"-
Feromolibden	FeMo-1	STAS7038-64	2% -"-
Ferovanadiu	Vd-1	GOST4760-49	2% -"-
Talc	pentru electrozi		4% -"-
Celuloză	pentru electrozi		2% -"-

TOTAL

100%

Granulația feroaliai elor se impune a fi sub 0,2 mm

Granulația celulozei dacă este posibil sub 0,25 mm.

Vergelele din oțel treșilată din oțel SLOX de $\varnothing 4 \times 350 \dots 450$ mm pot fi folosite în stare treșă chiar fără degresare.

Grosimea învelișului pe oțel în stare umedă după presare să se păstreze în limitele 6,5...6,6 mm măsurat pe 2 ϕ .

La 100^og amestec uscat se adaugă oca 220 cm³ silicat de potasiu cu densitatea 1,37...1,39, modul 2,8...3.

După presare electrozii se usucă în aer la temperatura camerei timp de 6...8 ore, apoi în cuptor la maximum 140...150^oC, timp de 2 ore.

Condițiile de fabricație și în cazul acestui sort sînt:

- omogenizarea componentelor timp de 5 minute;
- malaxarea amestecului 5...6 minute;
- consumul de silicat de potasiu pentru 5000 g amestec minereuri oca 950 gr;
- apă curată 15 gr.

Presarea pe vergele din oțel SLOX de $\varnothing 4 \times 450$ mm cu un diametru de înveliș D=6,6 mm;

-presiunea de lucru la presarea învelișului de oca 400 at (se impune la presare o centricitate corectă);

-uscarea după presare care se realizează în două etape: prima uscare se realizează în aer liber pe xamle de uscare timp de 72 ore, urmată în etapa a doua de o calcinare la 400...410^oC menținându-se produsul la această temperatură timp de 2 ore.

Deosebirile principale ale rețetelor elaborate de autorul tezei față de cele găsite în literatură sînt următoarele:

- raportul dintre cele două componente principale care dau caracterul basic al zgurei rezultate din topirea învelișului, CaCO₃, CaF₂, va fi în cele mai multe cazuri de oca 1...1,2 în timp ce la rețetele din tabela 3.21 acest raport este considerabil mai mare, oca 1,6...1,8. S-a ales o proporție mai redusă în CaCO₃ și mai ridică-

tă în CaF_2 pe baza unor cercetări proprii ce au confirmat că prin aceasta se favorizează trecerea elementelor de aliere din inveliș în sulfură. Aceasta deoarece se reduce concentrația lui CO_2 , reducându-se astfel la minim și acțiunea lui oxidantă asupra metalului și faptul că zgura devine mai fluidă ceea ce are ca avantaj la sudare că acționează mai eficace asupra băii de metal lichid.

-Ca dezoxidant se utilizează în inveliș ferotitanul, chiar pentru electrozii din sîrme nealiate, ceea ce va face posibil să se reducă adăsurile în celelalte feroaliaje, aluminiul și TiO_2 față de rețetele TI-20A și TI-27A din tabela 3.21.

-Ca substanță zgurifiantă auxiliară și în același timp ca plastifiant al pastei se utilizează talcul și nu nisip cuarțos. Acesta din urmă nu posedă calități plastifiante, iar pe de altă parte reduce bazicitatea zgurei fiind SiO_2 aproape pur. Talcul înă (tip A, Humedoara) conține cel mult 50% SiO_2 pe lângă oxizi bazici MnO , CaO , în proporții de cea 35%.

-Coeficientul de greutate al invelișului este mai mic decît al electrozilor prezentați în tabela 3.21. Prin aceasta se reduce consumul specific total de feroaliaje inclusiv restul de substanțe din inveliș, favorizînd fabricarea mai ușoară a electrozilor prin presarea pastei preparate pe vergelele din sîrmă de oțel.

Referitor la metoda de cercetare ea a constat în esență din elaborarea mai multor variante de electrozi experimentali și confecționarea lor la scară de laborator cu ajutorul Uzinelor Industria Sîrmei din Cîmpia Turzii precum și determinarea tuturor însușirilor prescrise de către normele uzinelor pentru această categorie de electrozi.

Elaborarea rețetelor prezentate în tabelele 3.22, 3.23, 3.24, 3.25 pentru diferite variante s-a făcut cu ajutorul calculelor posibilităților de aliere a sudurii cu ajutorul componentelor din inveliș

aceasta bazată la rîndul ei pe determinări experimentale ale coeficienților de trecere din invelig în sudură.

Confecționarea electrozilor experimentali s-a făcut cu ajutorul utilajelor și aparaturii de laborator adecuate: balanță, site, salazor, presă pentru invelire, cuptor de uscare, etc.

După producerea rețetelor propuse conform contractelor de cercetare științifică nr.17861/69 și 20/1970, încheiate între Institutul Politehnic Traian Vuia Timișoara și Uzinele Industria Sirmei din Cimpia Turzii, electrozii au fost supuși următoarelor încercări:

-Verificarea dimensională și a aspectului, inclusiv aderența inveligului pe sirmă din oțel, trăgînd concluzii asupra liantului folosit;

-verificarea comportării la sudare urmîrind: topirea metalului din vergeasa din oțel și a inveligului, frecvența stropilor, așezarea și ușurința de îndlturare a șgurii, profilul și aspectul stratului depus prin sudare, precum și comportarea la sudare în poziții dificile (vertical, inclinat, orizontal în plan vertical și de plafon);

-determinarea proprietăților mecanice ale metalului depus prin sudare, prin încercarea epruvetelor de tracțiune și reziliență, prin care s-au determinat valorile limitei de curgere σ_0 , rezistenței la rupere σ_p , alungii relative δ_5 , contractia ψ , precum și rezistența la șoc KGU 30/2;

-determinarea compoziției chimice a metalului depus prin sudare, pentru a observa influența concentrației elementelor de aliere și desoxidare din invelig;

-observarea macrostructurii și a microstructurii metalului depus prin sudare.

Materiile prime utilizate pentru inveliguri sînt cele prezentate în cele patru rețete tratate anterior (3.22, 3.23, 3.24, 3.25).

Pentru înțelegerea completă privind simbolul intern, calitatea (sortul) și granulația substanțelor înainte de dozare, acestea se reproduc în tabela 3.26.

TABELA 3.26

Materii prime folosite la realizarea rețetelor EI TR550B;
EL TR550R, EI TR550...600B₂, EI TR550...600R₂

Simbolul intern folosit	Calitatea (sortul) cu indicarea normei respective	Granulația
GRB	Cretă de Basarab cal.I-a STAS 4735-55	0,10
MAR	Marmoră albă pt.sticlă STAS266-49	0,20
FLF	Fluorină cu min.95%CaF ₂ din import	0,10
TAA	Talc alb cal.I-a sort.2 STAS 1901-59	0,10
FeTi	Ferotitan marca Ti1 GOST 4761-54	0,20
FeMn	Feromangan, marca Mn1, GOST 4755-49	0,20
FeSi	Ferosiliciu, marca Si45, GOST 1415-49	0,20
FeCr	Ferocrom, marca H900 GOST 4757-49	0,20
FeMo	Feromolibden marca Mo2, GOST 4759-49	0,20
FeV	Ferovenadiu, marca Vd2, GOST 4760-49	0,20
FeNb	Feroniobiu, marca Nb2, MPTU 2735-51	0,20
SiK	Silicat de potasiu, modul 3:d=1,38	soluție
Fe ₃ OH	Pulbere de fier cu 99,8% Fe (import)	0,20
SiNa	Silicat de natriu, lichid 30...35% din greutate amestec.	soluție

Pentru toate variantele elaborate s-au utilizat materii prime din același lot, cu compoziție chimică verificată. Dintre toate materialele utilizate singur cromul s-a utilizat din două loturi diferite și anume: un ferocrom H900 măcinat din bulgări; după măcinare rezultând o pulbere cu 68%Cr și 0,2%C și un ferocrom 9000, sosit din import sub formă de praf cu 72%Cr și 0,06%C.

Materiile prime utilizate pentru vergelile din oțel sint prezentate în tabela 3.27, tabel care redă calitatea (marca), standardul și compoziția chimică.

TABELA 3.27

Materiile prime utilizate pentru obținerea vergelilor din oțel

Calitatea sirmei și standardul	Compoziția chimică în %								
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Nb	P	S
SLOK STAS 1126-66	0,08	0,35	0,02	-	-	-	-	0,018	0,020
SV08 HMT GOST 2246-60	0,09	0,56	0,20	1,10	0,50	0,20	-	0,017	0,008
SV08 HMTB GOST 2246-60	0,10	0,56	0,24	1,26	0,70	0,27	0,28	0,018	0,010

Sirma de producție indigenă SLOK (STAS 1126-66) a fost laminată și trasă la Usinele Industria Sirmei din Cimpia Turzii din taglele produse la Combinatul Siderurgic Hunedoara.

Sirmele aliate conform GOST 2246-60 provin din import (URSS) ca sirmă trasă metă, la dimensiunea de 65 mm. Din această sirmă la Usinele Industria Sirmei au fost trase vergeli la dimensiuni de 63,25 și 4 mm, această tragere realizându-se după o recoacere și decapare prealabilă, conform procesului tehnologic aplicat în această uzină pentru sirmele aliate cu Mo și Cr. Trefilarea s-a putut efectua fără nici o dificultate.

3.3.3.-Electrosi CrMoV din sirmă nealiată

Rețeta de pornire, având la bază cercetările anterioare asupra electrosilor de tip El MoB, El MoCrB cu 0,5%Mo și 0,5%Cr este redată în trei variante (tabela 3.28).

Sirma utilizată la realizarea celor trei variante de amestecuri a fost SLOK, 64 mm (tabela 3.27).

În procesul tehnologic de fabricare s-au respectat următoarele:

-Miezul duzei de presare al inveligului a fost 66,21 mm deci

D=1,55 d.

-Presarea a decurs în condiții bune, deși din amestec masa pastei a rezultat moale.

TABELA 3.28

Cele trei variante de rețete pentru electrozi experimentați CrMoV din sirmă nealiată pentru sudarea oțelurilor termorezistente

Materialul pentru invelia, denumirea	Varianta Vd-1	Varianta Vd-2	Varianta Vd-3	OBS.
CaO, creta Bașarab	30	30	35	98% CaCO ₃
CaF ₂ , Fluorită fină	30	30	30	96% CaF ₂
CaO, tole tip A-I	10	10	10	10% CaO
Ti, ferotitan Tit	15	15	10	24% Ti
Mn, Feromangan Mn1	1,0	0,5	0,5	82% Mn
Si, Ferosiliciu Si45	3,0	2,5	2,5	46% Si
Cr, Ferocrom 000	5,0	5,0	5,0	68% Cr
Mo, Feromolibden Mo2	4,0	4,0	4,0	56% Mo
V, Ferovanadiu Vd2	2,0	3,0	3,0	35% V
Total pulberi uscate %	100	100	100	-
S k, în cm ³ la 100 g pulberi în amestec	23	23	25	d=1,38 modul 2

-Staționarea în încăperea laboratorului s-a păstrat cea indicată anterior, în nici un caz timpul de staționare n-a scăzut sub 20h, păstrind temperatura mediului ambiant la +18...20°C. După uscare în prealabil s-a procedat la calcinarea produsului în cuptor electric timp de 1 h, la 400...410°C cu ciclul total de 4 h.

-Coeficientul de greutate al inveligului s-a obținut de 29% la varianta Vd3, 30% la varianta Vd1 și Vd2.

-Aderența inveligului la vergele în astfel de condiții satisface cerințele, iar aspectul după uscare corespunde de asemenea, fără crăpături sau alte defecte.

-Luind în considerare la fabricare cele enumerate, comportarea la cârmare este cea caracteristică electrozilor cu invelig basic slab aliați

Trebuie reținut că, în cazul folosirii acestor variante se remarcă o calitate superioară în ceea ce privește comportarea la sudare față de rețetele tipurilor Al MoB și Al MoCrB, aceasta prin stropirea mai redusă și menținerea unui arc mai stabil în procesul de topire. Acestea se datoresc folosirii silicatlui de potasiu ca liant unic.

Din încercările practice efectuate în procesul de topire sau în sudură nu au apărut defecte metalurgice, lucru ce a rezultat din analiza roentgen, macro și microstructurală.

Regimul de sudare optim a fost obținut cu surse de curent continuu cu polaritate inversă la un curent de sudare $I_g = 140 \dots 160A$ pentru un $\delta_0 = 4$ mm menținând arcu scurt la sudare, iar viteza de înaintare pe direcția de sudare redusă (avans mic la înaintare).

Compoziția chimică a metalului depus prin sudare este redată în tabele 3.29, conform variantelor enumerate.

TABELA 3.29

Compoziția chimică obținută în metalul depus prin sudare cu electrozi CrMoV din sirmă nealiată

Pruv. conf. rețetă	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	P	S	Observații
Vd1.a	0,09	0,81	0,58	1,04	0,60	0,14	0,020	0,016	nu sînt
Vd1.b	0,08	0,74	0,52	0,95	0,50	0,13	0,019	0,015	
Vd1.c	0,09	0,78	0,54	1,02	0,56	0,15	0,025	0,016	
Vd2.a	0,09	0,72	0,48	1,20	0,57	0,25	0,020	0,015	nu sînt
Vd2.b	0,08	0,72	0,55	1,15	0,60	0,25	0,021	0,014	
Vd2.c	0,08	0,66	0,44	1,06	0,58	0,18	0,021	0,016	
Vd3.a	0,08	0,62	0,20	1,14	0,55	0,21	0,020	0,014	nu sînt
Vd3.b	0,08	0,56	0,22	1,18	0,58	0,20	0,022	0,015	
Vd3.c	0,08	0,52	0,25	1,08	0,64	0,18	0,021	0,014	
Sirmă	0,08	0,55	0,02	-	-	-	0,018	0,020	
Compoziție urmărită	0,08 0,15	0,50 0,90	0,15 0,45	0,80 0,20	0,40 0,70	0,10 0,35	max 0,04	max 0,04	nu sînt

Încercările mecanice ale metalului depus prin sudură (sudură

pură) pe epruvete sudate și prelucrate după sudare conform STAS 7356-65 sînt optime (tabela 3.30).

TABELA 3.30

Insușirile mecanice obținute din epruvetele prelevate din sudură pură realizată din electrozii experimentali CrMoV din sîrmă ne-aliată

Epruveta simbol	Tratament termic	Inercarea la tracțiune kgf/mm ²				Rezist. la șoc KCU 90/2
		σ_c	σ_r	δ_5	ψ	
Vd1.a	Fără liant	-	76,5	17,6	48	6,8
Vd1.b	Rev. 650°C, 1h	-	68,8	20,4	56	9,2
Vd1.c	Rev. 700°C, 1h	51	63	22,6	64	12,2
Vd2.a	Fără trat.	-	74	12,6	28	4,6
Vd2.b	Rev. la 700°C, 2h	53	66	17,6	62	9,6
Vd2.c	Rev. 700°C, 2h	54	67	18,8	60	10,4
Vd3.a	Fără trat.	-	70	16,6	44	5,0
Vd3.b	Rev. 700°C, 2h	53	62	23	64	12,8
Vd3.c	Rev. 700°C, 2h	53	64	22	66	13,2
Insușiri minime impuse de norme	Revenire la 750°C	-	50	16	-	minim 8

Cifrele obținute sînt valori ce permit a trece la interpretarea rezultatelor pe primele trei variante:

Cu privire la compoziția chimică:

-Varianta Vd3 corespunde în întregime compoziției urmărite la toate elementele analizate și la toate cele trei epruvete sudate.

-La varianta Vd1 și Vd2 se observă conținutul ușor depășit la siliciu, în rest toate elementele corespund compoziției urmărite.

Prima concluzie este că rețeta de bază este bine concepută atît în ceea ce privește scheletul ei și alacurile de ferroalaje, cît și grosimea învelișului, precarea și uscarea electrozilor.

Trebuie făcî remarcate următoarele:

-Conținutul în siliciu este depășit la variantele cu ferotitan mai mult (15%), în timp ce la varianta cu numai 10% FeTi siliciul a scăzut considerabil și se încadrează în limitele prescrise.

-Prin creșterea procentului de FeV în invelig de la 2% la 3%, vanadiul din sudură crește în medie cu numai 0,05%.

-Conținutul în fosfor crește cu cea 0,005% față de cel din sirmă datorită fosforului conținut în feroaliaje. În același timp conținutul în sulf scade apreciabil, în medie cu 0,005%, din cauza caracterului puternic bazic și desoxidant al agurei, care face ca reacția



să meargă cu precădere spre formarea de CaS. Aceasta se datorește concentrației mari de CaO și mici în FeO. Acesta din urmă, în agurile electrosilor bazei, este într-o mare măsură desoxidat de către elementele cu afinitate mai înaltă față de oxigen decât fierul, în cazul de față titanul și siliciul, astfel:



Reacțiile (3.2) și (3.3) se conduc cu precădere spre creșterea decarece TiO_2 și SiO_2 formați în primul moment, reacționează imediat cu CaO din agură, dând compuși cu temperatură mai joasă de fuziune și cu fluiditate mai mare, după reacțiile:



La variantele V^o1 și V^o2 concentrația mai mare în titan determină o accentuată trecere a siliciului în sudură fiindcă titanul este un desoxidant puternic și nu lasă să se zgurifice prea mult din siliciul donat în invelig.

Cu privire la crom, conținutul lui la toate variantele apare cu cele mai mari imprăgțieri ca valoare absolută, însă suficient de constant ca valoare relativă. Coeficientul de trecere al cromului din invelig în sudură este, - pentru variantele clădite pe scheletul de rețetă V^o1 -, egal cu cel găsit în cazul rețetei stabilite pentru electrodul El CSM, ce conține 4...5% ferosiliciu Si75 și 5% ferochrom Cr 4 în invelig [158].

Referitor la prezența molibdenului în sudură fiind mai puțin sensibil la oxidare, el se menține mai constant decât cromul.

În așirgit carbonul se constată că se menține de regulă la nivelul celui existent în sîrma vergelelor.

Nefavorabil ar fi fenomenul creșterii carbonului în sudură peste limita admisă de 0,15%, sau arderea lui într-o măsură neadmisibilă. Baia de metal topit prin intermediul arcului electric, protejată fiind de o zgură basică și dezoxidantă, nu pierde din conținutul de carbon prezent în sîrmă.

Cu privire la însugirile mecanice se poate afirma că metalul depus prin sudare cu electrozii elaborați conform rețetelor Vd1 și Vd3 corespunde din punct de vedere al însugirilor mecanice prescise de norme, deși după cum s-a văzut mai sus, pentru rețetele Vd1 și Vd2, conținutul în siliciu este depășit. În consecință ar fi de presupus că prin aceasta, alungirea relativă (δ_5) să scadă sub valoarea minimă admisă.

Deși examinăm rezultatele din tabela 3.30 se pot desprinde următoarele concluzii mai importante:

La epruvetele prelucrate și încercate după sudare, fără a fi supuse unui tratament termic ulterior, valoarea rezistenței la rupere este cu peste 20 kgf/cm² mai ridicată decât cea minimă prescrisă. Limita de curgere nu poate fi clar observată în decursul încercării epruvetelor la tracțiune. Alungirea corespunde la Vd1 și Vd3, dar trebuie ținut seama că este destul de apropiată de limita inferioară, adică, (de 16%). La Vd2 alungirea se situează și sub limita inferioară la epruveta netratată termic. Reziliența KCU 50/2 apare la toate trei epruvetele netratate termic cu valoare sub limita de 8 nkf/cm².

La epruvetele Vd1.b, insuficient tratate termic (revenire la 650°C timp de 1 h), deși valorile prescrise se încălzesc și sînt mai bune decât la Vd1.a, se constată că, limita de curgere nu este clar observabilă.

La epruvetele tratate corespunzător, limita de curgere se poate determina cu ușurință, rezistența nu e prea mare, iar alungirea și reziliența sînt sensibil superioare minimelor prescrise de norme.

În deosebi rezultatele epruvetelor tratate termic din varianta Vd3, apare ca cele mai bune, cu deosebire la valorile pentru alungire și reziliență-

Pentru sudarea unor oțeluri aliate de rezistență mărită sau cu proprietăți speciale, tendința generală este de a obține din materialele de arcos sudură cu rezistență moderată, respectiv cit mai apropiată de cea minimă admisă. În schimb se caută a obține alungirea și reziliența cit mai ridicată față de valoarea prescrisă în norme, ceea ce prin aceasta crește mult siguranța îmbinărilor sudate împotriva pericolului ruperii fragile.

Alungirea de 22...25% în loc de minim 16% și reziliența de 12...12 mkgf/cm² în loc de 8 mkgf/cm² reprezintă rezultate considerabile superioare și indică prin aceasta că varianta Vd3 trebuie aleasă ca punct de plecare pentru noi încercări.

Intrucît deosebirea principală între varianta Vd3 și primele două este conținutul mai scăzut în FeTi (10% în loc de 15%) s-a cercetat în continuare la ce rezultate ar duce eliminarea completă a ferotitanului din inveliș.

În acest scop s-au elaborat următoarele două variante EI TR550...600B₂, EI TR550...600 R₂ prezentate în tabelele 3.24 și 3.25. Din tabelele amintite rezultă compoziția chimică a amestecului de minereuri ce alcătuiesc invelișul acestor variante de electrozi acceptați de producătorii acestor materiale de arcos Usinele Industria Sîrmei din Cluj Napoca, pe baza unui contract de cercetare științifică încheiat cu Institutul Politehnic Traian Vuia din Timișoara, Facultatea de Mecanică, catedra Utilajul și tehnologia sudurii, în perioada anilor 1966-1970.

Analizând aceste variante pe baza cercetărilor efectuate asupra unei serii mari de probe sudate pe țevi din oțel termprezistent, de diametre și grosime de perete variabile, s-au putut prezenta concluziile generale de accept a acestor noi sorturi de electrozi de către producător și beneficiar al acestor electrozi, respectiv Uzina Industria Sirmei din Cimpia Turzii și Intreprinderea Energomontaj București.

Rezultatele obținute privind caracteristicile mecanice sînt prezentate în tabela 3.31.-

Incercările mecanice se înscru în caietele de sarcini oficiale în mod satisfăcător, din toate punctele de vedere impuse de standardele naționale și internaționale menționate.

Pentru justificarea celor menționate se anexează referatul tehnic de specialitate întocmit de Uzina Industria Sirmei din Cimpia Turzii, Serviciul cercetări metalurgice, primit cu adresa D.23.63/21.12.1970 (anexa 3.4).

Seria de probe sudate pe țevi din oțel termoresistent 12X1M GOST 4543-57 (OMTU/VITVI 670-65) #277M0, #277x36, #133x18
 Incercările s-au efectuat conform STAS 6718-69 și STAS 200-67 (OMTU 2580-54) (STAS 818A-68)

Nr. sudate cap ost. la cap OL 12X1M	Tratamentul termic aplicat după sudare	Tratamentul termic de revenire	Structura obținută	σ_r kgf/mm ²	σ_c kgf/mm ²	$S = A_s$ %	k_{Cu_2} kgf/cm ²	α %	σ medie
1.- A ₁ , A ₂ , A ₃	900°C răcire în aer instant	675°C -2h răcire în aer	Bainită superioară	64-61-53 medie: 62,7	47-49-49 medie: 47	17-18,4-16,6 medie: 17,3	0-8-1-8 medie: 8	46-48-42 medie: 45,3	276
2.- B ₁ , B ₂ , B ₃	900-700°C -2h răcire în aer	600°C -2h răcire în aer	Perlită concentrată.	58-61-59 medie 59,3	48-47-49 medie 47,3	18-18-17 medie 18	2-2-1-6,2 medie 7	46-48-42 medie 45,3	282
3.- C ₁ , C ₂ , C ₃	900-300°C -1/2h răcire în aer	600°C -2h răcire în aer	Bainită inf. + ferită	66-70-69 medie 68,3	52-55-53 medie 53,3	17-18,8-17,2 medie 18	4-8-1,2-8 medie 10	42-46-48 medie 45,3	300
4.- D ₁ , D ₂ , D ₃	900-550°C -1/2h răcire în apă	600°C -2h răcire în aer	Perită pro- teoțoare	62-59,4-60 medie 64,6	49-48-49 medie 48,6	18-19-18 medie 18	6-8-10 medie 8	48-46-42 medie 45,3	310
5.- E ₁ , E ₂ , E ₃	900°C răcite cu apă	600°C -2h răcite în aer	Perită	70-80,4-74 medie 74,6	56-59-62 medie 59	17-18,4-16,8 medie 17	6-1-1-9 medie 8	46-48-42 medie 45,3	298
6.- F ₁ , F ₂ , F ₃	1200-700°C -2h răcire în aer	600°C -2h răcire în aer	Bainită superioară	66-62-59 medie 62,3	47-48-49 medie 48	18-20-21 medie 19	8-6-1-1 medie 8	46-48-42 medie 45,3	288
7.- G ₁ , G ₂ , G ₃	1200°C răcire în cup- tor	600°C -2h răcire în aer	Bainită superioară	58-60-66 medie 61,3	46-48-51 medie 48,3	20,2-20-18 medie 20	8,4-9-8 medie 8	46-48-42 medie 45,3	296
8.- H ₁ , H ₂ , H ₃	1200°C răcire în aer	600°C -2h răcire în aer	Bainită, sor- bită, cu ma- trită de fe- rită	60-66,6-59 medie 61,5	48-47-50 medie 48,3	18,7-18-22 medie 20	6,8-1,2-9 medie 8	46-48-42 medie 45,3	299
9.- I ₁ , I ₂ , I ₃	1200°C răcire în apă	600°C -2h răcire în aer	Bainită inferioară	78-82-73 medie 79,6	56-59-62 medie 59	18,6-18-20 medie 19	9,1-9-9 medie 9	42-48-46 medie 45,3	310
10.- J ₁ , J ₂ , J ₃	900°C răcire în apă	600°C -2h răcire în aer	Ferită	73-79-76 medie 75,6	65-58-57 medie 59	17-18,6-18 medie 18	8-7,1-8 medie 8	42-46-48 medie 45,3	298
11.- K ₁ , K ₂ , K ₃	900...550°C 1/2h răcire în aer	600°C -2h răcire în aer	Ferită pro- teoțoare	59-62-59 medie 60	56-52-49 medie 52,3	18-18-16,8 medie 18	8,4-8,2-8 medie 8	41-45-47 medie 45	299
12.- L ₁ , L ₂ , L ₃	1200°C răcire în apă	600°C -2h răcire în aer	Bainită inferioară	76-80-82 medie 79,3	61-63-57 medie 60,3	18-19-20 medie 19	8,1-9-9,1 medie 8	42-44-48 medie 45	300

1) #277M0 probele 1, 2, 3, 4 = 12 epruvete tractive, 12 epruvete reziliante
 #277x36 probele 5, 6, 7, 8 = 12 epruvete tractive, 12 epruvete reziliante
 #133x18 probele 9, 10, 11, 12 = 12 epruvete tractive, 12 epruvete reziliante
 GOST 4543-57 țevi din oțel termoresistent țevă sudată pentru casane și conducte (OMTU/VITVI 670-65)

3.4.-Cercetarea cauzelor fisurării sudurii la îmbinările tevilor din oțel termorezistent

În cadrul unor lucrări de sudare aferente unor termo și hidrocentrale s-a observat formarea de fisuri în îmbinările sudate în special la conducte de mare presiune.

Fisurile de regulă apar dispuse în rădăcina cusăturii mai ales în ansamble de conducte unde s-au folosit inele de sprijin a rădăcinii sudurii.

Cercetările în acest domeniu, s-au axat pe determinarea cauzelor apariției fisurilor respectiv dacă acestea apar ca rezultat al unei tehnologii de sudare greșit concepută sau aplicată, sau logic ca manifestare a unor factori legați de particularitățile constructive la îmbinarea țevilor prin sudare (dacă s-a folosit inel de sprijin pentru realizarea stratului de rădăcină la sudarea cu arcul electric).

Cercetările s-au făcut pe țevi (conducte) cu diametrele și grosimile de:

Ø135 x 20 mm;
Ø273 x 26 mm;
Ø245 x 28 mm;
Ø279 x 28 mm;
Ø273 x 35 mm;
Ø245 x 36 mm;
Ø255 x 41 mm;
Ø273 x 54 mm

din oțel termorezistent de tipul:

12X1Mo; 12MK; HT5; HT9; HT91; 13CrMo44; 10CrMo910; 15Mo3 St35.8; 45.8, DIN 17175.

Analiza cauzelor formării fisurilor s-a efectuat pornind de la ipoteza că fisurile în îmbinările sudate se formează, pe de o parte, ca rezultat al necorespundenței structurii în zona topită, iar pe de altă parte ca urmare a unor diferențe de dimensiuni la asamblarea

cap la cap in cazurile in care se folosesc inele de sprijin la rădăcină.

Experimental s-a constatat că arcul electric are o influență diferită asupra procesului de sudare la țevi cu inel de sprijin la rădăcină, față de cazul îmbinărilor fără aceste inele. Datorită diferențelor de dimensiuni și rigidității țevii și inelului de adăos la sudare apar deformații diferite și prin urmare ar trebui asigurată deplasarea unui element față de celălalt. In realitate îmbinarea, in procesul de sudare aplicat, va împiedeca deplasarea și in secțiunea ei, la granița dintre cele două elemente așezate cap la cap apar eforturi importante.

Formarea fisurilor depinde de mărimea acestor eforturi și de capacitatea materialului de a se deforma plastic.

Teoretic a fost determinată influența diferiților factori constructivi și tehnologici la deformația îmbinărilor sudate cu inel de sprijin la rădăcină, precum și apariția condițiilor in care apar tendințe de deplasare mare a conductei in raport cu inelul de sprijin al rădăcinii.

Rezultatele calculului au arătat că cele mai mari diferențe la deformații precum și cele mai mari eforturi de forfecare apar la asemenea ansamble. La inelul de sprijin pătrunderea stratului de rădăcină in inel este mai mică decât 0,5 mm, ceea ce in cazul pereților groși nu satisface cerințelor impuse de fenomenul de contracții forțate și căliri superficiale. In consecință apar fisuri capilare la cald sau rece, ce se datoresc vitezelor mari de răcire.

La îmbinările de această construcție se recomandă ca sudarea să se realizeze prin straturi de grosime mică, dar cu pătrundere suficientă (adâncime mare de topire).

La analiza deformării conductelor și inelului folosit ca

element de sprijin a fost lămurită importanța fixării suplimentare prin puncte de sudură provizorii numai pe unul din capetele țevii. Prinderile trebuie să nu depășească numărul de 3 cu lungimea de maxim 20...30 mm

Un alt factor ce poate ajuta este folosirea încălzirii elementelor înainte de a fi sudate.

Dilatarea prealabilă la fixarea inelului de sprijin poate crea condiții mai grele numai pentru straturile de sus, care sînt mai extinse ca lățime.

Este necesar a se preciza că în cadrul lucrărilor nu s-a cercetat influența diferitelor grade de rigiditate a sistemului "inel-conductă" asupra formării fisurilor.

Alte cercetări arată că mărirea rigidității sistemului de "inel-conductă" mărește formarea fisurilor la rădăcină.

În cercetările experimentale efectuate s-au pus condiții analoge cu cele ce se întîlneau în lucrările de construcții montaje prin sudare a echipamentelor termoelectrice. Cu această ocazie au fost cercetate 4 tipuri constructive de îmbinări de țevi (figura 3.2).

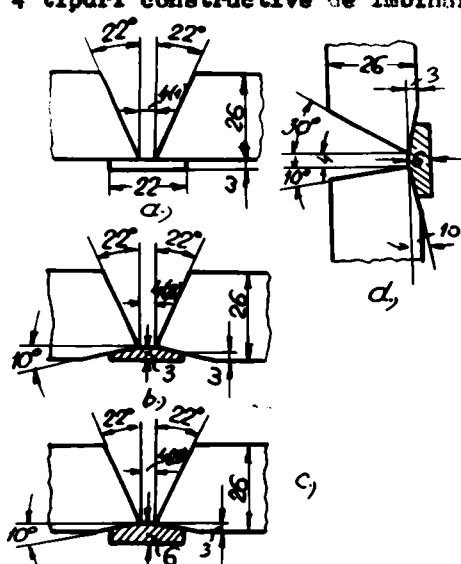


Fig.3.2.-Tipuri de îmbinări de conducte cu inel de așos sudate cu arc electric manual: a) îmbinare verticală cu inel cilindric; b, c) îmbinare verticală cu inele conice; d) îmbinare orizontală cu inel conic

Concomitent au fost cercetate patru serii de probe, diferind una de alta prin condițiile tehnologice de sudare:

- cu preîncălzirea probei înainte de sudare;
- fără preîncălzire;
- realizarea stratului de rădăcină dintr-o singură trecere;
- realizarea stratului de rădăcină din două rinduri alăturate, folosind în procesul de topire diferite adâncimi de pătrundere a inelului de sprijin prin utilizarea electrozilor de diferite calități, însă numai cei din sortele destinate sudării oțelurilor termorezistente.

Sudarea primelor serii de epruvete, pregătite conform figurii 3.2. a fost realizată cu electrozii din sortele indigene El MoB; El MoCrB; El CrMoVB, STAS 7240-68, din producția curentă.

Din sortele provenite din import s-au folosit electrozi de import de tipul TL-14, TL-20, UNIB/55 având învelișul basic (GOST 9467-60 și 2246-60), electrozi recomandați pentru sudarea oțelurilor termorezistente.

Un alt set de epruvete s-a sudat cu sortele rutilice. S-a considerat că electrozii rutilici au un grad mai redus de plasticitate al metalului topit și că acesta va ceda mult mai ușor, putându-se trage concluzii asupra fisurării la rădăcină a cusăturilor efectuate.

Cercetînd epruvetele au fost descoperite fisuri în rădăcina cusăturii numai la o mică parte din epruvete și, în special la îmbinările realizate cu electrozii cu înveliș rutilic.

Trebuie reținut că, numărul probelor efectuate cu sorturile basice și cele rutilice s-au ridicat în decursul celor 10 ani la cifra de 97 îmbinări din care s-au prelevat un număr de 275 epruvete.

Din cercetările efectuate au rezultat următoarele concluzii:

-In imbinările realizate prin sudură manuală cu arc electric nu se produc fisuri dacă s-au respectat condițiile tehnologice prescrise;

-Sudarea cap la cap a conductelor din oțelul 12MX și 12XLM6 fără preîncălzire la 250...350°C înaintea sudării favorizează apariția fisurilor la răcirea bruscă mai ales în cazul peretilor groși de grosime peste 10 mm;

Totuși oțelul 12MX poate fi sudat la temperatura mediului de cel puțin 12...28°C fără preîncălzire și fără pericol de fisurare dacă se respectă condițiile tehnologice corespunzătoare (tratate anterior).

-O centrare corectă a elementelor pregătite pentru sudare din țevi, exclude tendința fisurării în timpul procesului de topire sau după răcirea corectă a imbinării (lentă în aer liniștit sau sub protecția unor materiale termoizolante, de asbest, de carton, fulgi de mică etc).

-La imbinările cu inel sprijin la rădăcină apar fisuri atunci când se folosesc cadre necalificate în astfel de lucrări, sau se folosesc electrozi necorespunzători oțelului din punct de vedere al plasticității sau a cifrelor de calitate.

Tot legat de aceasta și de limitarea posibilităților apariției fisurilor este necesar respectarea următoarelor condiții:

-Preîncălzirea capetelor de țevă înainte de sudare la temperatură determinată pe cale analitică verificată experimental.

-Respectarea rostului între capete și a unghiului de sprijin al rădăcinii sudurii. Acesta se fixează în funcție de grosimea peretelui țevii, a electrodului și a modului de asamblare (cu inel de sprijin sau fără aceste).

-La sudarea imbinărilor de mare răspundere se va prescrie regimul de sudare prin determinări analitice a parametrilor de sudare (curentul de sudare, tensiunea arcului și energia liniară)

În funcție de acestea se determină adâncimea de topire minimă sau retopire între rîndurile depuse succesiv în rosturile create la țevile cu pereții de grosime peste 10 mm.

-În cazul îmbinărilor cu inel de sprijin, dimensiunile acestuia se pot determina prin calcul, pentru ca adâncimea de pătrundere a inelului să fie realizată corect, pentru asigurarea secțiunii proiectate a conductei (țevii). Este rațional ca pătrunderea să nu depășească $1/3$ din grosimea inelului folosit.

-Evitarea concentratorilor de eforturi se poate asigura printr-o pătrundere corectă a muchiilor, rosturilor și a umărului de sprijin și în final a inelului, dacă se folosește. Mai ales trebuie avut în vedere granița dintre peretele conductei și inelul de sprijin în vederea prevenirii deformațiilor diferite ca mărime a peretelui conductei și inelul de sprijin al rădăcinii.

Pentru obținerea îmbinărilor sudate fără fisuri în rădăcină s-au întreprins cercetări asupra întregii cusături plecînd de la elaborarea tehnologiei de sudare și formarea îmbinării fără inel de sprijin, garantînd și asigurînd topirea completă a muchiilor elementelor îmbinării cu formarea corectă a rădăcinii cusăturii.

Pentru menținerea băii de metal lichid pe greutate cu fețe capilare, e necesar să se creeze o curbură a suprafeței băii de formă convexă în jos. Pentru formarea corectă a băii de metal lichid în rădăcina cusăturii fără inel de sprijin e necesar, ca suma forțelor care acționează asupra băii de sudare în timpul procesului de topire, să se afle în echilibru.

Schema forțelor care acționează asupra băii de sudură în procesul de topire, respectiv sudare, în poziție comută, la orizontal și cu condiția protejării în timpul sudării a porțiunii interioare a cusăturii folosind un gaz de protecție, este prezentată în figura 3.3.

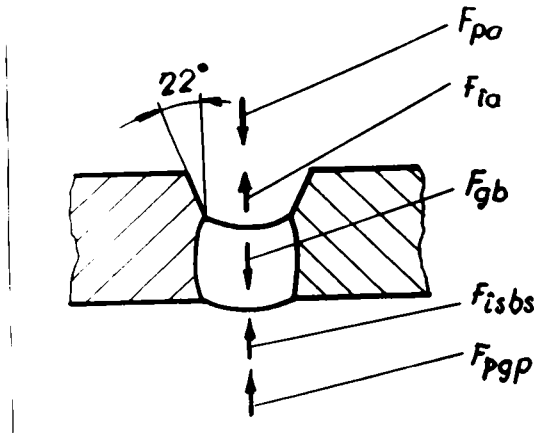


Fig.3.3.-Schema acțiunii forțelor asupra băii de sudură: F_{pa} -forța de presiune a arcului de sudură; F_{ta} -forța de întindere de suprafață, produsă de curbura suprafeței băii din partea arcului de sudură; F_{gb} -forța de greutate a metalului lichid a băii de sudură; F_{isbs} -forța de întindere de suprafață determinată de curbura suprafeței din partea opusă a băii de sudură; F_{pgp} -forța de presiune a gazului protector acuz sub baia de sudură

În cazul sudării în altă poziție decât cea comodă schema forțelor ce acționează asupra băii, se schimbă. Astfel, la sudarea în poziția verticală fără rotirea îmbinării conductelor, unde practic se întilnesc toate pozițiile spațiale ale cusăturii, în orice punct al îmbinării schema forțelor ce acționează asupra băii de sudură în stare lichidă va fi diferită. Acest fapt complică mult formarea normală a stratului de rădăcină la îmbinarea conductelor fără retire și fără inel de sprijin.

În acest mod, problema s-a redus la alegerea unui astfel de regim de sudare care să influențeze și asupra dimensiunilor băii de sudare, în vederea obținerii aceleiași acțiuni a forțelor asupra băii de sudură, în toate pozițiile spațiale.

Pentru obținerea curburii necesare a băii de sudare a fost aplicată metoda sudării în mediu de gaze cu electrod de wolfram nefuzibil (WIG).

La parametrii corespunzători pregătirii muchiilor și regimurile de sudare, topirea marginilor rezultă practic pe toată grosimea

rostului creat.

În funcție de forțele ce acționează asupra băii de sudură și parametrii de topire, deschiderea suprafeței metalului lichid primește curbura corespunzătoare.

La sudarea cu tehnologia de pregătire obișnuită a muchiilor, formarea primului strat, de rădăcină a cusăturii, diferă după diferitele poziții ale băii de sudare și nu dă rezultate satisfăcătoare. Aceastea mai ales în poziție verticală sau de plafon a cusăturii.

Pentru formarea curburii alese, la suprafața băii de sudură în diferite poziții, s-a constatat că aspectul curb al suprafeței băii e normal să foemeze nu în contul suprafeței băii, ci în contul introducerii metalului de adăos în baia de sudură în procesul topirii rostului creat din prelucrarea muchiilor.

Practic s-a demonstrat că aspectul curburii suprafeței băii poate fi obținut prin utilizarea unor inele adiționale special confecționate, sau printr-o pregătire corespunzătoare a muchiilor de sudat (fig. 3.4).

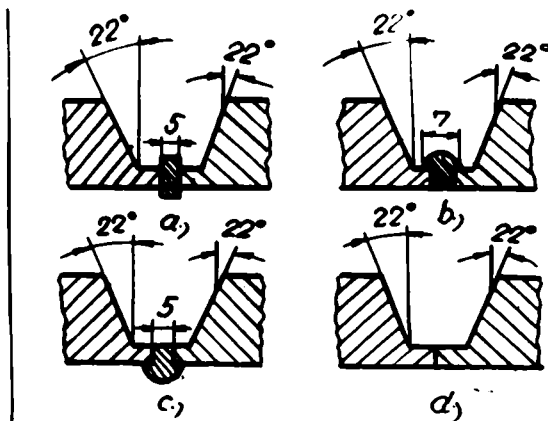


Fig.3.4.-Tipuri de îmbinări de conducte cu și fără inele adiționale, sudate în mediu protector de argon cu electrod nefuzibil (WIG):
a, b, c - cu inele auxiliare
d - fără inel adițional

Inelul adițional la sudare trebuie topit în întregime, el fiind considerat metalul de adăos, care din profilare formează curbura necesară suprafeței băii, în funcție de poziția în care se execută îmbinarea.

La sudarea în poziție verticală fără retirea îmbinărilor pentru formarea completă a primului strat, s-a stabilit grosimea optimă a stratului care a putut fi suficient de bine format pe diferite porțiuni ale îmbinărilor cercetate.

Cercetările experimentale au avut ca scop să certifice posibilitatea formării metalului topit în rădăcina cusăturii prin topirea întregii muchii, așa cum s-a preconizat la sudarea conductelor.

Unghiul de țegire pentru formarea rostului îmbinării n-a depășit 22° (fig.3.2)

Cercetările au arătat că poziția stabilă a băii de sudare pe greutate de metal topit și posibilitatea formării rădăcinii cusăturii depinde de dimensiunile inelelor adiționale, mărimea degajării rostului de introducerea acestora sau în cazul nefolosirii inelelor de sprijin, de forma geometrică creată și parametrii regimului de sudare.

Cele mai bune condiții pentru formarea rădăcinii cusăturii se obțin aplicând metoda combinată de sudare (la rădăcină cu arc electric în mediu de argon evitând complet fisurarea în acest rând de sudură, în continuare se lucrează cu arc electric manual pentru încheierea cusăturii).

Unii autori susțin nejustificat că cele mai bune condiții pentru formarea rădăcinii cusăturii se obține la sudarea cu inel de sprijin de formă plană (fig.3.2 a).

Se consideră că cele mai mulțumitoare îmbinări cu formarea completă a rădăcinii sînt cele realizate după fig.3.2 d.

Îmbinările cu inel de sprijin la rădăcină, s-a dovedit în final că dau multe neajunsuri și chiar ruperi fragile în cusătură. Aceste

ruperi fragile s-au datorat in parte fisurilor survenite din concentratorii de tensiuni rămași in cusătură, respectiv in rădăcina sudurii.

3.5.-Cercetări la fluaj a îmbinărilor sudate cu electrozi fabricați după rețete proprii

3.5.1.-Principiul încercării de fluaj

Dacă materialele sînt supuse timp îndelungat unei solicitări constante de întindere ($P=N=constant$) pentru care:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} < \sigma_c$$

se constată că ele se deformează continuu și remanent, pînă cînd ajung să se rupă in anumite condiții de temperatură.

In asemenea cazuri este vorba de un fenomen de curgere lentă a materialului in timp, cunoscut sub denumirea de fluaj.

Fluajul se înțelege ca o deformare remanentă continuă și foarte lentă, care se dezvoltă sub acțiunea unor solicitări constante acționînd un timp suficient de îndelungat. Acest fenomen poate fi pus in evidență in numeroase cazuri chiar pentru eforturi unitare.

$$\sigma < \sigma_p$$

Pentru majoritatea materialelor metalice, fenomenul de fluaj are o intensitate variabilă cu temperatura materialului, manifestîndu-se deosebit de pregnant pentru temperaturi suficient de ridicate. Cu cit un metal este mai greu fusibil, cu atit temperatura limită peste care fluajul incepe să capete importanță este mai ridicată.

Cercetările reologice recente [121, 123, 124, 127, 132] indică drept temperatură de fluaj (T_f in $^{\circ}K$) de la care urmează să fie luat in considerație fenomenul de fluaj, temperatura calculată cu relația:

$$T_f \approx T_t \quad (^{\circ}K)$$

in care: T_t -reprezintă temperatura de topire a metalului sau a aliajului considerat in $^{\circ}K$;

β -un coeficient avind valorile:

$\beta = 0,500$ pentru metalele pure;

$\beta = 0,600$ pentru aliaje speciale;

$\beta = 0,254$ pentru oțeluri.

Pentru oțeluri carbon obișnuite, pentru care:

$T_c \approx 1400 \dots 1500^\circ\text{C}$, respectiv, $T_c \approx 1670 \dots 1770^\circ\text{K}$, în baza

formulei de mai sus se obține: $T_p \approx 425 \dots 450^\circ\text{K}$, respectiv

$t_p \approx 150 \dots 180^\circ\text{C}$. În cazul oțelurilor carbon obișnuite, fluajul

poate fi complet neglijat, fără a comporta pericole. Peși atât în cazul fluajului, cât și în cazul plasticității, deformările sînt remanente, permanente și ireversibile, este necesar ca între fluaj și plasticitate să fie făcută o netă distincție, deoarece:

-pentru fluaj factorul hotărîtor este timpul, efortul unitar σ fiind constant în timp și putînd avea valori chiar inferioare lui σ_p ;

-pentru plasticitate factorul hotărîtor este sarcina P , întotdeauna fenomenul respectiv putînd fi pus în evidență numai pentru eforturi unitare $\sigma > \sigma_c$

-pentru o temperatură dată, în cazul materialelor metalice, se poate preciza o valoare limită a efortului unitar pînă la care apar deformări remanente de fluaj chiar dacă solicitarea acționează indefinit. Valoarea limită respectivă σ se denumește -restul de impropriu- rezistentă la deformare viscoasă.

Cunoașterea fenomenului de fluaj este extrem de importantă pentru determinarea corectă a dimensiunilor secțiunilor de rezistență ale diferitelor piese, întrucît deformarea continuu crescătoare în intensitate poate duce la un moment dat, la scoaterea prematură din serviciu a unor piese sau chiar a unor utilaje prin distrugere sau prin dezvoltarea unor deformări remanente de fluaj nepermis de mari la unele structuri sudate de mare răspundere. Dacă totuși fenomenul de fluaj se desfășoară suficient de lent și deformarea remanentă corespunzătoare nu ajunge la valoarea limită admisibilă, într-un :

interval de timp suficient de îndelungat, care depăşeşte durata normală de serviciu a elementului de construcţie sau a piesei în cauză, atunci fluajul încetează să mai constituie un impediment pentru funcţionarea normală a elementelor, a structurilor sudate, a pieselor, a utilajelor etc.

Cercetarea şi consultarea standardelor în vigoare în numeroase ţări dezvoltate din punct de vedere tehnic ca: GOST-URSS, DIN-RFG, TGL-RDG, BS-Anglia, CSN-Cehoslovacia, STAS-Republica socialistă România, ISO-internaţional etc, conduc la concluzia că cea mai răspândită metodă de încercare de lungă durată este metoda izotermică. Metoda constă în încercarea la întindere sub sarcină constantă ($\sigma = \text{constant}$) şi la temperatură ridicată, de asemenea constantă ($t = \text{constant}$).

Prin această încercare se obţine curba de fluaj. Aceasta redă dependenţa deformaţiei specifice ϵ de timpul (fig.3.5) ea cuprinzând următoarele stadii (domenii, zone) caracteristice:

-Stadiul I (porţiunea AB) denumit stadiu al fluajului primar, al fluajului iniţial, al fluajului nestabilizat sau al fluajului în curs de stabilizare; în acest stadiu, unghiul $\beta = \beta_1$ scade continuu cu creşterea timpului;

-Stadiul II (porţiunea BC), denumit stadiu al fluajului propriu-zis al fluajului uniform sau al fluajului stabilizat; în acest stadiu unghiul $\beta = \beta_2 = \beta_{\min} = \text{constant}$, în timp şi funcţie de condiţiile de încercare sau de lucru, porţiunii respective BC îi va corespunde - așa cum se va vedea în continuare -, o dreaptă sau un punct de inflexiune;

-Stadiul III (porţiune CD) denumit stadiu al fluajului accelerat al fluajului intens sau fluajului distructiv; în acest stadiu unghiul $\beta = \beta_3$, creşte mereu cu creşterea timpului până în momentul $\tau = \tau_r$, corespunzător punctului D, când survine distrugerea prin fluaj. Funcţionarea echipamentului industrial în stadiul III

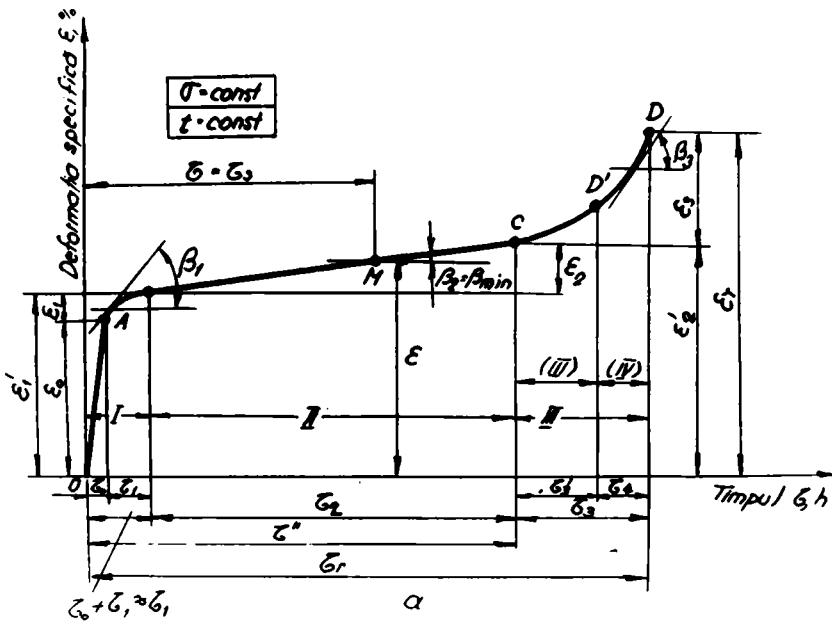


Fig. 3.5. - Curba caracteristicii de fluaj

al curbei de fluaj în general este evitată.

Intruceft în stadiul III au loc de fapt două fenomene care sînt distincte - fluajul accelerat și distrugerea prin fluaj -, CODING [117, 118], a propus încă din 1959 ca porțiunea CD să fie împărțită în alte două porțiuni, curba de fluaj cuprinzînd în acest caz, patru stadii caracteristice:

-stadiile I și II precizate anterior;

-stadiul III (porțiunea CD) denumit stadiu al fluajului accelerat în care $\beta = \beta_3$, crește mereu cu creșterea timpului.

-Stadiul IV (porțiunea D'D) denumit stadiu al fluajului distructiv, în care nu se mai poate vorbi de o continuitate a metalului.

Atunci cînd pentru o stare de sollicitare și temperatură dată, se procedează la aprecierea duratei de serviciu τ_r , în condiții de fluaj, porțiunea CD corespunzătoare noului stadiu III, ar putea să fie inclusă. Alături de porțiunea BC corespunzătoare stadiului II, în rezerva de rezistență a materialului. e altfel în cerce-

trile sale [117, 118] menționează că analiza unui mare număr de curbe de fluaj obținute prin încercări izotermice de lungă durată la întindere, au arătat că durata τ_3 , corespunzătoare noului domeniu III(CD') poate prezenta 30...50% din durata totală de serviciu maximă: $\tau_3 = \tau_0 + \tau_1 + \tau_2$ acoperită până în prezent.

3.5.2.-Determinarea limitei de curgere tehnică $\sigma_{0,2}$ la temperatura de 550...575°C pentru metalul depus cu electrozi EI TR550...600R₁, EI TR550...600R₂, EI TR550...600B₁ și EI TR550...600B₂.

Materialul de probă corespunzător celor patru sorturi de electrozi a fost furnizat sub formă de bare cilindrice eboagate la $\varnothing 16$ mm și l=190 mm pentru sortele rutilice și respectiv $\varnothing 16$ mm și l=165 mm pentru sortele bazice.

Tratamentul termic aplicat a fost următorul:

- încălzire la 680°C (revenire înaltă) timp de o oră și răcire liniștită în aer pentru metalul depus cu EI TR550...600R₁;
- încălzire până la 700°C timp de o oră, menținerea la această temperatură timp de 2 ore și răcirea în aer liniștit pentru sorturile EI TR550...600R₂ și EI TR550...600B₁;
- încălzire până la 730°C timp de o oră, menținerea timp de 2 ore la această temperatură și răcirea în aer liniștit pentru sortul EI TR550...600B₂.

Din barele strungite apoi la $\varnothing 14$ mm au fost construite epruvete de forma și dimensiunile din figura 3.6.

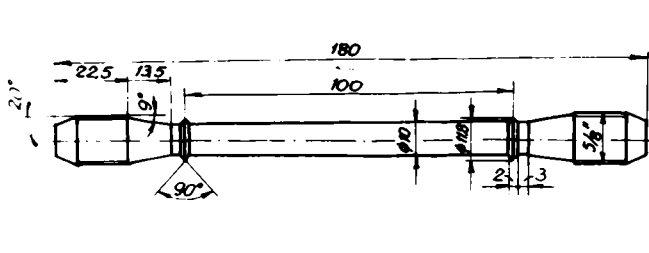


Fig.3.6.-Forma și dimensiunile epruvetei pentru determinarea limitei de curgere tehnică

Incercările s-au efectuat conform STAS 6638-62 după metoda cu încercare continuă progresivă. Pentru a evidenția influența vitezei de solicitare (respectiv a duratei încercării) asupra valorii limitei de curgere tehnică la temperaturile de 570°C, respectiv la 550°C, o parte din epruvete au fost încercate cu:

$$v_{\sigma} = \frac{\dot{\sigma}}{\dot{\epsilon}} = 10^{-1} \text{ kgf/mm}^2 \cdot \text{s}$$

iar altele cu:

$$v_{\sigma} = 10^{-3} \text{ kgf/mm}^2 \cdot \text{s}$$

altele cu o viteză de 100 ori mai mică pentru sorturile de electroși bazei, respectiv cu viteza de încălzire constantă

$$v_{\sigma} = \frac{\dot{\sigma}}{\dot{\epsilon}} = 1,57 \cdot 10^{-1} \text{ kgf/mm}^2 \cdot \text{s} \text{ și cu } 1,57 \cdot 10^{-2} \text{ kgf/mm}^2 \cdot \text{s}$$

pentru sorturile rutilice.

Incercările s-au efectuat la o instalație compusă dintr-o mașină de fluaj suplăată cu o mașină de încercare progresivă. Diagramele

s-au obținut automat prin înregistrare fotografică cu un raport de amplificarea optică a deformației $k = 200$.

Limita de curgere tehnică $\sigma_{0,2}$ a fiecărei epruvete s-a obținut prin măsurarea ordonatei punctului de intersecție a diagramei σ - ϵ pentru o epruvetă cu paralela dusă din punctul de abscisă $\epsilon = 2\%$ la prima porțiune dreaptă a diagramei respective.

În figurile 3.7 și 3.8 s-au redat diagramele obținute la încercarea epruvetei cu semnul 18 la temperatura $T=550^{\circ}\text{C}$ cu viteza de încălzire $v_{\sigma} = 1,57 \cdot 10^{-1} \text{ kgf/mm}^2 \cdot \text{s}$ pentru sortul 11 TR550R₂, respectiv pentru încercarea epruvetei cu semnul 3.7 la $T=575^{\circ}\text{C}$ cu viteza de solicitare $v_{\sigma} = 10^{-3} \text{ kgf/mm}^2$ pentru metalul depus cu electrodul El TR550...600B₂.

Figurile 3.9 și 3.10 redau diagramele σ - ϵ la încercarea epruvetelor 86-3, 86-4, respectiv 2-4, 2-8 la 550°C și vitezele de solicitare $v_{\sigma} = 10^{-1} \text{ kgf/mm}^2 \cdot \text{s}$ și $v_{\sigma} = 10^{-3} \text{ kgf/mm}^2 \cdot \text{s}$ pentru metalul depus cu electrodul El TR.550...600 B₁.

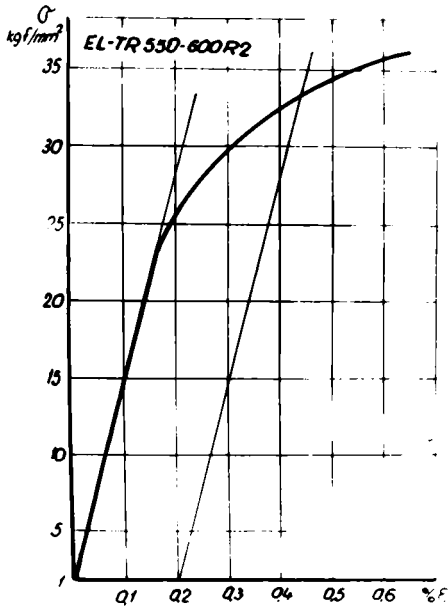


Fig. 3.7.-Diagrama $\sigma - \epsilon$ la $T=55^\circ\text{C}$ pentru EL-TR 550-600 R2, pentru viteza de încălzire $v_\sigma = 1,57 \cdot 10^{-1} \text{ kgf/mm}^2 \cdot \text{s}$

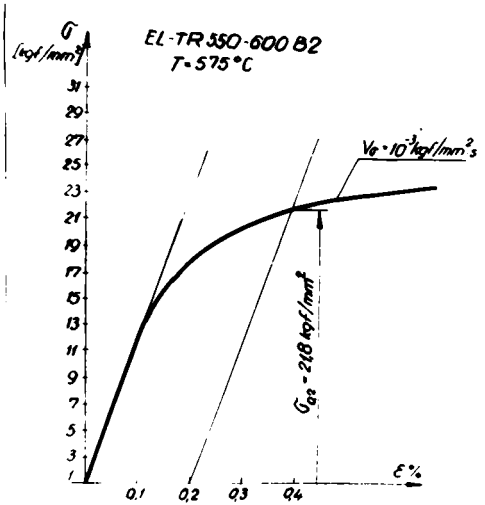


Fig. 3.8.-Diagrama $\sigma - \epsilon$ la $T=575^\circ\text{C}$ pentru EL-TR 550-600 B2 cu $v_\sigma = 10^{-3} \text{ kgf/mm}^2 \cdot \text{s}$

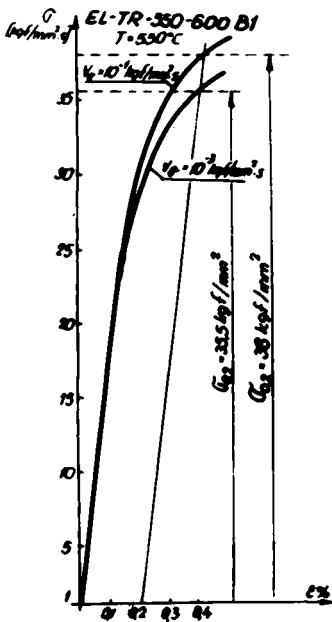


Fig. 3.9.-Diagrama $\sigma - \epsilon$ la $T=550^\circ\text{C}$ pentru EL-TR 550-600 B1, cu $v_\sigma = 10^{-1}$ și $10^{-3} \text{ kgf/mm}^2 \cdot \text{s}$

TABELA 3.22

Limita de curgere tehnică $\sigma_{0,2}$ pentru electrozii EI TR550...600R₁, EI TR550...600R₂, EI TR550...600B₁, EI TR550...600B₂

Sortul de electrod încercat	Semn-ul epruvetei	Temp. de încercare t_c	Viteza de solicitare $\text{kgf/mm}^2 \cdot \text{s}$	Limita de curgere tehnică $\sigma_{0,2}$ kgf/cm^2
EI TR550...600R ₁	11	500	$1,57 \cdot 10^{-1}$	37,3
	12	500	$1,57 \cdot 10^{-1}$	36,1
	13	500	$1,57 \cdot 10^{-1}$	40,5
	14	500	$1,57 \cdot 10^{-2}$	36,0
	15	500	$1,57 \cdot 10^{-2}$	37,1
EI TR550...600R ₂	16	550	$1,57 \cdot 10^{-2}$	27,2
	17	550	$1,57 \cdot 10^{-1}$	29,2
	18	550	$1,57 \cdot 10^{-1}$	33,6
	19	550	$1,57 \cdot 10^{-2}$	28,0
	20	550	$1,57 \cdot 10^{-1}$	29,2
EI TR550...600B ₁	2-4	550	10^{-1}	38
	2-8	550	10^{-3}	35,5
	2-9	550	10^{-1}	37,1
	86-3	550	10^{-3}	29,6
	86-4	550	10^{-3}	34,3
EI TR550...600B ₂	3-6	575	10^{-1}	25,5
	1	575	10^{-1}	26,2
	3-7	575	10^{-3}	21,8
	8	575	10^{-3}	21,5
	3-8	575	10^{-3}	23,4

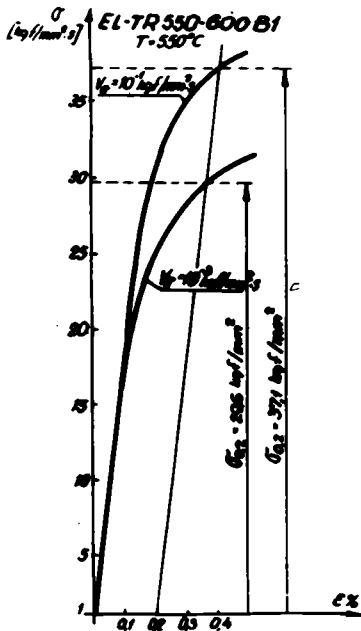


Fig.3.10.-Diagrama $\sigma - \epsilon$ la $T=550^{\circ}$ pentru EI TR550...600B₁ cu $v=10^{-1}$ și 10^{-3} kgf/mm².s

In cursul încercărilor variația temperaturii în jurul valorii nominale ($T=550^{\circ}\text{C}$, respectiv $T=575^{\circ}\text{C}$) s-a menținut la limitele $\pm 3^{\circ}\text{C}$. De asemenea variația temperaturii în lungul porțiunii calibrate a epruvetei nu a depășit $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Măsurarea temperaturii s-a făcut cu o precizie de $\pm 1^{\circ}\text{C}$

cu ajutorul a două termocuple cromel alamel cuplate la un milivoltmetru cu o clasă de precizie 0,2.

Rezultatele obținute (tabela 3.32) arată influența relativ mare a vitezei de solicitare (respectiv duratei de încălzire asupra limitei de curgere a metalului depus prin sudare).

3.5.3.-Determinarea limitei tehnice de fluij $\sigma_1/1000$ la temperatura $T=550^{\circ}$ și 575°C pentru metalul depus cu electrozii EI TR550...600B₁ și EI TR550...600B₂

3.5.3.1.-Conform STAS 6637-62 limita tehnică de fluij $\sigma_1/1000$ la o temperatură dată, este tensiunea practic constantă care produce după o încălzire de 1000 ore o alungire remanentă de fluij $\epsilon_p = 1\%$.

Determinarea limitei tehnice de fluij $\sigma_1/1000$ la temperatura $T=575^{\circ}\text{C}$ respectiv $T=550^{\circ}\text{C}$ a metalelor depuse prin sudură examinate, s-a făcut pe baza unei serii de încercări de fluij executate în condițiile prevăzute în STAS 6596-62.

Pentru a putea determina în plus și valoarea aproximativă a limitei de fluij $\sigma_1/1000$ corespunzătoare unei durate de încălzire de 10.000 ore, încercările de fluij au fost conduse astfel ca pe baza

rezultatelor experimentale obținute să se poată trasa diagrama
linitei tehnice de fluaj $\sigma_{1/4}$.

In acest scop fiecare epruvetă de fluaj a fost încălzită la
temperatura $T=575^{\circ}\text{C}$ (sau 550°C) și apoi încărcată cu o forță de
întindere constantă în timp; valoarea forței a variat de la o epru-
vetă la alta.

Sub acțiunea compusă a temperaturii ridicate, a forței constante
de întindere și a duratei solicitării, epruveta a suferit o lungire
continuu și progresivă, lungirea de fluaj. Variația în timp a lungi-
rii epruvetei s-a urmărit prin măsurarea intermitentă a deformației
de întindere. Întreruperea încercării, respectiv descărcarea epruve-
tei de forța de întindere aplicată, s-a făcut atunci când valoarea
alungirii remanente a ajuns la aproximativ 1%.

Pe baza măsurărilor făcute, pentru fiecare epruvetă s-a trasat
o curbă de fluaj - curbă de deformație izotermă sub sarcină cons-
tantă. Cu ajutorul ei, pe cale grafică, s-a determinat durata t
în ore, în care forța, respectiv tensiunea constantă de întindere
 σ , aplicată epruvetei la temperatura $T=575^{\circ}\text{C}$ sau 550°C , a produs
alungirea remanentă $\epsilon_p=1\%$,

Cu perechile de valori, t, σ , obținute pentru fiecare epruvetă
încercată în condițiile prevăzute de STAS 6596-62, s-a trasat diagra-
ma linitei tehnice de fluaj $\sigma_{\epsilon_p=1\%}(t) = \sigma_{1/4}$. Din această diagramă
s-a determinat apoi limita tehnice de fluaj $\sigma_{1/1000}$.

Valoarea aproximativă a linitei tehnice de fluaj $\sigma_{1/1000}$ s-a
determinat prin extrapolare grafică, respectiv prin prelungirea
curbei $\sigma_{1/4}$ pînă în dreptul abscisei $t=10000$ ore.

3.5.3.2.-Încercările de fluaj s-au executat pe epruvete de formă
și dimensiunile din figura 3.11, la o instalație de fluaj cu trei
posturi tip Zet 3/3 fabricație VEB Thüringer Industriewerk Reußenstein
(RDG).

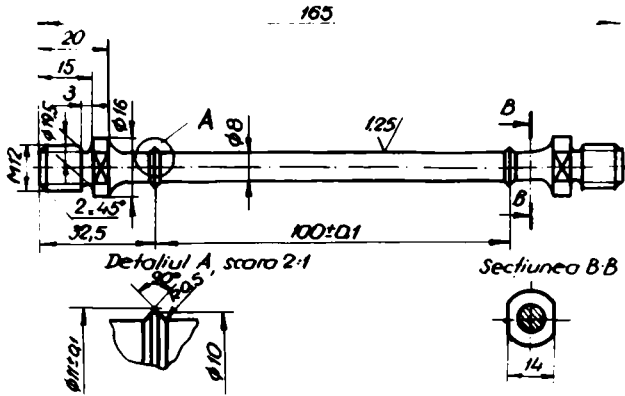


Fig. 3.11.-Forma epruvetelor de fluaj folosite în cercetări (SRG 6637-62)

Schemă de încălzire a epruvetei la această instalație este dată în figura 3.12.

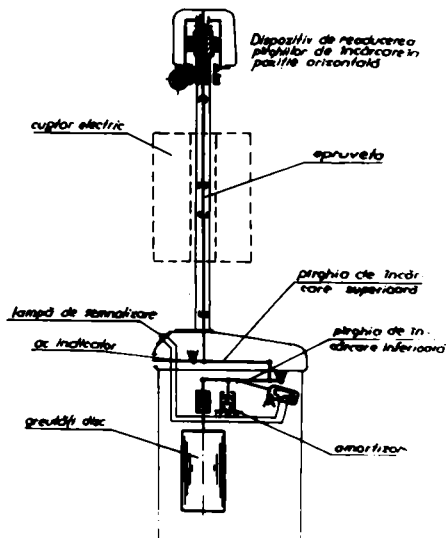


Fig. 3.12.-

Încălzirea epruvetelor s-a făcut în cuptoarele cilindrice ale instalației.

Mentținerea temperaturii fiecărei epruvete la valoarea nominală în limitele toleranțelor admise ($\pm 3^{\circ}\text{C}$ pînă la 600°C) pe toată durata încercării a fost asigurată de către un regulator de temperatură cuplat în circuitul de alimentare al cuptorului respectiv.

Variația temperaturii epruvetelor față de valoarea nominală ($T=575^{\circ}\text{C}$ respectiv 550°C) nu a depășit $\pm 3^{\circ}\text{C}$ pe toată durata încercării acestora.

Măsurarea temperaturii epruvetelor s-a făcut intermitent cu o precizie de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ cu ajutorul unor termocuple Pt-PtRh, legat la un milivoltmetru cu clasa de precizie 0,2.

Măsurarea variației în timp a lungirii epruvetelor s-a făcut cu ajutorul unor extensometre de precizie. Ele se disting prin aceea că lungirea epruvetei solicitate la cald se determină prin măsurarea cu ajutorul unui microscop spiral a deplasării relative între o tijă verticală fixată la un capăt de gulerul (reperul) superior al epruvetei (capătul celălalt fiind prelungit în afara cuptorului) și perechea de tije fixată la un capăt de gulerul (reperul) inferior al epruvetei. Precizia de măsurare a extensometrelor folosite este de $1 \mu\text{m}$.

3.5.3.3.-În figura 3.13 s-a reprezentat curba de fluaj trasată pe baza măsurării intermitente a lungirii epruvetei cu semnul 5. În cursul încercării ei la fluaj, la $T=575^{\circ}\text{C}$ și sarcina constantă corespunzătoare tensiunii de întindere $\sigma=14 \text{ kgf/mm}^2$.

Curba de fluaj din figura 3.13 prezintă în intervalul $t=20\dots 264$ ore a variației liniară corespunzătoare zonei fluajului stabilit.

Descărcarea epruvetei s-a făcut după 264 ore de încărcare cu $\sigma=14 \text{ kgf/mm}^2$ cînd lungirea ei - peste cea produsă de tensiunea inițială - a ajuns la 1,128 mm. După descărcarea epruvetei la

$\sigma_0 = 2 \text{ kgf/mm}^2$ o parte din deformația elastică s-a anulat instantaneu iar restul după trecerea unui anumit timp. După 29 ore de la descărcare lungimea epruvetei a scăzut cu $1,01 \text{ mm}$; ea reprezintă lungirea remanentă de fluaj $\Delta l_p = 1,01 \text{ mm}$ corespunzătoare duratei de încălzire $t = 264 \text{ ore}$. Lungimea între repere a epruvetei fiind $l_0 = 100 \text{ mm}$, alungirea remanentă a fost $\epsilon_p = \Delta l_p / l_0 \cdot 100 = 1,01\%$

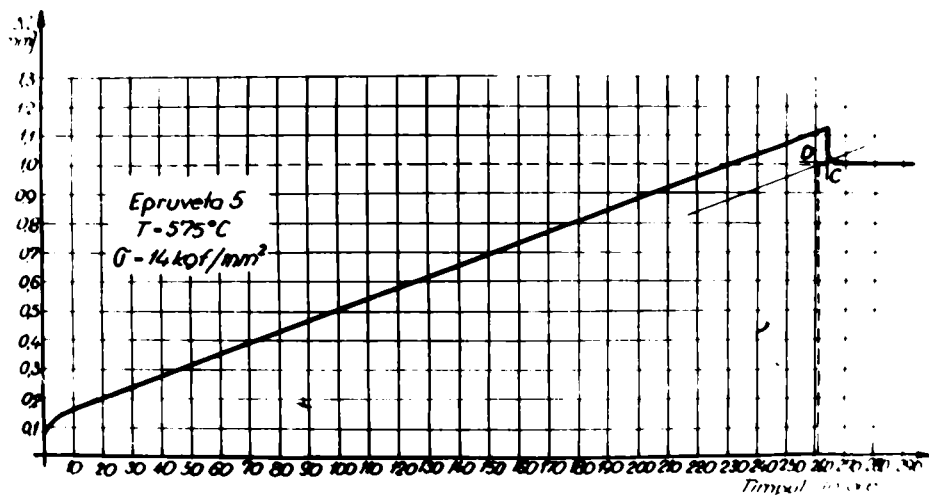


Fig. 3.15.-Curba de fluaj la $T = 575^\circ\text{C}$ pentru sortul de electrozi Al TR550...600B₂ ($t = 20 \dots 260 \text{ ore}$)

Durata de încălzire corespunzătoare alungirii $\epsilon_p = 1,0\%$ s-a determinat pe cale grafică. Din punctul o al diagramei din figura 3.15 a cărei ordonată reprezintă lungirea remanentă după 264 ore de încălzire, s-a dus o paralelă la ultima porțiune a curbei de fluaj. Abscisa punctului de intersecție o, al paralelei considerate, cu orizontala dusă la nivelul $\Delta l = 1,0 \text{ mm}$ determină durata de solicitare (t) = 261 ore, $\epsilon_p = 1\%$, corespunzătoare alungirii remanente.

Cu respectarea tuturor condițiilor tehnice prevăzute în STAS 6596-62 au fost încercate la fluaj în total 12 epruvete din sorturile Al TR550...600B₂ și 10 epruvete din sortul Al TR550...600 A₂.

Pe baza măsurătorilor intermitente a alungirii epruvetei, pentru fiecare epruvetă s-a trasat câte o curbă de fluaj. Din acesta,

in modul arătat in diagrama din figura 3.13 s-au determinat duratele de încărcare $(t)_{\epsilon_p} = 1\%$ a fiecărei epruvete.

In tabela 3.33 s-au trecut tensiunile și duratele de încercare $(t)_{\epsilon_p} = 1\%$ determinate pentru epruvetele încercate in condițiile pre-scrise.

TABELA 3.33

Tensiunile și durata de încărcare pentru încercarea de fluxaj a metalului după cu electrozii EI TR550...600B₁ și EI TR550...600B₂

Sortul de electrozi încercați	Temperatura de încercare °C	Semnul epruvetei	Tensiunea σ kgf/mm ²	Durata $(t)_{\epsilon_p} = 1\%$ ore
EI TR550...600B ₁	550	86-5	24	49,8
		86-6	20	110
		86-7	18	184
		86-8	16	485
		86-9	16	1.085
		86-10	15	1.075
		2,1	28	120
		2,3	20	1.05
		2,5	22	657
		2,7	24	125
		2,9	24	131
2,10	28	622		
EI TR550...600B ₂	575	2	15	60
		3	18	110
		4	13	1.570
		5	14	261
		6	16	73,5
		9	15	1,6
		10	12	2.250
		3,2	22	12
		3,5	20	11
		3,5	16	2,2

OBS.-Primele șase epruvete din sortul EI TR550...600B₁ au fost sudate la ISOT, iar următoarele șase in cadrul laboratoarelor catedrei Utilajul și tehnologia sudării

3.5.3.4.-Din examinarea curbelor de fluaaj obținute pentru electrozii din sortul EI TR55Q...600B₂ se constată că toate au aceeași alură cu cea din figura 3.13, respectiv fiecare are ultima porțiune dreaptă. Intervalul de timp corespunzător acestor porțiuni aparțin zonei fluaajului stabilizat în care viteza de fluaaj este constantă iar procesul de fluaaj se desfășoară fără modificări structurale de natură să diminueze rezistența la deformare plastică a materialului de probă.

În schimb curbele de fluaaj ale epruvetelor lotului din figurile 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19 și cele ale epruvetelor lotului din figurile 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24 și 3.25 cu excepția curbei din figura 3.14, nu prezintă în ultima porțiune o variație liniară ci una parabolică cu panta progresiv urcătoare. Aceasta dovedește că porțiunea respectivă fluaajului nu mai este stabilizată ci a trecut în zona premergătoare rușrii, în care viteza de fluaaj se accelerează ca urmare a diminuării rezistenței la deformare plastică a materialului de probă. De obicei acest fenomen este legat de modificările de structură ale materialului produse de acțiunea combinată a temperaturii, solicitării și timpului.

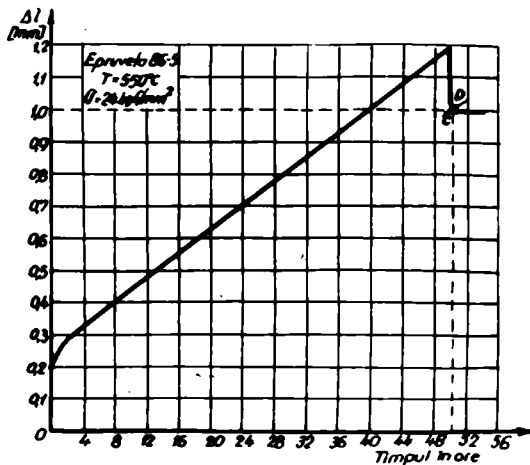


Fig.3.14.-

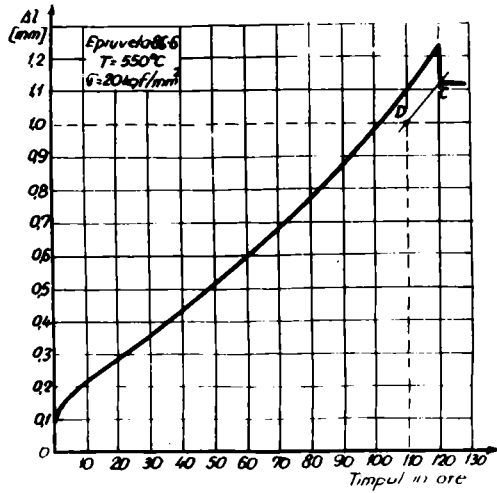


Fig. 3.15

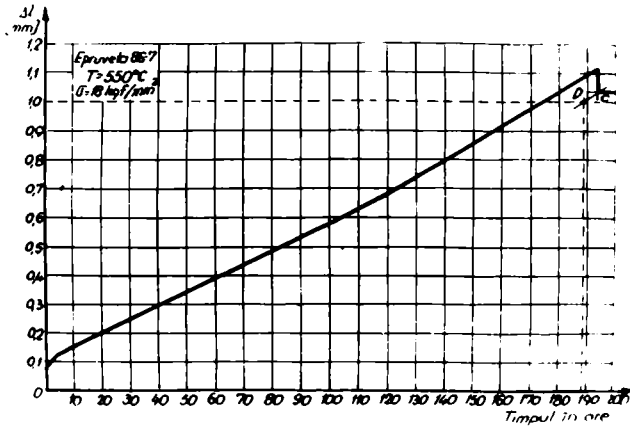


Fig. 3.16

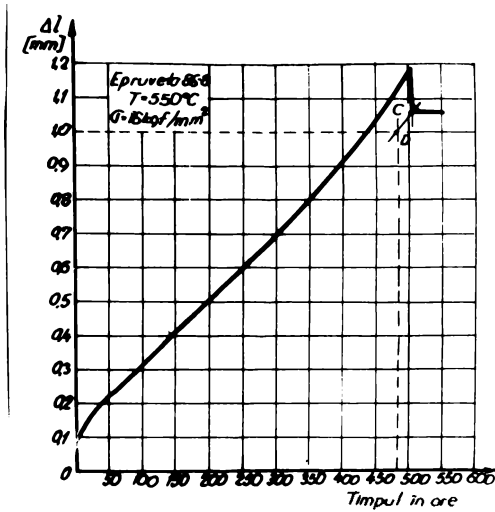


Fig. 3.17

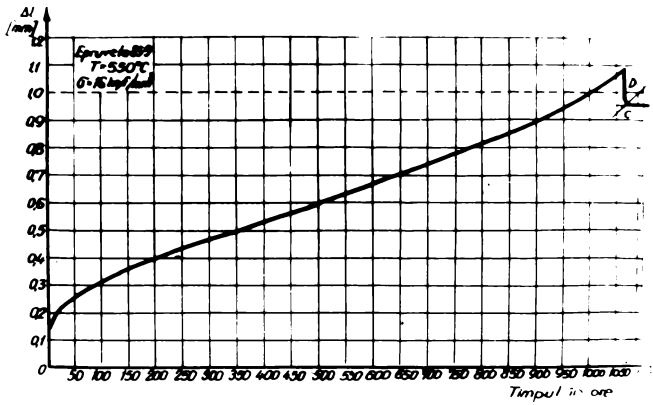


Fig. 3.18

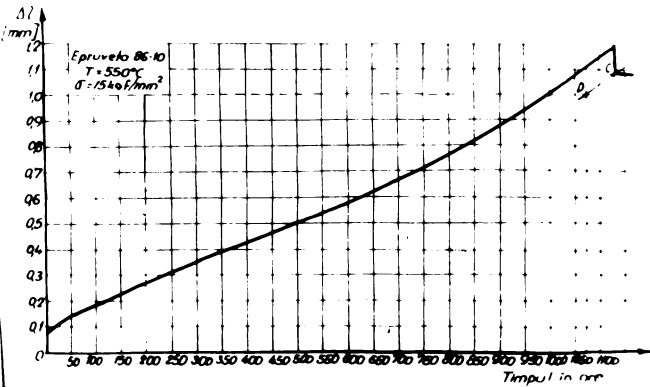


Fig. 3.19

-2.2-

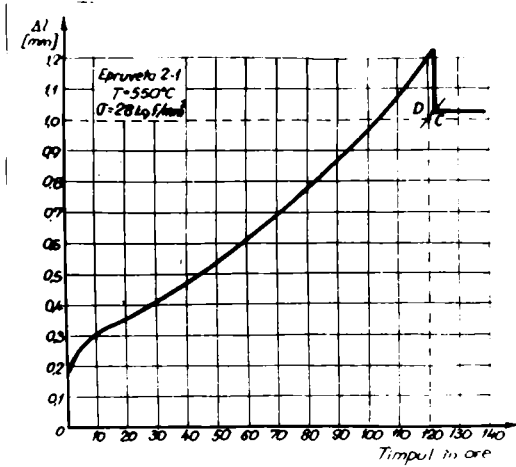


Fig. 3.20

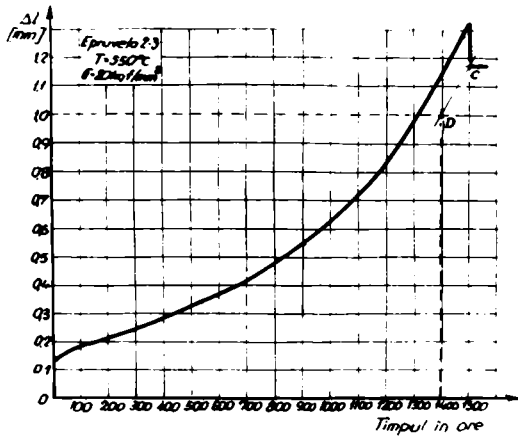


Fig. 3.21

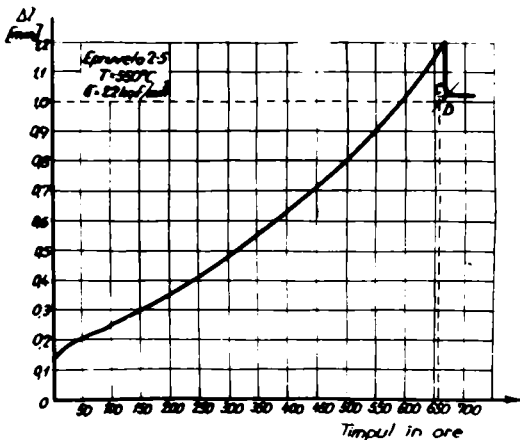


Fig. 3.22

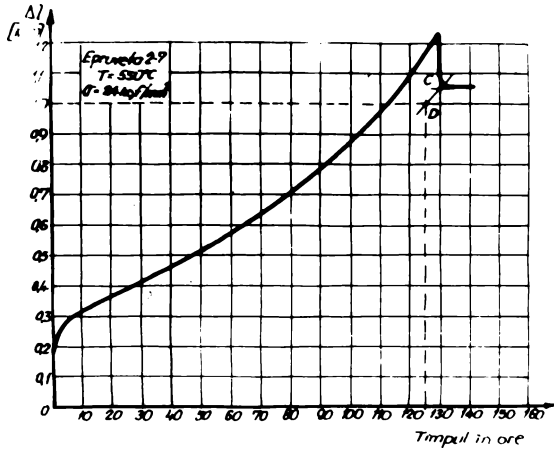


Fig. 3.23

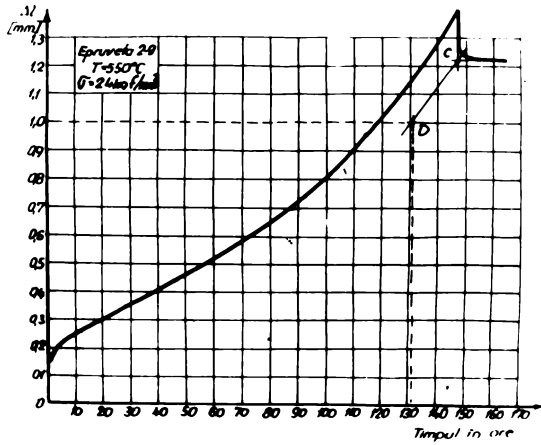


Fig. 3.24

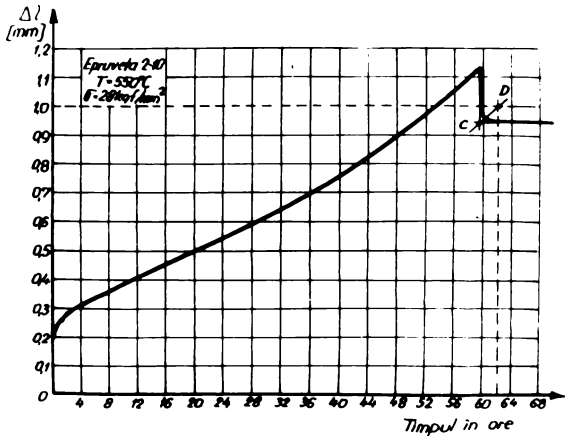


Fig. 3.25

3.5.3.5.-Pe baza rezultatelor încercărilor de fluaj obținute pentru epruvetele confecționate din materialul depus prin sudare cu sortul de electrozi El TR550...600B₂ (tabela 3.33) în figura 3.26 într-un sistem dublu logaritmic $\log t - \log \sigma$, s-a trasat diagrama limitei tehnice de fluaj $\sigma_{1/t}$; o linie dreaptă descrescătoare.

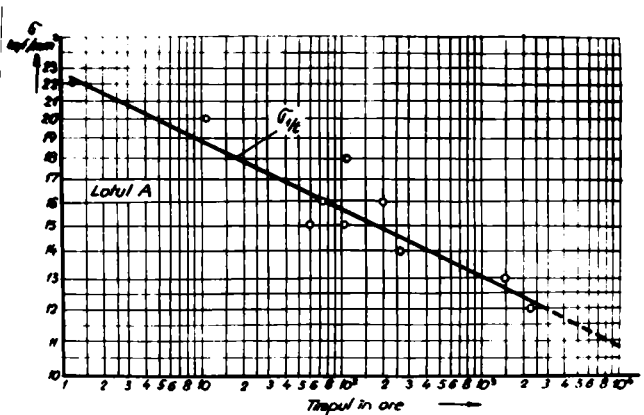


Fig.3.26

Intersecția curbei cu verticala în dreptul abscisei $t=1000$ ore determină limita tehnică de fluaj $\sigma_{1/1000} = 13 \text{ kgf/mm}^2$. Prin prelungirea cu linie întreruptă a curbei (dreapta trasată cu linie continuă) până în dreptul abscisei $t=10000$ ore s-a obținut valoarea aproximativă a limitei tehnice de fluaj $\sigma_{1/10000} = 11 \text{ kgf/mm}^2$.

Trebuie menționat că extrapolarea făcută implică admiterea ipotezei stabilității structurii materialului depus prin sudare pe toată durata încercării ($t=10000$ ore) în condiții de solicitare ($\sigma=11 \text{ kgf/mm}^2$) și de temperatură ridicată ($T=575^\circ\text{C}$).

În mod analog cu perechile de valori $(t)_{\epsilon_p}$ și σ determinate pentru epruvetele confecționate din materialul depus prin sudare cu electrozi El TR550...600B₂, cuprinse de asemenea în tabela 3.33,

in figura 3.27 s-a trasat cîte o curbă a limitei tehnice de fluaj $\sigma_{1/4}$.

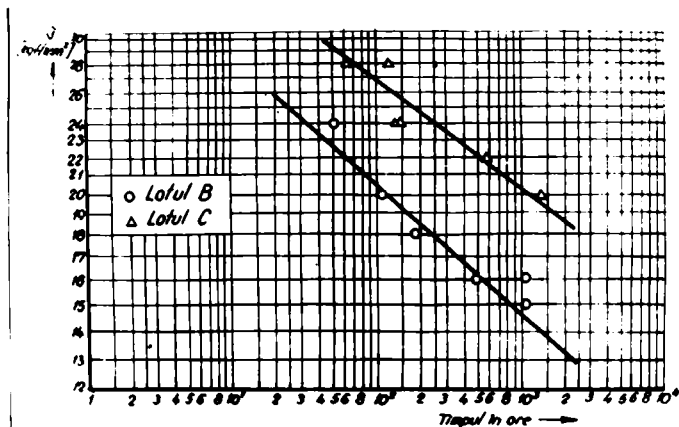


Fig. 3.27

Diagrama obținută evidențiază o comportare la fluaj net superioară a epruvetelor sudate în condiții de laborator față de cele sudate la Uzina Industria Sirmei din Cîmpia Turzii. Astfel valoarea limitei tehnice de fluaj $\sigma_{1/1000}$ la $T=550^{\circ}\text{C}$ a rezultat:

$\sigma_{1/1000} = 20 \text{ kgf/mm}^2$ pentru materialul rezultat din epruvetele sudate în laborator;

$\sigma_{1/1000} = 14,5 \text{ kgf/mm}^2$ pentru materialul rezultat din epruvetele sudate în uzină.

Datorită variației parabolice pe care o prezintă pe porțiunea finală, curbele de fluaj ale epruvetelor sudate cu electrozii EI TR550...600B₁, caracteristicii fazei premergătoare ruperii, determinarea prin extrapolare a limitei tehnice de fluaj $\sigma_{1/10000}$ așa cum s-a procedat în cazul electrozilor EI TR55...600B₂, nu este admisă din cauza riscului apariției ruperii premature cu deformație plastică redusă.

Avînd în vedere dispersia rezultatelor experimentale individuale față de valorile medii probabile, reprezentate acestea prin curbele trasate, valorile de mai sus ale caracteristicilor de rezistență determinate, trebuie considerate ca valori medii probabile. Se mai observă de asemenea o tendință de micșorare a abaterilor de la valo-

file medii cu creșterea duratei de încălzire.

În concluzie pentru probele confecționate din metalul depus prin sudare cu electrozi marca TR550...600B₂ și tratate termic după regimul indicat anterior, din încercările de fluaj efectuate la temperatura de T=575°C s-au determinat următoarele limite tehnice de fluaj:

$$\sigma_{1/1000} = 13 \pm 1 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{1/1000} = 11 \pm 1 \text{ kgf/mm}^2$$

Pentru epruvetele confecționate în două ateliere distincte (laboratoarele UTS și Uzina ISCT) din metalul depus prin sudare cu electrozi din loturile El TR550...600B₁ și tratate termic, din încercările de fluaj efectuate la temperatura de T=550°C au rezultat următoarele limite tehnice de fluaj: $\sigma_{1/1000} = 20 \pm 1 \text{ kgf/mm}^2$ pentru epruvetele sudate din laboratoarele Institutului politehnic Traian Vuia din Timișoara, Facultatea de Mecanică, catedra Utilajul și tehnologia sudării.

$$\sigma_{1/1000} = 14,5 \pm 1 \text{ kgf/mm}^2$$

pentru epruvetele sudate în cadrul Uzinelor Industria Sirmei din Cimpia Turzii.

Se remarcă faptul că atât materialul, sursele de sudare, parametrii de sudare cât și tratamentul termic asupra probelor efectuate la IPTVT și ISCT au fost teoretic aceleași, cele două cercetări distinguindu-se numai prin locul de execuție. Cum însă cele două curbe $\sigma_{1/1000}$ din figura 7.27 ale celor două execuții în ceea ce privește sudarea, sînt mult distanțate, se conchide că aceasta se datorează numai nerespectării în execuție a tratamentului termic determinat pe baza analizei chimice și a nepăstrării acestuia în timpul depunerii succesive de rînduri prin sudură.

Acest lucru a fost confirmat și din cercetările macro și micro, analize metalografice.

Cele de mai sus confirmă necesitatea respectării riguroase a tehnologiei de sudare stabilite și dau indicații prețioase cit de mult scade limita tehnică de fluaj a îmbinării sudate, dacă tehnologia de sudare nu este strict respectată.

4.-STUDIUL ASUPRA TRATAMENTELOR TERMICE ADECVATE SUDĂRII ŢEVILOR DIN OTEL TERMOREZISTENT

4.1.-Studiul tratamentului termic de supraînălţare

4.1.1. Influenţa temperaturii de preîncălzire asupra calităţii îmbinării sudate

Utilizarea oţelurilor slab aliate cu rezistenţă mărită la realizarea construcţiilor sudate supuse solicitărilor statice şi dinamice complexe, impune anumite caracteristici mecanice îmbinărilor sudate, în cazul oţelurilor slab aliate cu rezistenţă mărită, impune soluţionarea unor probleme complicate, cea mai importantă în cazul oţelurilor termorezistente folosite la tubulatură şi conductele instalaţiilor energetice fiind preîntâmpinarea formării fisurilor şi crăpăturilor în cusătură sau zona învecinată ei.

Practica sudării a arătat că principala cauză a formării microfisurilor, fisurilor sau crăpăturilor în cusătură sau zona afectată termic, constă în cazul oţelurilor slab aliate (Cr, CrMo, CrMoV) în modificările structurale care au loc sub acţiunea ciclului termic la sudare.

Menţinerea metalului din zona învecinată cusăturii pe durata sudării, în special în cazul sudării conductelor cu pereţi groşi, peste temperatura punctului AC₃ şi răcirea relativ rapidă duc la formarea în aceste porţiuni a unor structuri puţin plastice, călibile total sau parţial şi cu o tendinţă pronunţată spre formarea de fisuri, ce nu pot fi observate cu uşurinţă de executantul îmbinării sudate.

La sudarea manuală a oţelurilor slab aliate, factorul principal care determină structurile ce se formează în zona învecinată cusăturii este viteza de răcire a zonei respective şi nu supraînălţarea, întrucât timpul în care austenita se găseşte în domeniul temperaturilor ridicate, este foarte mic pentru o creştere importantă a

grăunților, în comparație cu alte procedee de sudare (ca de exemplu sudarea în baie de zgură cu flacăra de gaze etc), la care rolul heteritor în formarea structurilor finale, în speță în zona învecinată cusăturii îl are tocmai supraîncălzirea și nu viteza de răcire.

Influența vitezei de răcire în zona învecinată cusăturii asupra caracterului structurilor finale de descompunere a austenitei se determină prin aproximație, suprapunind curbele de răcire ale zonei învecinate cusăturii, la temperaturi mai mari decât cea corespunzătoare punctului AC3, peste diagrama transformării izoterme a austenitei pentru marca corespunzătoare a oțelului [67, 111, 112, 165].

În diagrama transformării izoterme a austenitei din oțelurile aliate, curbele corespunzătoare transformărilor de la temperaturi superioare lui AC3 sînt deplasate spre dreapta față de diagramele oțelurilor carbon obignuite, ca rezultat al stabilității mari a austenitei în oțelurile slab aliate și aliate.

La sudarea oțelurilor slab aliate, chiar și la viteze mari de răcire, descompunerea austenitei are loc la temperaturi înalte, pe cînd la sudarea oțelurilor aliate un asemenea rezultat poate fi obținut numai la răcirea foarte lentă a metalului în domeniul temperaturilor de stabilitate minimă a austenitei.

Cu cît conținutul de carbon și de elemente de aliere ca de exemplu: Cr, Mn, Ni, Mo, V și W, din oțel este mai mare, cu atît mai mare este stabilitatea austenitei subrăcite și cu atît mai mare este posibilitatea ca descompunerea austenitei la răcire să aibă loc la temperaturi joase, cu formarea structurilor de călire în zona învecinată cusăturii sudate.

Este evident că pot exista și oțeluri cu un conținut de carbon și de elemente de aliere la a căror sudare, efectuată cu orice viteză de răcire a metalului din zona învecinată cusăturii, transformarea austenitei va începe și se va termina la temperaturi coborîte, respectiv

in zona invecinată cusăturii se vor forma totdeauna structuri de călire. La sudarea unor asemenea oțeluri, variația ciclului termic al sudării va avea influență mică asupra desfășurării fenomenului de descompunere a austenitei. Acestea oțeluri fac parte, după cum este cunoscut din literatura de specialitate, din categoria oțelurilor celor mai greu sudabile.

Menționând că motivul principal al formării fisurilor și crăpăturilor în cusătură și în zona învecinată ei la oțelurile slab aliate și cu rezistență mărită, constă în transformările structurale care se produc în zona învecinată cusăturii, nu trebuie să se neglijeze și alți factori care influențează în mod esențial proprietățile zonei învecinate cusăturii și chiar cusătura în sine, factori care influențează formarea fisurilor și a crăpăturilor. Din categoria unor asemenea factori fac parte tensiunile structurale și cele de sudare, precum și conținutul ridicat de hidrogen în zona învecinată cusăturii.

În metalul din zona învecinată cusăturii apar tensiuni structurale în decursul fenomenului de descompunere a austenitei datorită variației volumului specific al fazei noi formate în comparație cu al austenitei.

Deosebit de importante devin aceste tensiuni atunci când noua fază formată este martensita.

Tensiunile structurale care apar se însumează cu tensiunile de sudare, provocate de încălzirea și răciră neuniformă la sudare. Astfel tensiunile tratate la sudare pot ajunge pînă la valori mari și exercită indiscutabil o influență asupra inițierii și propagării fisurilor.

După părerea unor cercetători [25, 142], factorul principal care determină tendința metalului în cusătură sau zona învecinată acestuia spre formarea fisurilor este saturarea metalului cu hidrogen. Sursele de hidrogen în cusătură este apa disociată în zona de sudare. La sudarea cu materiale mai puțin aliate decît metalul de bază, ceea ce

se întâmplă de altfel la sudarea oțelului slab aliat, hidrogenul difuzează din cusațură în zona învecinată ei, datorită gradului său de concentrație diferit în metalul de bază și cel depus prin sudare, precum și din cauza temperaturii înalte a arcului electric folosit la topire.

Difuziunea hidrogenului se produce deosebit de intens în perioada care se scurge de la începutul transformării fierului γ în fier α în metalul ce formează cusațura, înainte de începerea acestei transformări în metalul de bază, întrucât fenomenul de difuziune din perioada menționată este ajutat de solubilitatea mărită a austenitei din zona învecinată cusațurii și de mobilitatea mare la difuziunea hidrogenului în cusațura cu structură feritică. Cu cât acest interval de timp este mai mare cu atât mai mult hidrogen din cusațură va trece în zona învecinată ei.

Fenomenul de saturație cu hidrogen a metalului din zona învecinată cusațurii este caracteristic sudării cu materiale de adaos feritice.

La sudarea cu materiale de adaos (electrozi) austenitice, întregul hidrogen este practic reținut în metalul cusațurii datorită solubilității mai mari a hidrogenului în austenită.

Esența fizică a fenomenului de influență a hidrogenului asupra formării fisurilor în special în zona învecinată cusațurii, nu este încă măsurată definitiv, în literatură tehnică de specialitate existând diferite teorii care explică acest fenomen.

Se menționează că cea mai probabilă dintre ele constă în faptul că saturarea considerabilă cu hidrogen este practic a metalului din zona învecinată cusațurii și, în consecință acest fenomen produce fragilizarea ei, datorită, așrui fapt apar fisurile și crăpăturile

[111, 112].

Formarea fisurilor, in contextul condițiilor metalurgice ale sudării, s-a prezentat anterior (cap.3.4).

Influența fiecăruia din factorii enumerați asupra tendinței de fisurare, precum și in unele cazuri influența lor globală depinde de rindul lor de gradul de aliere al oțelului de grosimea materialului, de tipul îmbinărilor sudate, de felul construcțiilor sudate, de materialele de adăos utilizate etc.

De aceea este necesar ca de la caz la caz să se apelese la măsuri tehnologice diferite pentru obținerea unor îmbinări sudate de calitate, care in final să satisfacă cerințele de exploatare (cazul concret al echipamentelor termoelectrice, ce lucrează in regim forțat de temperaturi ridicate, 550...700°C și presiuni mari, 150...170 at.

4.1.2.-Determinarea temperaturii optime de preîncălzire

Printre măsurile tehnologice care permit evitarea apariției fisurilor și crăpăturilor la sudarea oțelurilor slab aliate cu rezistență mărită, fac parte preîncălzirea și încălzirea de însoțire in timpul sudării.

Practica sudării arată că la aplicarea straturilor de sudură, pe muchii supuse sudării cu materiale de adăos austenitice sau mai puțin aliate decât metalul de bază (cu revenirea ulterioară a muchiilor încălzite prin sudare) uscarea și calcinarea corectă a materialelor de adăos (electrozi și fluxuri), ordinea corectă de realizare a cusăturilor etc, sint considerente de bază de care trebuie ținut seama pentru o realizare reușită a îmbinărilor. Cea mai eficientă și mai răspândită măsură tehnologică de evitare a fisurării cusăturii și zonei învecinate constă din încălzirea in prealabil (preliminară) și cea de însoțire pe toată durata sudării, a metalului ce se sudă.

Scopul principal al preîncălzirii este reducerea la minimum a vitezei de răcire a îmbinării sudate și a zonei învecinate cusăturii, aceasta prin deplasarea fenomenului de transformare a austenitei sub

răcite în domeniul temperaturilor ridicate. Preîncălzirea contribuie de asemenea și la revenirea automată a martensitei care se formează datorită încetării fenomenului de răcire a metalului din zona învecinată cusăturii, ceea ce mărește caracteristicile plastice ale metalului din zona învecinată cusăturii, concomitent reducând valoarea tensiunilor structurale.

Preîncălzirea influențează în mod favorabil și proprietățile metalului cusăturii, micșorându-le caracteristicile de cedibilitate suplimentară la sudare, mai ales atunci când sudarea se realizează cu materiale de sudare feritice [16, 17].

Rolul pozitiv pe care îl are preîncălzirea se referă atât la influența ei asupra variației structurii metalului din zona învecinată cusăturii și din cusătura sudată, din cauza reducerii vitezei de răcire a acestor zone, cât și din micșorarea tensiunilor de sudare [165, 111], și a deformației elementelor tubulare sau plăcilor la sudare.

Pe baza datelor din literatura de specialitate se poate afirma că preîncălzirea reduce conținutul de hidrogen din metalul cusăturii și din zona învecinată acesteia [6, 18, 19, 20], întrucât mărește difuziunea și viteza de îndepărtare a hidrogenului din metalul depus în cusătură și zona învecinată ei.

De aceea chiar în cazul sudării unor oțeluri la care viteza de răcire a zonei învecinate cusăturii (variația provocată în timp de preîncălzire) nu poate modifica în mod esențial structura acestei zone (ZIT), trebuie reținut că preîncălzirea se manifestă favorabil.

Aprecierea utilității preîncălzirii la sudare, precum și determinarea temperaturii optime de preîncălzire se face pe diverse criterii. Usual se ține seama de valoarea durității din zona influențată termic sau pe baza compoziției chimice a oțelului ce se sudază.

Referitor la valoarea durității în zona influențată termic, în literatura de specialitate părerile sînt împărțite. Unii cercetători [22] apreciază ca necesară preîncălzirea la o valoare a durității

HV > 550, alții [22] la durități mai mari de 500 HV.

Aprecierea durității în zona de influență termică se poate face funcție de compoziția chimică a oțelului, determinându-se de fapt duritatea la viteză de răcire critică (martensitică) după relația [21]:

$$Hv = 90 + 1050C\% + 47\%Si + 75\%Mn + 30\%Ni + 31\%Cr$$

Recomandări analoge se întâlnesc în cercetările Institutului de sudură din Belgia [23], cercetări efectuate pe oțeluri termorezistente aliate cu Cr, CrMo, CrMoV.

În ceea ce privește utilizarea preîncălzirii la sudare luând ca criteriu compoziția chimică, se are în vedere conținutul de carbon echivalent și grosimea materialului de sudat [150]. Se definește un carbon echivalent chimic după relația:

$$C_{e.ch} = C\% + \frac{Mn\% + Cr\%}{9} + \frac{Ni\%}{18} + \frac{28}{360} Mo\%$$

În continuare se determină în funcție de grosimea materialului un alt carbon echivalent:

$$C_e = 0,005 \cdot a_1 \cdot C_{e.ch}$$

grosimea a_1 a materialului fiind în mm.

În final se determină carbonul echivalent total:

$$C = C_{e.ch} (1 + 0,005 a_1) \text{ și temperatura de preîncălzire:}$$

$$T_{pr} = 350 \sqrt{C - 0,25}$$

Determinarea conținutului de carbon echivalent și funcție de acesta și grosimea materialului, determinarea temperaturii de preîncălzire este apreciată diferit în literatura de specialitate [181, 182, 183; 184]. După [181] determinarea carbonului echivalent se face după relația:

$$C_e = 100C\% + 16Mn\% + 7Ni\% + 20Cr\% + 25Mo\% + 20V\%$$

Dacă carbonul echivalent rezultat este mai mare decât $(70 \dots 1,5)a_1$ pentru folosirea la sudare a electrozilor cu înveliș basic, respectiv $(50 \dots 1,5)a_1$ în cazul folosirii electrozilor cu înveliș acid sau ru-

tilie este necesară utilizarea preîncălzirii la sudare.

În [182] carbonul echivalent e determinat pe baza relației:

$$C_e = C\% + \frac{Mn\%}{8} + \frac{Cr\%}{5} + \frac{V\%}{5} + \frac{Mo\%}{4} + \frac{Ni\%}{15} + \frac{Cu\%}{15} + \frac{P\%}{2}$$

Preîncălzirea la sudare este necesară pentru construcții solicitate static dacă $C_e > 0,45 a_1$, respectiv $0,40 a_1$ pentru construcții solicitate dinamice. Dacă grosimea elementelor depășește 40 mm preîncălzirea este necesară indiferent de natura sarcinii.

Alți autori [183] recomandă utilizarea preîncălzirii la sudarea oțelurilor la care $C_e > 0,45 a_1$.

Evitarea formării fisurilor și crăpăturilor în cusătură sau în zona de influență termică la sudarea oțelurilor aliate cu Cr, CrMo, CrMoV, și deci necesitatea preîncălzirii este apreciată și în funcție de temperatura de 300°C considerată temperatură critică de descompunere a sustenitei [184], pentru care se definește o viteză critică de răcire:

$$v_{300^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{\left(\frac{122 q_L}{10^6 N} + 0,05\right)^2} \quad \text{în } ^{\circ}\text{C}$$

unde: q_L - energia liniară în I/cm;

N - valoarea cifrei de severitate termică, $N=8 a_1/25,4$ pentru cordoane bitermice și $N = 12 a_1/25,4$ pentru cordoane tritermice.

Temperatura de preîncălzire și regimul de sudare trebuie astfel ales încît să se evite vitezele critice de răcire, respectiv transformarea sustenitei să se termine la temperaturi su erioare lui 300°C și deci evitarea structurilor martensitice în cusătură sau zona învecinată. Este mai rațional utilizarea preîncălzirii la sudare decît mărirea energiei liniare, deoarece aceasta evită supraîncălzirea materialului din cusătură și zona învecinată, ce apare la mărirea energiei liniare.

Alegerea temperaturii de preîncălzire se face după verificarea experimentală a valorilor determinate teoretic.

4.1.3.-Determinarea experimentală a temperaturii optime de preîncălzire la sudarea oțelurilor termorezistente aliate cu CrMo

S-a studiat de asemenea problema utilizării preîncălzirii oțelurilor perlitice sau ferito-perlitice cu rezistența superioară și termostabile. Cercetările au fost întreprinse asupra oțelurilor de tipul 12KhMo, 15GS, 15HM, 12HLMF, toate aceste oțeluri fiind aliate cu CrMoV, livrate conform GOST 5058-65, după călire și revenire.

În cadrul cercetărilor întreprinse în teză, s-au utilizat oțeluri cu trei compoziții chimice referitor la conținutul de carbon, respectiv între limitele 0,12...0,28%

Proprietățile mecanice ale oțelurilor utilizate sînt prezentate în tabela 4.1 (GOST 5058-65).

TABELA 4.1

Proprietățile mecanice ale oțelurilor utilizate la cercetările întreprinse

σ_r kgf/mm ²	$\sigma_{0.2}$ kgf/mm ²	ψ %	kCU mkgf/cm ²	La o temp. de 450...525°C	
				σ_r 100000 h kgf/mm ²	Limita de fluaj pentru 10000 h kgf/mm ²
75-82	64-70	60-66	10-15	40	24-24,5

Sudarea epșuvetelor a fost efectuată cu electrozi slab aliați cu Cr Mo V, prezentați în cap.3. Înainte de întrebuințare electrozii au fost calcinați la 300...350°C timp de 1...3 ore, calcinarea făcîndu-se în scopul reducerii conținutului de apă, respectiv prin aceasta reducerii conținutului de hidrogen în metalul depus prin sudare.

Compoziția chimică a metalului cusăturii conform buletinului nr.2331.24.12-UCM Reșița și ISCT, a fost C% 0,09...0,12; Si% 0,30...0,37 Mn% 0,57...0,75; Cr% 0,80...1,0; Mo%0,28...0,5; S% 0,015...0,017, P% 0,016...0,020.

Inercările de a realiza sudarea unor oțeluri cu Cr, Mo și V fără preîncălzire nu a dat rezultate, în zona învecinată cusăturii au fost depistate cu ușurință, chiar fără lupă, fisuri și crăpături atât longitudinale cât și tranversale (fig.4.1).

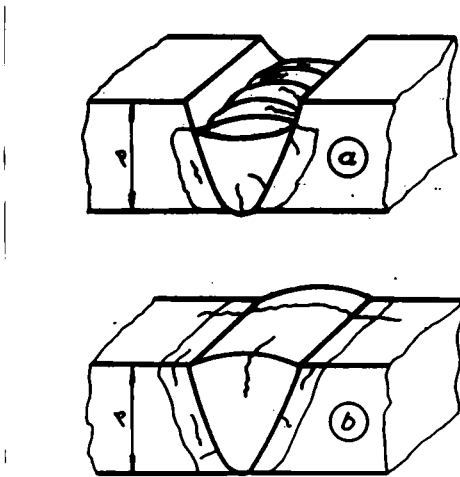


Fig.4.1.-Diverse tipuri de fisuri într-o sudură plană, atât longitudinale cât și tranversale ($s > 10$ mm)

Din probele efectuate pentru cercetările propuse a rezultat că fisurile din zona de topire pot fi atribuite fie unor cauze obișnuite, fie unor factori metalurgici. Cauzele obișnuite pot fi, după cum urmează:

- alegera necorespunzătoare a metalului de adăos (electrod necorespunzător oțelului ca metal de bază);
- condiții incorecte de executare a sudurii;
- prezența azotului, factor de fragilizare a sudurilor;
- prezența defectelor ca sufluri, incluziuni de oxizi, mai ales incluziunile de formă aciculară, nitrura de fier, grafitul în fonte, în totalitate factori favorabili de propagare a microfisurilor.

Cauzele metalurgice se pot reduce la trei aspecte principale ce trebuie luate în considerație și studiate amănunțit:

- condițiile de răcire începând de la starea lichidă;
- transformările structurale în zona topită;
- proprietățile oțelului la cald.

La examinarea probelor prelevate din îmbinări sudate, s-a constatat că de obicei atât fisurile cât și crăpăturile iau naștere chiar din primele rinduri de sudură, ce formează rădăcina depusă pe metalul rece. Acest fapt a impus studiul influenței preîncălzirii asupra proprietăților țiglei învecinate cusăturii la aplicarea unor rinduri izolate de sudură pe plăci.

Pentru determinarea influenței temperaturii de preîncălzire, depunerea rindurilor de sudură s-a făcut pe elemente reci, precum și pe elemente preîncălzite la temperaturi variabile din 50 în 50°C de la 100°C până la 400°C.

Pentru a studia influența pe care o are preîncălzirea, în funcție de regimurile de sudare, adică de energia liniară q_2 , sudurile au fost depuse cu electrozi de 24 și 5 mm corespunzător cu energia pe unitate de lungime egală cu 4250 cal/cm, aceasta în funcție de curentul util pentru I_{s04} , adică:

$$I_{s04} = 170...180 \text{ A}$$

$$U_s = 18...24 \text{ V}$$

$$v_s = 0,2 \text{ cm/sec}$$

Iar în cazul electrozilor de 25 mm, 5700 cal/cm, respectiv cu

$$I_{s05} = 200...210 \text{ A}$$

$$U_s = 24...28 \text{ V}$$

$$v_s = 0,22...0,24 \text{ cm/sec}$$

În vederea determinării vitezelor de răcire ale diferitelor puncte din zona învecinată cusăturii s-a făcut înregistrarea variațiilor de temperatură (a ciclurilor termice la sudare) în decursul operației de depunere a rindurilor sudate.

Pentru înregistrarea ciclurilor termice la sudare au fost prevăzute în elemente găuri de 25...5 mm și introduse în ele dopuri cu termocuple până la adâncime de 2, 3 și 4 mm.

Termocuplul folosit a fost cromel-alumel, elementele (sirma) de 0,25 mm fixate între ele prin sudare. Termocuplul a fost conectat

la un oscilograf cu mai multe bucle.

În acest mod, pentru trei puncte din zona învecinată cusăturii, s-au putut ridica oscilograme ale ciclurilor termice, în funcție de temperatura de preîncălzire a elementelor și de energia liniară la sudare.

Cel mai mare interes îl prezintă în această cercetare, examinarea ciclurilor termice de încălzire la sudarea elementelor (metalului de bază) din zona învecinată cusăturii, la care punctele ajung până la o temperatură superioară lui A_{C3} , adică peste 900°C . Acestor puncte din zona învecinată cusăturii le corespund curbele ciclurilor termice înregistrate cu ajutorul termocupului introdus în masa metalului de bază la o adâncime de 3 mm de la suprafață. Curbele respective sînt prezentate în figura 4.2 corespunzător ciclurilor termice ale sudării cu un electrod de $\phi 5$ mm (energia liniară fiind de 5700 cal/cm).

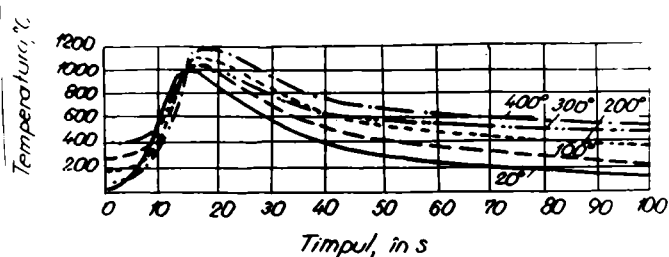


Fig.4.2.-Ciclurile termice ale sudării (energia liniară este de 5700 cal/cm)

Pe baza înregistrărilor obținute au fost determinate vitezele de răcire a zonei învecinate cusăturii la temperatura de 450°C și au putut fi constituite graficele de variație a vitezei de răcire a zonei învecinate cusăturii în funcție de temperatura de preîncălzire a elementelor și de energia liniară (figura 4.3).

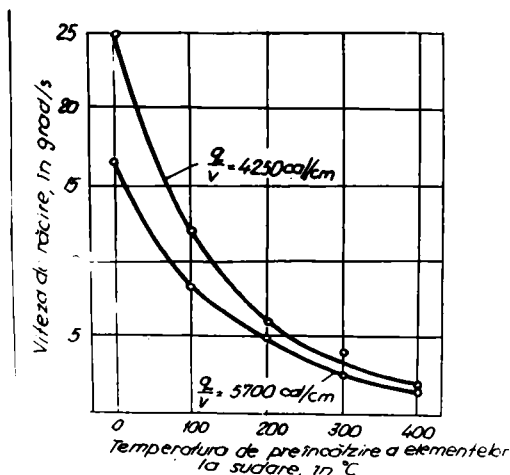


Fig.4.5.- Variația vitezei de răcire a metalului din zona învecinată cusăturii în funcție de temperatura de preîncălzire

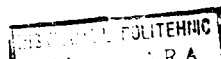
Viteza de răcire la temperatura de 450°C corespunde momentului de început a descompunerii austenitei în ramura inferioară a curbei pentru oțelurile de tipul prezentat și este cea mai caracteristică.

În curbele prezentate se vede că prin mărirea temperaturii de preîncălzire se reduce viteza de răcire a zonei învecinate cusăturii de la 25 grad/s (la sudarea fără preîncălzire) până la $1,5 \text{ grad/s}$ (la sudarea efectuată cu preîncălzire până la temperatura de 400°C).

Variația energiei liniare a exercitat o influență mai mică asupra vitezei de răcire din zona învecinată cusăturii decât variația temperaturii de preîncălzire.

Influența pe care o are variația energiei liniare se manifestă mai ales la sudarea fără preîncălzire a elementelor. În acest caz mărirea energiei liniare de la 4250 la 5700 cal/cm , reduce viteza de răcire a zonei învecinate cusăturii de la 25 la 16 grad/s .

Pentru determinarea aproximativă a influenței vitezelor de răcire a zonei învecinate cusăturii și prin urmare și a temperaturilor de preîncălzire asupra caracterului produselor finale de descompunere



a austenitei, curbale de răcire corespunzătoare zonei învecinate cusăturii au fost suprapuse peste diagrama de disociere izotermică a austenitei (figura 4.4).

Pe diagramă s-au aplicat curbale de răcire ale zonei învecinate cusăturii, obținute la sudarea fără preîncălzire și cu preîncălzire pînă la 400°C, ținînd seama de faptul că celelalte curbe obținute la diferite alte temperaturi de preîncălzire se interpun între ele.

Din diagramă se poate observa că variația vitezelor de răcire, provocată de preîncălzirea elementelor și de energia liniară de sudare diferită, nu exercită o influență esențială asupra structurii zonei învecinate cusăturii, întrucît domeniul transformărilor din partea superioară a curbei temperaturilor pentru oțelurile prezentate (ce face obiectul tezei de doctorat), este deplasată mult spre dreapta. Determîntă acestui fapt descompunerea austenitei subrăcite are loc în toate cazurile la temperaturi scăzute, în domeniul transformării bainitice și martenitice.

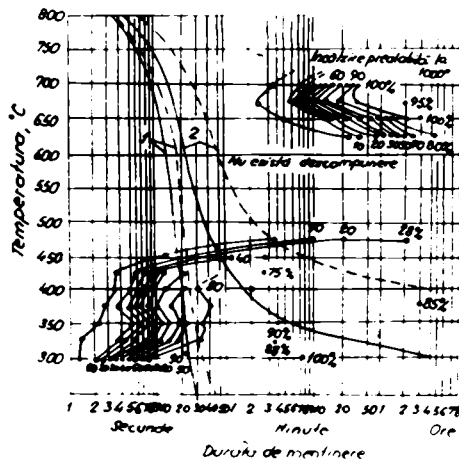


Fig.4.4.-Variația ciclurilor termice de sudare în funcție de transformările structurale ale metalului din zona învecinată cusăturii
— $q/v=4250$ cal/cm; --- $q/v=5700$ cal/cm; 1-fără preîncălzire; 2-cu preîncălzire

Variația vitezei de răcire provocată de condițiile diferite de preîncălzire se poate manifesta atât asupra proporției cantitative a bainitei și martensitei, cât și asupra fenomenelor de autorevenire din structurile care apar și care fenomene au loc datorită răcirii lente în urma preîncălzirii [57, 57, 88].

Din examinarea mărunțită a zonei structurii cusăturilor și a zonelor învecinate acestora, în funcție de ciclurile termice ale sudării și prin urmare și de temperaturile de preîncălzire a reliegit că preîncălzirea exercită ^{influență} asupra structurii zonei învecinate numai la temperaturi cuprinse între limitele 300...400°C (în comparație cu sudarea fără preîncălzire). Preîncălzirea la temperaturi mai scăzute de acestea nu exercită nici o influență esențială ce poate fi luată în considerație.

În figurile 4.5 și 4.6 se prezintă microstructurile metalului de bază și ale zonei învecinate cusăturii, la sudarea fără preîncălzire și la cea cu preîncălzire pînă la 400°C, a oțelului cu compoziția menționată anterior.



Fig.4.5.-Microstructura metalului de bază (x 3.0) atac cu nifal.

În starea lui inițială metalul de bază prezintă structura sorbită-perlită cu straturi intermediare de ferită.

Microstructurile metalului din zona învecinată cusăturii la o îmbinare sudată din oțeluri termorezistente cu trei compoziții diferite (fig.4.6) arată că sudarea fără preîncălzire în zona învecinată cusăturii, conduce la o structură bainitică inferioară cu porțiuni izolate de martensită.



Fig.4.6.—Microstructura zonei învecinate cusăturii ($\times 500$)
Atac cu nital a) oțel cu 0,16%C, sudare fără preîncălzire
b) același oțel cu preîncălzire

Mai clar se văd porțiunile de martensită în zona învecinată cusăturii la sudarea oțelului cu cea de a treia compoziție, respectiv 12XMS.

La sudarea cu preîncălzirea probei la temperaturi de 300...400°C se observă bainită inferioară deja revenită, la care fenomenele de revenire s-au produs prin răcirea lentă în domeniul temperaturilor transformărilor bainitice. În acest caz nu se observă porțiuni martensitice pronunțate. Așa dar, preîncălzirea la temperaturile de 500...400°C scade intrucitva duritatea zonei învecinate cusăturii datorită fenomenelor de revenire a bainitei inferioare și dispariției componentelor martensitice.

Metalul cusăturii prezintă o structură ferito-perlitică fin dispersată. Preîncălzirea la sudare nu exercită o influență asupra structurii metalului cusăturii. Micro-fotografiile electronice ale metalului

de bază și ale metalului zonei învecinate cusăturii, la sudarea fără preîncălzire și cu preîncălzirea oțelului cu cea de a treia compoziție (cea mai caracteristică sub raportul călibilității zonei învecinate cusăturii) au confirmat în întregime caracterul structurilor descrise mai înainte (fig.4.7 a, b, c)

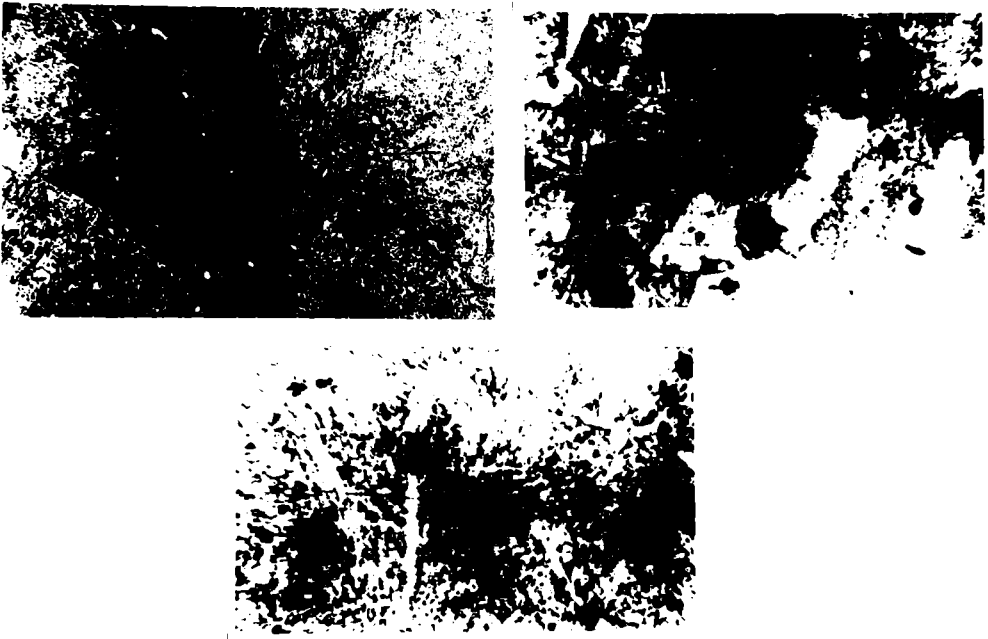


Fig.4.7.-Microstructura metalului de bază și a metalului din zona învecinată (x 300) Atac cu nital
a - metal de bază; b - metalul cusăturii; c - zona de influență termică

Rezultatele măsurării durității metalului din zona învecinată cusăturii, concordă cu caracterul modificărilor structurale. În acest sens în figura 4.8 se prezintă variația durității maxime din zona învecinată cusăturii, în funcție de temperatura de preîncălzire a elementelor și de energia liniară.

Așa cum se poate observa din acest grafic, preîncălzirea la sudare și viteza corespunzătoare de variație a răcirii se manifestă foarte puțin asupra variației durității metalului din zona înve-

cinată cusăturii.

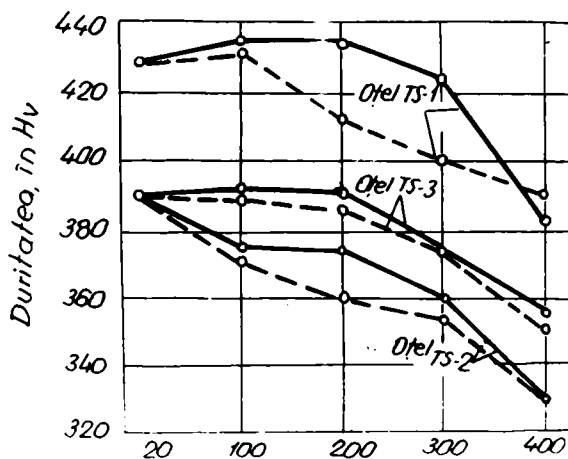


Fig.4.8.-Duritatea maximă a zonei învecinate cusăturii în funcție de temperatura de preîncălzire ——— $q/v=4250$ cal/cm; --- $q/v=5700$ cal/cm

La preîncălzirea pînă la 200°C inclusiv, duritatea metalului zonei învecinate cusăturii nu variază și numai la o preîncălzire la temperaturi cuprinse între $300\dots400^{\circ}\text{C}$ ea se reduce în comparație cu varianta aplicării metalului prin sudare fără preîncălzire.

Reducerea durității zonei învecinate cusăturii la preîncălzirea la 400°C înseamnă aproximativ $40\dots60$ Hv.

Duritatea zonei învecinate cusăturilor încărcate pe elemente fără preîncălzire este de $390\dots430$ Hv, aceasta în funcție de compoziția oțelului.

În cele prezentate referitoare la studiul microstructurilor și a durităților în zonele învecinate cusăturii la sudarea pe elemente fără preîncălzire și cu preîncălzire, rezultă că variația apreciabilă a structurii și a durității din zona învecinată cusăturii, la sudarea oțelului de tip termorezistent, are loc la o preîncălzire pînă la temperatura de 300°C . Prin urmare, influența esențială a preîncălzirii legată de variațiile structurale ale zonei învecinate cusăturii, la sudarea manuală a oțelurilor cu compozițiile

prezentate anterior poate fi evidențiată numai la utilizarea unei preîncălziri la temperatura de 300°C și chiar mai mari.

Se menționează de asemenea și alte avantaje ale utilizării preîncălzirii la sudare, cum ar fi de exemplu, micșorarea tensiunilor și deformațiilor la sudare și reducerea conținutului de hidrogen în metalul cusăturii și în cel din zona învecinată

Pentru verificarea ipotezelor emise s-a efectuat sudarea manuală a unor probe rigide de $0,600 \dots 2$ m lungime, respectiv 40 și 60 mm grosime folosind nervuri de rigidizare transversale (fig.4.9).

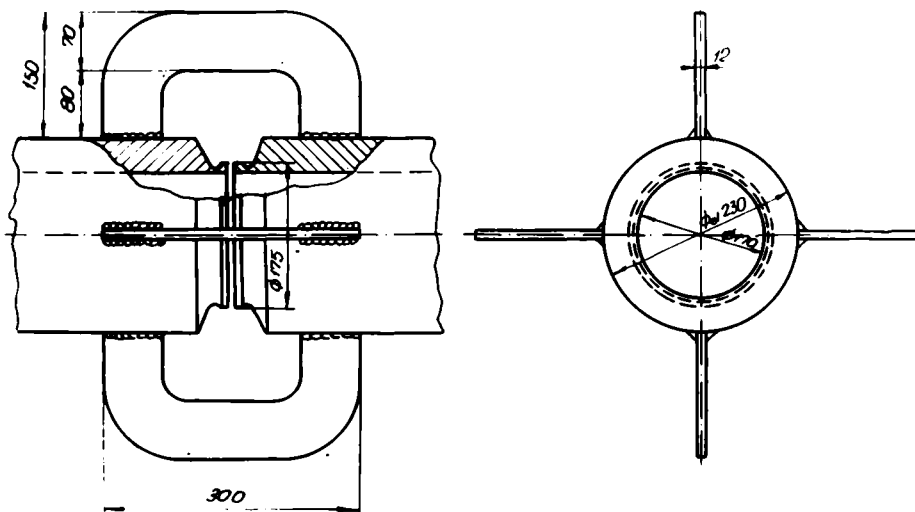


Fig.4.9.-Mod de rigidizare folosit la sudarea probelor de cercetare

La sudarea unor probe cu preîncălzirea până la 300°C (atât cea prealabilă cât și cea de încălzire) cu o viteză de răcire a zonei învecinate cusăturii de $3 \dots 4$ grd/s , au fost obținute rezultate bune.

La microstructurile pe direcție longitudinală și transversală confecționate din aceste probe, nu s-au constatat crăpături în

metalul cusăturii și în cel din zona învecinată ei, pe când la sudarea unor asemenea probe cu preîncălzirea între intervalele de 100...200°C au fost constatate crăpături.

Prin urmare, la sudarea oțelurilor de tipul celor termorezistente, viteza de răcire de 3...4 grd/sec din zona de răcire este critică.

Din cercetările efectuate în cadrul tezei a reieșit că la sudarea manuală sau la încălzirea prin sudare a unor oțeluri termorezistente de tipul celor menționate anterior, cu grosimea mai mare de 60 mm, folosind materiale de adaos (electrozi) elab aliate prin înveliș, trebuie să se utilizeze ca măsură tehnologică de bază preîncălzirea la o temperatură de cel puțin 300°C.

4.1.4.-Efectuarea practică a preîncălzirii la sudarea oțelurilor termorezistente aliate cu CrMoV

În final se fac precizări referitoare la preîncălzirea la sudare ca procedeu în sine, acest tratament influențând în mod favorabil execuția lucrărilor de sudare, contribuind astfel la îmbunătățirea calității cusăturii.

Se atrage atenția că necesitatea executării preîncălzirii și temperatura de preîncălzire în cazul sudării conductelor sau țevilor din oțel termorezistent, trebuie precizate în proiectul de execuție al instalațiilor termoenergetice.

În tabela 4.2 sînt indicate condițiile de preîncălzire în cazul îmbinărilor amintite, ținându-se seama de cercetările efectuate. Atunci cînd avem de a face cu ansamble ce se compun din piese turnate de asamblat prin sudare între ele, valorile indicate trebuie majorate cu 50...75°C.

Preîncălzirea la o anumită temperatură a marginilor elementelor sau pieselor de sudat, înainte de începerea operațiilor de sudare, precum și încălzirea de însoțire și cea concomitentă cu sudarea,

realizează reducerea vitezei de răcire a sudurii propriu zise.

TABELA 4.2

Condițiile de preîncălzire la sudarea țevilor din oțel carbon și slab aliate

Materialul de bază	Grosimea s in mm	Temperatura de preîncălzire °C
Oțel carbon cu $C \leq 0,26\%$	> 10	250...300
Oțel carbon marca 20	> 26	250...300
Oțel slab aliat silico-mangan 15 GS	> 32	200
Oțel-molibden și crom molibden vanadiu din mărcile 16M, 12MH, 15MH	> 10	200...300
Oțeluri CrMoV, CrMoVNb mărcile: 12HLMF, 12HLMF, 12XLMF, 12H2MFB, 12H2MFSR	> 10	300...400

Prin aplicarea acestei preîncălziri se poate evita formarea structurii aciculare mai ales în cazul oțelurilor sensibile de călire și în același timp permite reducerea tensiunilor remanente la sudare care ar putea provoca fisuri.

La preîncălzire este necesar să se realizeze o încălzire lentă a materialului de bază la temperatura determinată sau prescrisă, pe toată lungimea sau în cazul conductelor, pe toată circumferința, păstrînd o lățime de 50...150 mm de fiecare parte a îmbinării. Această temperatură se menține pe toată durata sudurii propriu zise. Temperatura de preîncălzire se controlează la intervale scurte sau continuu folosind termocupluri. În cazul șantierelor pot fi utilizate termometre de suprafață sau termocercione (cercă termografă) care au erori de $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

În cazul țevilor se procedează la astuparea capetelor cu dopuri înainte de începerea aplicării preîncălzirii, acestea fiind scoase după terminarea operației de sudare; aceasta pentru a evita pierderile de căldură.

4.2.-Tratamente termice după sudare și influența lor asupra aspectului microstructural al metalului depus și a metalului de bază

Tratamentul termic aplicat îmbinărilor sudate din oțeluri carbon și oțeluri slab aliate, are ca scop reducerea tensiunilor rezonante, precum și îmbunătățirea caracteristicilor mecanice și tehnologice ale materialului îmbinării.

Cercetările efectuate au evidențiat că una din condițiile unei bune comportări a îmbinărilor sudate din oțeluri termorezistente ar fi dacă îmbinările sudate ar obține o structură stabilă, inalterabilă în timpul duratei foarte lungi de funcționare (cazul instalațiilor termoenergetice).

Benek-Bandel și Rawery [38] au studiat influența tratamentului termic și a structurii la un număr de oțeluri slab aliate, conținând 1% din fiecare din elementele Cr, Mo, V, W, Ni, Si, Al, Mn, Ti, Nb, Zr.

Ei au menținut constantă temperatura de austenitizare și au făcut să varieze condițiile de răcire pentru a obține structuri diferite, ferito-perlită, structură intermediară sau structură martenitică. După călire, realizată cu trei valori a vitezei de răcire, epruvetele au fost supuse la un tratament termic de revenire. Se arată că, structura intermediară n-a fost clară decât pentru câteva oțeluri, referindu-se mai ales la cele aliate cu molibden.

În cele mai multe cazuri s-au obținut structuri mai mult sau mai puțin amestecate, însă acestea nu infirmă concluziile calitative trase din acest studiu.

Revenirile au fost alese în așa fel încât să se obțină în mod sensibil aceleași durități la rece după cele trei căliri diferite.

Influența structurii asupra rezistenței la fluaj la 500°C, prin încercări efectuate este foarte clară la majoritatea oțelurilor sudate. Structura intermediară în raport cu structuri ferită-perlită,

este în proporție destul de însemnată, variind între 25...300%. Numai oțelul nealiat și oțelurile cu Ni și Cr nu prezintă nici o ameliorare. Creșterea rezistenței este prezentată în tabela 4.3.

TABELA 4.3

Creșterea rezistenței la fluaj în funcție de adaosul în elemente de aliere

Adaosul	Creșterea în % a limitei de fluaj în raport cu starea de recăscere	
	Structura intermediară	Structura martensitică
Niobiu	300	230
Titan	200	130
Vanadiu	175	110
Molibden	130	70
Wolfram	100	20
Aluminiu	40	70
Mangan	30	<10

Unele încercări de 1000 h efectuate la oțeluri conținând aproximativ 0,17% carbon și 1% molibden, vanadiu, confirmă complet rezultatele obținute cu încercările de 35 h.

În mod analog, încercările de rupere lentă la 500°C, care au durat până la 50.000 h, confirmă în mod practic superioritatea oțelurilor cu structură intermediară, acestea menținându-se după durate foarte lungi de încălzire sub sarcină [63].

S-a observat că fenomenele se schimbă atunci când temperatura crește peste 500°C. Ca urmare a fenomenelor de globalizare ale carbonurilor, sau poate, de asemenea, din cauza altor faze care determină rezistența la fluaj, structurile intermediare, ca și structurile martensitice tind către o stare care se apropie de a structurilor ferită-perlită și superioritatea obținută la 500°C dispare la 575...600°C. În anumite oțeluri, cum este oțelul cu 1%Mo sau cu

4%Cr, structura de recoacere ferito-perlită este cea care devine cea mai favorabilă la 600°C.

Pare natural ca influența favorabilă a structurilor de călire și mai ales a structurii intermediare dispăre atunci când temperatura crește și ca, la 600°C structura ferită-perlită cea mai stabilă este cea mai rezistentă.

Trebuie însă subliniat faptul că atunci când structura intermediară joacă un rol favorabil, ea nu este cauza unică a rezistenței la fluaj, elementele de aliere conținute în masa oțelului determină valoarea absolută a acestei rezistențe.

Concluziile de mai sus au fost confirmate prin cercetările lui Delbart și Ravery [36] și Olsson, care se referă la rezistența la fluaj a unui oțel cu CrMo din tipurile clasice cu 0,6%Cr, 0,6%Mo. Incercările de fluaj cu o durată de 100h dacă sînt făcute cu tratamente diferite, se obțin structuri începînd cu structura perlită-ferită pînă la sorbită, trecînd prin straturile bainitice obținute printr-o transformare directă a austenitei la 500°C. Cercetările au permis să se verifice că la 450°C cele mai bune rezultate sînt obținute cu o structură bainitică (intermediară). Structurile de recoacere sînt cele mai nefavorabile; structura sorbitică fiind intermediară [138, 139, 140, 145].

La 575°C, clasamentul este foarte diferit și variază în funcție de sarcină. La sarcini mici, structurile de recoacere sînt cele mai bune, însă acestea își pierd superioritatea la sarcini mari, întrucît ele prezintă un punct de inflexiune în curba alungire-timp după numai cîteva sute de ore. Din cercetările efectuate de autor în cadrul tezei de doctorat s-a ajuns la aceeași concluzie.

În concluzie trebuie reținut că la temperaturi relativ scăzute structurile "domeniului de călire" sînt favorabile rezistenței la fluaj și mai ales structurile intermediare. La temperaturi de peste 550°C și cu sarcini relativ scăzute, structurile denumite de

recoacere sînt cele mai rezistente [142].

Aseste observații trebuie aplicate la oțelurile curent utilizate în construcții montate prin sudare, destinate pentru echipamente termoelectrice, respectiv oțelurile de tipul Cr, CrMo, CrMoV, CrNiMo.

Așa dar pentru a se obține cea mai bună rezistență la fluaj la asemenea oțeluri trebuie să se aleagă temperatura de călire și mai ales viteza de răcire, astfel încît structurile ce vor rezulta să fie cît mai asemănătoare structurilor intermediare [62, 63, 64].

Compoziția, elaborarea și, factorul cel mai important, secțiunea elementelor din oțeluri termorezistente supuse sudării, joacă un rol important în tehnica sudării.

Pentru un oțel dat și pentru o tehnică de călire determinată, o secțiune mică va obține o structură martensitică și o rezistență de fluaj mediocre. La o secțiune mai mare se va obține o structură intermediară și în consecință o rezistență bună la fluaj. Mărind și mai mult secțiunea, structura va fi perlitică și rezistența la fluaj se va micșora.

Pentru o secțiune dată, tehnica de călire va face să varieze rezistența la fluaj, în funcție de mărimile oțelurilor. Astfel, la oțelurile CrMo, pentru o anumită secțiune, călirea în ulei va da rezultate mai bune decît răcirea în aer; la un oțel CrNiMo, o răcire în aer (structură intermediară) va fi mai bună decît o călire în ulei (structură martensitică) [154].

S-au putut trage o serie de concluzii și mai ales, este necesar ca pentru fiecare oțel și pentru fiecare grosime (secțiune) să se studieze experimental pe modele, condițiile optime de călire. Problema devine destul de delicată atunci cînd elementele sau piesele prezintă secțiuni neuniforme la asamblarea prin sudare [121, 122, 123, 124, 125, 154].

Akțunea anumitor elemente de aliere asupra rezistenței la fluaj se poate explica în parte prin influența acestor elemente asupra structurilor soase în evidență prin probe micrografice ce se obțin după tratamentele de călire. Ele joacă același rol ca și o variație a vitezei de răcire, micșorând viteza critică și acționând în același sens ca și un mijloc energetic de călire, [154].

Trebuie remarcat însă că aceste considerații asupra efectului structurii se bazează pe rezultatele cercetărilor relativ de scurtă durată, cunoscut fiind faptul că sînt necesare sute de mii de ore pentru o cercetare completă.

Tendința actuală este de a se considera că influența structurii dispare pentru durate lungi de exploatare a ansamblilor sudate și că starea cea mai stabilă trebuie să fie cea mai bună [138, 157].

5.-CERCETARI ASUPRA FENOMENELOR METALURGICE LA SUDAREA OTELURILOR TERMOREZISTENTE

Metalul de bază și cel de adăos, în procesul de sudare, trec printr-un ciclu de temperaturi, în cursul căruia ele se încălzesc, se topesc, în parte o serie de elemente însoțitoare se evaporază sau se volatilizează, apoi se condensează și se solidifică prin răcire ajungându-se la temperatura inițială. Ciclul de temperaturi poate avea loc: în aer, în altă atmosferă gazoasă sau cum e cazul inveligurilor sau fluxurilor, sub protecția unui element protector format din zgura creată în urma topirii inveligului de pe electrod sau a fluxului folosit la sudarea automată sau semiautomată cu arc.

5.1.-Fenomene metalurgice la sudarea cu flacără oxiacetilenică și cu arcul electric a oțelurilor termorezistente

5.1.1.-Fenomene metalurgice la sudarea cu flacără oxiacetilenică a oțelurilor termorezistente

Proprietatea complexă a metalelor și a aliajelor de comportare metalurgică la sudare, decurge din următoarele aspecte principale:
-aspectul operatoriu care studiază condițiile de realizare a ansamblurilor prin topire sau prin alte procedee de exemplu prin presiune;
-aspectul metalurgic ce se produce la sudare, acesta local, care studiază modificările fizico-chimice rezultate din operația de sudare;
-aspectul constructiv sau global care se ocupă cu definirea proprietăților ansamblului construcției, aceasta, pentru a pune în evidență sensibilitatea la fisurare [133, 134, 135].

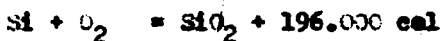
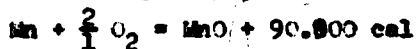
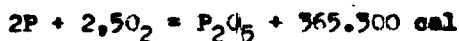
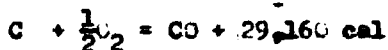
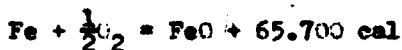
În baza celor enumerate, se analizează în continuare fenomenele metalurgice, caracteristice pentru sudarea în stare topită. Se consideră că au loc fenomene similare la sudarea cu flacără oxiacetilenică și sudarea executată cu arcul electric manual având în vede-

re faptul că nu există o deosebire esențială între fenomenele metalurgice ale acestor două procedee, ci numai între sursele de căldură folosite la sudare [138, 139, 141, 142, 150].

Pentru a se putea aprecia fenomenele metalurgice care intervin la sudare în metalurgia oțelului, se cunoaște că fabricația acestuia se împarte în două faze distincte și anume:

- faza de oxidare și faza de rafinare, al căror scop este reducerea cantității de carbon, sulf și fosfor etc în măsura dorită;
- faza de dezoxidare cu scopul de a elimina oxizii formați.

Mersul oxidării este influențat de afinitatea chimică a componentelor, de legea maselor și de mărimea suprafeței de contact dintre componentele care intră în reacție. Afinitatea chimică își găsește expresia în cantitatea de căldură ce se dezvoltă la oxidare dată de cifrele următoare ce se referă la un gram moleculă:



Se observă că cea mai mare afinitate față de oxigen o are fosforul, iar cea mai mică carbonul. Legea maselor arată că iuțeala de reacție e proporțională cu concentrația elementului care intră în reacție. Din acest motiv, fierul se oxidează primul și astfel devine vehiculul oxigenului, sub formă de oxid feros (FeO) care apoi este redus în parte sau total de celelalte elemente prin reacții ca:
 $2\text{FeO} + \text{Si} = \text{SiO}_2 + 2\text{Fe}$. Oxizii ce rezultă: SiO_2 , MnO , CO , P_2O_5 , urmează să fie eliminați din baia lichidă. La oxidul de carbon lucrul e ușor fiind vorba de un gaz; în celelalte cazuri ne ajută diferențele în greutatea specifică în urma cărora oxizii se ridică la suprafața băii. Mult mai eficace este însă afinitatea chimică folosită în mod

judicioasă. Oxizii formați au caracter acid sau bazic; primului grup îi aparțin: dioxidul de siliciu și protoxidul de fosfor, iar grupului al doilea, oxidul fierului și al manganului. Aceasta este însă în funcție de natura și caracterul inveligului electrodului întrebuințat. Dacă topirea metalului de adăos se realizează cu ajutorul unui invelig bazic, care conține cea 40...50% oxid de calciu, atunci oxizii acizi se vor combina ușor cu inveligul. În același timp însă și mersul reacțiilor este influențat și anume se vor oxida mai repede elementele care furnizează oxizi de natură acidă ca siliciu, fosfor, apoi crom, molibden, vanadiu, celelalte elemente ca manganul fiind conservate într-o măsură mai mare [139, 140, 141].

Din punct de vedere al sudării cu arc electric manual, interesează și formarea suflurilor, Cauzele pot fi [150]:

- oxid de carbon provenit din reacția $\text{FeO} + \text{C} = \text{CO} + \text{Fe}$, acesta rămăs inclus la solidificare în metalul răpus în vederea realizării cusăturii sudate;
- hidrogen dizolvat în starea lichidă și acesta rămăs inclus în metal la solidificare;
- vapori de apă rezultați din reacția: $\text{FeO} + \text{H}_2 = \text{H}_2\text{O} + \text{Fe}$, în cazul sudării cu flacără oxiacetilenică.

Se remarcă că la oțelul care conține FeO, însă foarte puțin carbon (cazul oțelurilor termoresistente $\text{C}\% < 0,20$) baia topită are o solidificare compactă, ceea ce se explică prin lipsa reacției $\text{FeO} + \text{C}$.

Formarea suflurilor se poate evita adăugând în oțel sau în inveligul electrodului elemente ca: mangan, siliciu, aluminiu, titan etc, în care caz oxigenul se combină cu aceste elemente rezultând în final incluziuni nemetalice care în mare parte sînt eliainate prin agura formată [150, 154].

Fenomenele metalurgice ce se petrec la sudare nu diferă de acelea care au loc în timpul elaborării oțelului, decît în ceea ce privește

velumul băii topite. Astfel la sudarea oxiacetilenică, topirea se produce într-o atmosferă compusă din oxid de carbon și hidrogen foarte reducătoare la temperatura flăcării (3000...3250°C)

În cazul ideal, când flacăra nu conține alte elemente ca impurități în afară de gazele sus amintite, topirea oțelului se produce fără reacții care i-ar modifica compoziția; pot apărea însă sufluri dacă muchiile supuse topirii au fost oxidate, oxidul se dizolvă în baia lichidă contaminând-o.

În cazul când flacăra va avea un caracter carburant, oțelul își modifică conținutul în carbon, care introdus în astfel de condiții intră în reacție cu oxizii și în felul acesta se formează oxidul de carbon.

În cazul sudării oțelurilor cu conținut mic în carbon, cu scopul de a mări viteza de sudare, se practică, trecerea inițial pe suprafața muchiilor cu o flăcăre ușor carburantă și în consecință va crește supreficial conținutul în carbon, scade temperatura de topire și în timpul sudării carbonul difuzează către straturile interne și în final nu apare o modificare esențială a conținutului inițial a carbonului.

Un surplus de oxigen în flăcăre devine un neajuns pentru sudare, astfel flacăra având un caracter oxidant va duce la formarea de oxizi în special se va forma oxidul fosforos, baia metalică creată pentru sudare este predispusă oxidării fenomen ce se poate produce și în cazul când acetilena conține în exces vapori de apă [100, 147].

Dintre impuritățile acetilenei hidrogenul fosforos poate duce la ridicarea conținutului în fosfor al metalului supus sudării. [98, 99, 100].

În general la sudarea oțelurilor termorezistente, în cazul sudării cu flăcăre oxiacetilenică se modifică conținutul de fosfor în metalul după comparativ cu cel din metalul de bază. Pe măsură ce crește conținutul de hidrogen fosforat al acetilenei se mărește și

raportul între conținutul în fosfor al cusăturii (P') și al metalului de bază (P), așa cum se prezintă în figura 5.1.

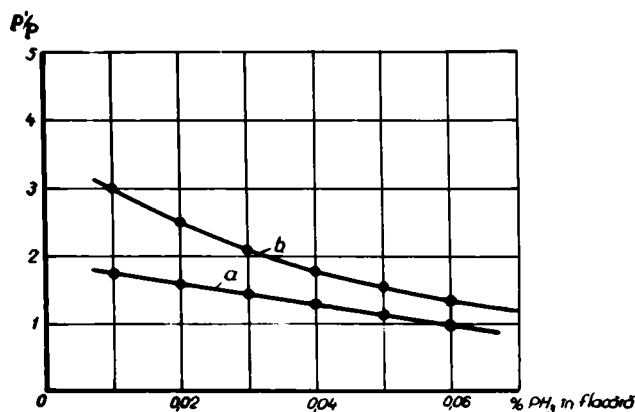


Fig.5.1.-Influența flăcării oxiacetilenice asupra conținutului în fosfor: a) acetilenă cu 0,4% PH_2 ; b) acetilenă cu 0,131% PH_2

În timpul sudării cu flăcără oxiacetilenică, baia topită este în contact cu atmosfera înconjurătoare și în consecință se absoarbe oxigen și azot care în final vor influența structura cusăturii.

Supă [96, 100, 101], conținutul minim de oxigen (O_2) este apreciat în unele situații la valoarea de 0,0507...0,050% și azotul (N_2) 0,0137...0,0209%, acestea chiar în cazul sudării foarte îngrijite cu flăcără oxiacetilenică.

5.1.2.-Fenomene metalurgice la sudarea cu arc electric a oțelurilor termorezistente

Este cunoscut că la sudarea cu arc electric manual a oțelurilor termorezistente cu conținut mic în carbon, există pericolul călirii la răcirea în aer și al formării de fisuri. Această situație este mai evidentă fiind oțelurile au un conținut mai mare în crom și carbon, [147, 149, 150].

Cercetările pentru teza de doctorat au fost făcute pe oțel 12X1M0 cu următoarea analiză chimică: 0,13% C; 0,32 Si; 0,63% Mn;

0,016%P; 0,012%S; 0,95%Cr; 0,86%Mo; 0,07%Ni; 0,19%V, urme de Cu.

Analizând diagrama la răcire anizotermică (CCT) a acestui oțel (figura 5.2) se observă că la viteze mici de răcire ($27^{\circ}\text{C}/\text{min}$, curba I^x) se obține o structură formată din ferită, carburi, bainită și o mică cantitate de martensită. Pentru a se evita apariția structurii bainitice și martensitice este necesar ca viteza de răcire să aibă valori sub $0,37^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (curba II), [147, 154].

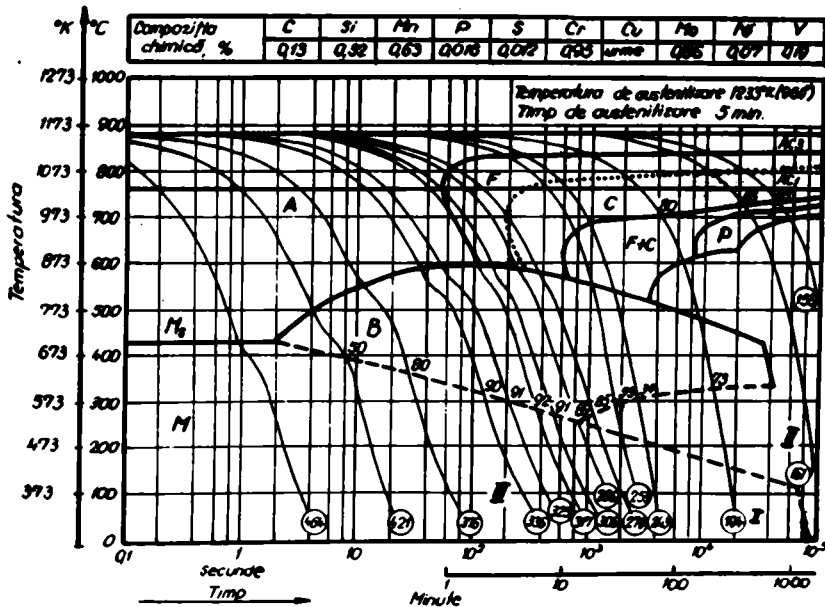


Fig.5.2.-diagrama anizotermă (CCT) a oțelului 12X1M

În cazul răcirii cu $27^{\circ}\text{C}/\text{min}$ se obține o duritate de 194 Hv10, iar în cazul răcirii cu $0,37^{\circ}\text{C}/\text{min}$ se obține o duritate de 161 Hv10.

Ca să nu apară tendința spre fisurare a cusăturii trebuie ca duritatea sub cordon să fie mai mică decât 350 Hv10.

Se obține această situație favorabilă dacă răcirile se fac cu viteze mai mici de $300^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ^x) când în structură apare bainită și martensită (curba III).

I^x) Aceste viteze de răcire au fost calculate pt.intervalul 800 și 500°C

Apare evident și din cele prezentate asupra diagramei CCT, că oțelurile studiate au tendința spre autocălire, situație care va trebui luată în considerare la stabilirea tehnologiei de sudare [57, 68].

5.2.-Transformări structurale în îmbinările sudate ale oțelurilor termorezistente

Sudarea țevilor din oțel termorezistent 12X1MA (GOST4543-67) s-a realizat folosind două variante tehnologice de sudare și anume:
-sudarea cusăturii în întregime cu arc electric manual;
-sudarea rădăcinii cusăturii cu arc electric în mediu de argon și
-sudarea restului cusăturii cu arc electric manual.

În cele ce urmează se vor analiza diferitele aspecte structurale ale îmbinărilor realizate prin procedeele menționate evidențiind calitatea acestora, [139, 140, 141].

5.2.1.-Modificări structurale în îmbinarea realizată cu arc electric manual folosind la sudare surse de c.c.

Cusătura s-a realizat prin mai multe rinduri succesiv depuse în rostul creat așa cum se prezintă în figura 5.3.

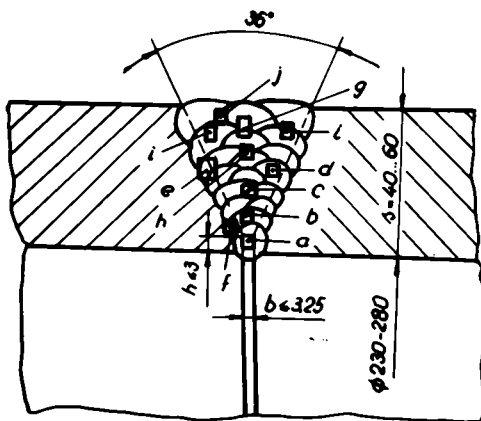
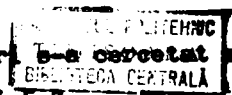


Fig.5.3.-Modul de depunere succesivă prin sudare a rindurilor și pozițiile a...j cercetate

În această cusătură pe diversele rinduri s-a cercetat microstructura în pozițiile a...j conform figurii 5.3.



Din aceste microfotografii se reproduc în planșa (I) câteva din zonele specifice așa cum s-a menționat. Analizând microstructurile cusăturii se desprind următoarele observații:

- metalul de bază are structură ferito-perlitică (Planșa I fig.I-1);
- în stratul de rădăcină structura este formată din cristale de ferită, perlită și ceva formații de sorbită. Granulația mai fină s-a realizat datorită normalizării ca urmare a depunerilor următoare (Planșa I, fig.I-1, zona superioară);
- evolutiv structura tinde spre ferită și perlită globulară în unele rînduri (Planșa I, fig.I-4);
- în ultimul rînd de intragire a cusăturii, structura devine ferito-perlitică cu granulație apropiată de a metalului de bază (Planșa I, fig.I-6).

Unele probe sudate în aceleași regimuri ca precedentul, au fost supuse tratamentului termic de revenire înaltă la 750°C , cu menținerea la această temperatură timp de 1 oră, urmată de o răcire cu viteza de 150°C/oră .

Macrostructura îmbinării este prezentată în Planșa II, fig. II-1 și se observă că:

- îmbinarea este perfectă, nu apar porozități, incluziuni nemetalice sau nepătrunderi în cusătură (sudură);
- microstructura (Planșa II, fig.II-2 a) este realizată în zona celui de al treilea rînd depus și este formată din ferită, sorbită cu granulație fină.

După aplicarea tratamentului termic de revenire înaltă, se produc transformări de fază și structura apare ferito-perlitică cu tendința de globulizare a cementitei (Planșa II, fig.II-2 b).

Din aceste observații rezultă că revenirea înaltă reface structura tinzînd să apară structuri de echilibru fapt care va duce la mărirea tenacității îmbinărilor prin sudare a oțelurilor cercetate

PLANA I

Microstructura sudurii oțelului 12X1M realizată cu arc electric manual cu surse de curent continuu

Starea netratată termic după sudare

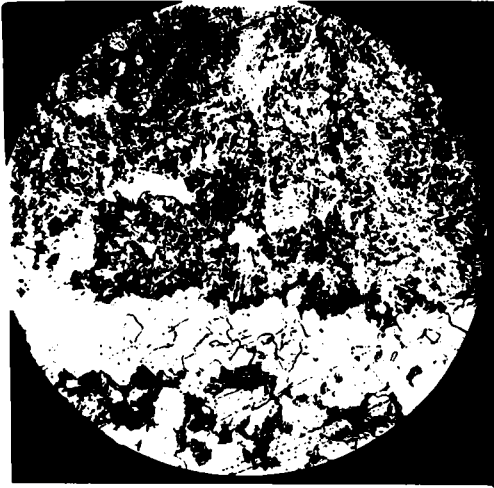


Fig.I-1.- : x72 , atac nital 4% Fig.I-2.- : x72 , atac nital 4%

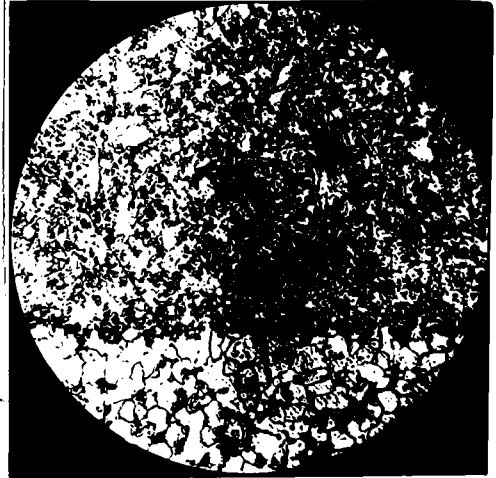
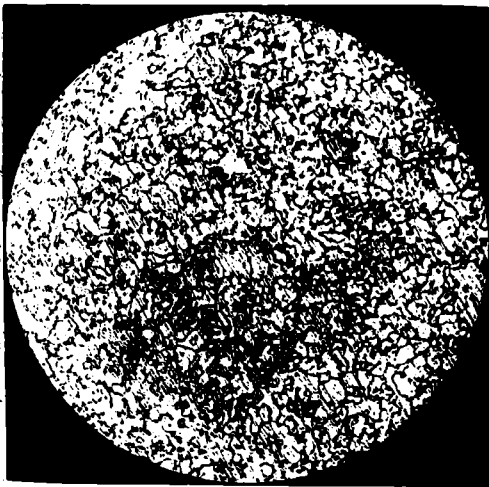


Fig.I.3.- : x520, atac nital 4% Fig.I-4.- : x320, atac nital 4%

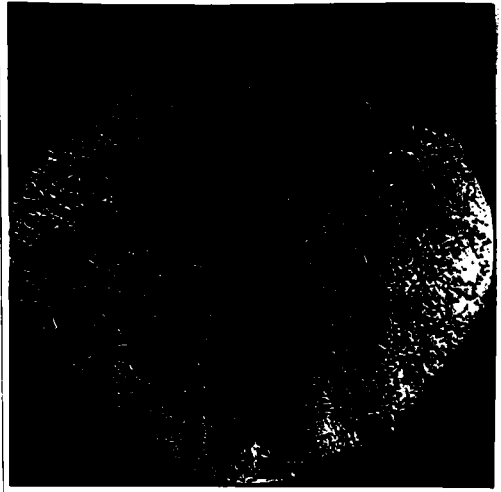
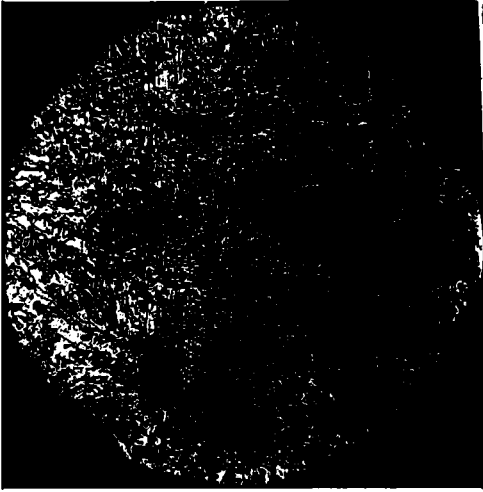


Fig.I-5.-K: x320, atac nital 4% Fig.I-6.-K: x320, atac nital 4%

P L A N S A I I

Macro și microstructura sudurii oțelului termorezistent 10X17M2
realizată cu arc electric manual în surse de curent continuu



Fig.II.1.-M:0 x1,5, atac reactiv Adler (in stare netratată termic)

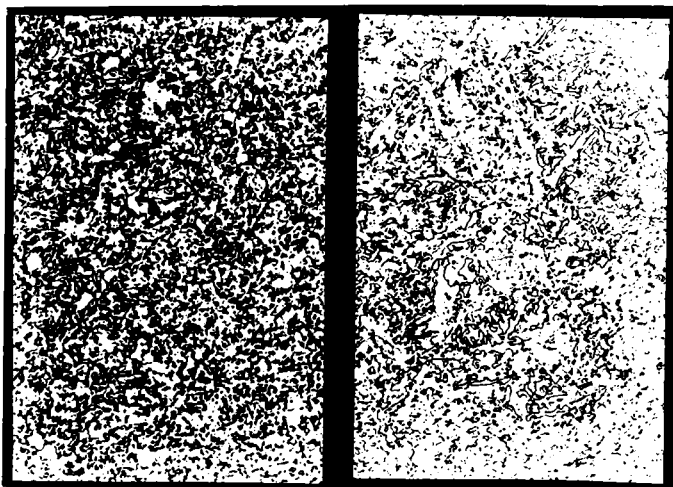


Fig.II-2.-M:0 x250, atac nital 2%: a) netratat termic
b) tratat termic 1h la 730°C cu răcire 150°C/h

5.2.2.-Modificări structurale în îmbinările realizate prin sudarea rădăcinii cusăturii cu arc electric în mediu de argon și sudarea rostului cusăturii cu arc electric manual

Realizarea cusăturii se poate observa din figura 5.4, referindu-ne la primul strat ce formează rădăcina sudurii.

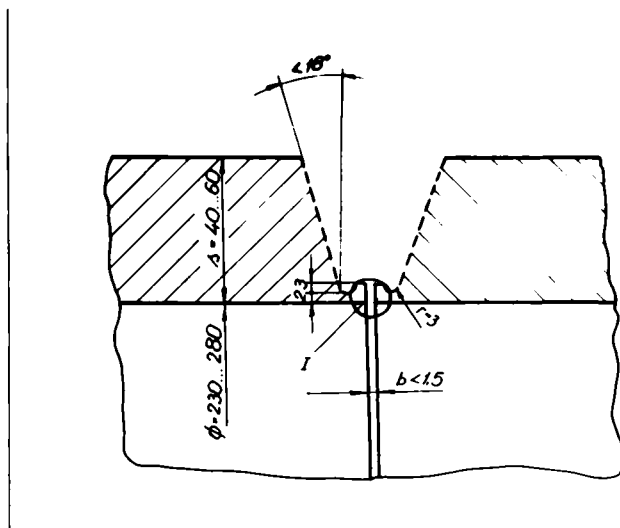


Fig.5.4.-Realizarea rădăcinii (I) sudurii cu arc electric în mediu de argon ($I_g = 165 \dots 170A$, $8 \dots 10$ l argon/min)

În interiorul conductei ce se îmbină conform noii tehnologii, se produce topirea umărului de sprijin în întregime, realizând în acest mod o cusătură de formă convexă destul de ordonată, aceasta în funcție de felul conducerii arcului pe direcția de sudare.

Experimental s-a demonstrat că prin acest procedeu de sudare combinat (arc-argon la stratul de rădăcină și sudarea în depuneri succesive cu arc obișnuit) se asigură continuitatea între cele două piese în mod perfect (fig.5.5.)

Caracterul nou al acestei metode constă în faptul că se pot elimina complet în astfel de lucrări inelele de sprijin ce susțin rădăcinile sudate care în multe situații dăunează întregului ansamblu.

Parametrii de sudare folosiți sînt indicați pentru stratul de rădăcină în tabela 5.1.-

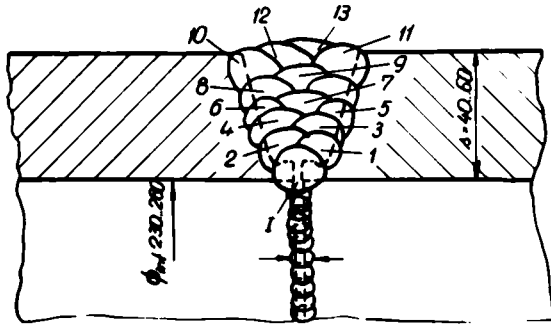


Fig.5.5.-Modul de realizare al sudurii combinate: I rădăcina cu arc-argon; 1...9-sudarea manuală cu electrod de 4 mm; 10...14-sudarea manuală cu electrod de 5 mm

TABLELA 5.1

Parametrii de sudare

Ø electrod cu Thoriu mm	Polaritate la clegte	Curentul de sudare în A	Debitul de argon la sudare în l/minut
5...5,2	(-)	160...170	8...12

Poziția port electrodului pentru sudarea stratului de rădăcină

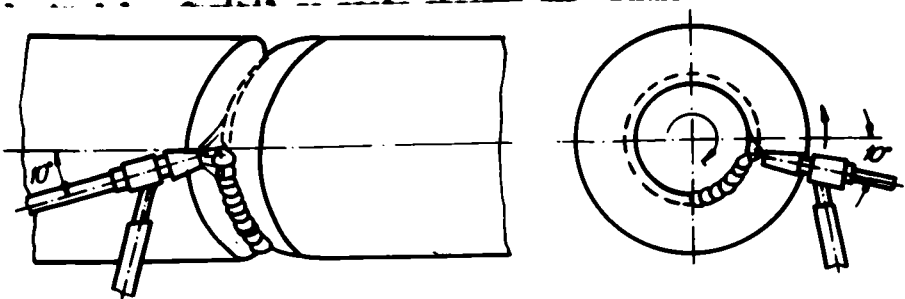


Fig.5.6.-Poziția portelectrodului pe direcția de sudare

in care se indică și inclinarea față de element pe direcția de sudare.

La sudare s-au folosit electrozi de Tungsten toriat pentru motivul că asigură în procesul de sudare o stabilitate mai mare a arcului. În general acești electrozi trebuie să aibă un diametru de 1,5.. ..3,2 mm ținându-se cont de grosimea peretelui conductei.

În procesul de sudare s-a folosit un arc scurt localizând rațional căldura. La sudarea rădăcinii nu s-a observat sufraj magnetic.

După completarea sudare a stratului de rădăcină cu arc electric în mediu de argon, s-a trecut la completarea secțiunii prin depunerea succesivă cu arc electric manual folosind același sort de electrozi ca și în cazul precedent păstrînd în execuție parametrii prescriși în funcție de diametrele de electrozi ce au fost utilizați.

Pentru buna reușită a îmbinării sudate s-au respectat următoarele detalii tehnologice:

- sudarea manuală cu electrozi s-a început imediat după încheierea sudurii de rădăcină executată cu arc electric în mediu de argon;
- nu s-au admis întreruperi de sudare, menținîndu-se pe toată durata sudurii o temperatură cuprinsă în intervalul 130...200°C;
- curentul de sudare a fost astfel ales că nu s-a depășit o densitate de curent mai mare de 12...16 A/mm², preferîndu-se la sudurile în poziții fixe (încornode) valoarea minimă (12A/mm²);
- s-a sudat cu electrod de $\varnothing 4$ și 5 mm, lucrînd cu un arc scurt de (0,8...1 x \varnothing_e) și polaritate inversă.

În tabela 5.2 se prezintă principalii parametri ai regimului de sudare.

S-au analizat de asemenea microstructurile în diversele suduri depuse conform (fig.5.5). Astfel în plangă III se reproduce o parte din microfotografiile executate pe aceste îmbinări în stare netratată termic

TABELA 5.2

Parametrii de sudare

Ø electrod mm	Current de sudare in A	Tensiunea arcului in V	lungimea arcului mm	lăţimea cu- săturii mm	Polaritate la cleştele port electrod
4	178-180	18-22	0,8-1xØ _e	3xØ _e	(+)
5	210-250	20-24	1-1,5xØ _e	3xØ _e	(-)

Prin analiza acestor microfotografii se observă:

- la rîndul de rădăcină, respectiv în stratul de rădăcină o structură ferito-perlitică obișnuită cu granulație fină (Plasa III, fig. III-1);
- în zona influențată termic (Plasa III, fig. III-2) se observă pe lângă ferită, perlită și formații de sorbită. Creșterea cristalelor este orientată pe frontul de solidificare, granulația este aproape dublă față de aceea a materialului de bază;
- în cusătură în ultimele rînduri de întregire apare structură perlito-feritică cu orientarea în șiruri a feritei și cu granulația destul de fină. Si la aceste probe aplicarea tratamentului termic de revenire înaltă la 730°C cu menținerea la această temperatură timp de 1 oră, urmată de o răcire cu viteza de 150°C/oră, reduce transformări structurale asemănătoare cu cele prezentate în paragraful 5.2.1.-

Prin cele prezentate rezultă că proprietățile mecanice σ_r , σ_c , δ_5 , KCV-10, au valori mult mai ridicate în cazul folosirii sudurii prin procedeul combinat și acest lucru este normal deoarece există o finisare mai mare a grăunților.

Pentru orientare în tabela 5.3 sînt prezentate caracteristicile mecanice obținute.

TABLEA 5.3

Caracteristici mecanice

Tipul probei Inercării	Inercări efectuate					Duritatea HB	OBS.
	σ_c kgf/mm ²	σ_r kgf/mm ²	δ_5 %	ψ %	KCU-10 mkgf/cm ²		
I-B ₀	54-56	64-65	21,8-22,6	65-66	15,9-16,1	128-130	Ruperile s-au produs în metalul de bază
I-B ₁	52-51	62-63	20-21,2	66-68	15,4-16,2	128-130	
I-B ₂	53-52	65-62	21,5-22	68-69	16,1-16,9	131-132	
II-B ₀	56-58	64-66	22-23,1	66-68	16-16,9	180-210	"-
II-B ₁	57-58,2	63-63	22-22,5	65-67	16-16,5	130-150	
II-B ₂	58-60	63-67	20,5-22	68-70	16,2-16,9	155-180	
III-B ₀	54-56	63-66	22-21,6	65-66	1,6-16,1	190-210	"-
III-B ₁	52-21,5	62-63	24-21,8	66-67	15,4-16,2	150-180	
III-B ₂	53-52,8	63-63,5	21,5-22	68-68,5	16,1-17	185-200	

PLAŢA III

Macrostructura sudurii oţelului termorezistent 12X1W realizată cu arc electric manual cu surse de curent continuu cu stratul de rădăcină în mediu de argon

Stare netratată termic după sudare

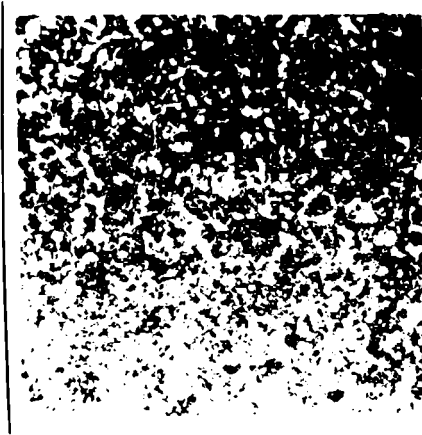


Fig.III-1.-M:0 x120 atac
nital 2%

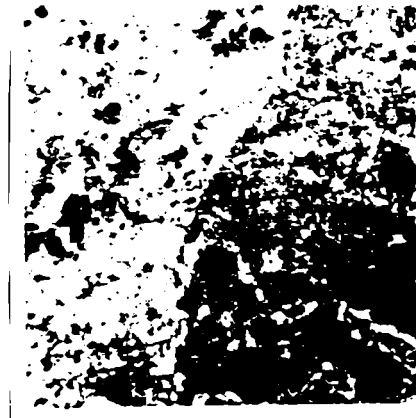


Fig.III-2.-M:0 x120 atac
nital 2%

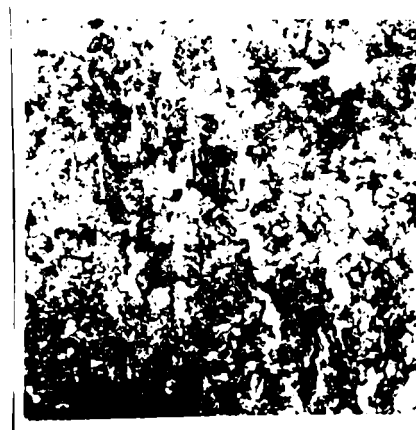


Fig.III-3.-M:0 x120 atac
nital 2%

5.3.-Influenta compozitiei chimice a electrodului asupra structurii metalului depus

S-au făcut încercări cu două sorturi de electrozi elaborați în cîte două variante fiecare așa cum s-a tratat în capitolul 4, dintre care două corturi sînt mai reprezentative și anume:

- ETR-550-B2 (CrMoV1B);
- ETR-550-R2 (CrMoV2B).

Cu aceste două sorturi de electrozi s-au făcut depuneri pe oțel cornier de 60x60x7 mm STAS 500-69, realizîndu-se epruvete de 60x60x7x350 mm.

Din acestea s-au prelevat probe pentru tracțiune, ale căror caracteristici mecanice au fost prezentate în capitolul 2 respectiv tabela 5.3.

Macrostructura materialului depus este prezentată în planșa IV, figura IV-1 pentru electrodul ETR-550-B₂ (CrMoV1B) și în aceeași planșă, figura 2 pentru sortul de electrozi ETR-550-R₂, din care rezultă o comportare bună la topire rezultînd în depunere o omogenizare ridicată a metalului.

Pe aceste epruvete în mai multe zone situate în axa depunerii s-au cercetat microstructurile ce s-au obținut.

În planșele V și VI se reproduc cîteva microfotografii caracteristice.

La rîndurile de bază (Planșa IV, fig.IV-2) apare o structură ferito-perlitică cu grăunți feritici alungiți și cu o granulație mare așa cum se observă în (Planșa V, fig.V-2).

Microstructura situată într-un rînd superior (Planșa IV, fig.IV-1) este formată din ferită, perlită cu granulație mai fină. Această granulație este normală deoarece s-a produs o normalizare prin depunerea succesivă de straturi din mai multe rînduri alăturate.

PLANSA IV

Macrostructura materialului depus prin sudare cu arc electric
manual cu surse de curent continuu



Fig.IV-1.-Sortul de electrozi STR-50-B₂
Atac reactiv adler



Fig.IV-2.-Sortul de electrozi STR 550-B₂

Microstructura materialului depus cu electrod ETR-55-B₂



Fig.V-1.-M:0 x120, atac Nital 2%

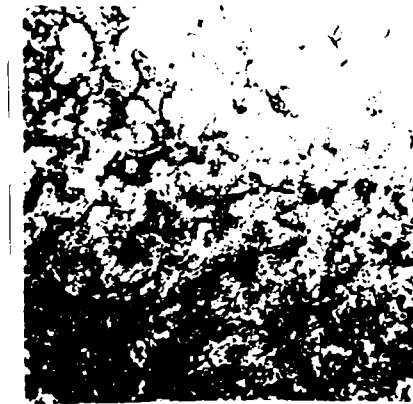


Fig.V-2.-M:0 x120, atac Nital 2%

PLANSĂ VI

Macrostructura metalului depus cu arc electric manual,
sortul de electrozi TR-55- H_2



Fig.VI-1.-M:0 xl20, atac nital 2>

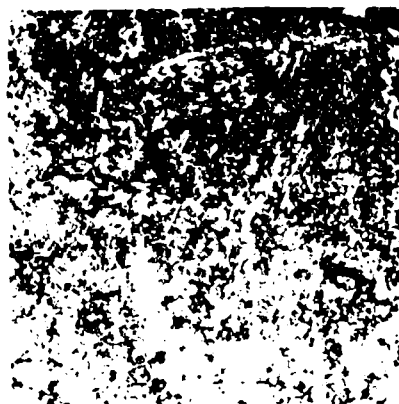


Fig.VI-2.-M:0 xl20, atac nital 2>

Microstructura în cele două zone cercetate prezintă caracteristici structurale similare cu cele descrise mai sus. Astfel (plasa VI, fig.VI-1), microstructura realizată pe un set de rinduri la bază (plasa IV, fig.IV-2) este ferito-perlitică cu granulație mare.

Microstructura realizată pe unul din rindurile superioare (plasa IV, fig.IV-3) este ferito-perlitică cu granulația fină.

În acest capitol s-au prezentat micro și macrofotografiile cele mai semnificative. O serie de alte micro și macro fotografii sînt prezentate în anexa 5.

În cadrul programului de lucrări s-au realizat în total cea 500 macro și microstructuri și grafii.

Din examinarea grafii realizate la îmbinările sudate din țevi după tehnologia și electrozii elaborați în cadrul tezei de doctorat, s-a constatat calitatea bună a acestor îmbinări, care se încadrează în clasa I-a de calitate după normele IECIR C4-66 C-20-72, STAS 2014-69, normele de supraveghere tehnice Cotosofin URSS și cele franceze APAVE. Nu se constată nici un fel de defecțiuni la îmbinările sudate cercetate (Anexa 5.1)

Plasele: 5-I (5.B13; 5.B24); 5-II (5.1; 5.2; 5.3; 5.4; 5.5; 5.6);
5-III (5.A8; 5.A15; 5.A18); 5-IV (5.7; 5.8; 5.9);
5-V (5.B5; 5.B14; 5.B25); 5-VI (5.10; 5.11; 5.12).

6.-CONSIDERAȚII FINALE ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

Studiile și cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat conduc la următoarele considerații finale și contribuții originale.

6.1.-Geometria rostului de sudare la îmbinările conductelor din oțel termorezistent cu pereți groși folosiți în construcții montaje echipamente termoelectrice, este funcție de grosimea peretelui conductei, de procedeul de sudare utilizat și de condițiile concrete de exploatare. Soluțiile pentru realizarea rostului de sudare, folosite până în prezent, utilizau inele de sprijin. Aceste inele conduc la consum majorat de manoperă și material și nu asigură întotdeauna o calitate corespunzătoare a îmbinării sudate.

Cercetările întreprinse în cadrul tezei de doctorat au condus la realizarea unui rost de sudare optim, care elimină inelele de sprijin la rădăcină și asigură totdeauna calități bune îmbinării sudate. De asemenea prin noul rost de sudare se micșorează unghiul de țesătură, reducându-se astfel cu oca 40% cantitatea de metal de adăos. Prin reducerea volumului sudurii se micșorează zona de influență termică și implicit tensiunile și deformațiile la sudare. În schimb caracteristicile mecanice ale îmbinărilor sudate se îmbunătățesc în mod substanțial (tabelele 3.2 și 3.31).

6.2.-Sudarea țevilor din oțeluri termorezistente necesită electrozi speciali care până în prezent au fost importați.

Pentru eliminarea importului acestor electrozi, autorul tezei de doctorat a efectuat ample cercetări pentru elaborarea lor. Cercetările s-au efectuat în colaborare cu uzina Industria Sirenei din Cimpia Turzii pe baza unor contracte de cercetare științifică încheiate între Institutul Politehnic Traian Vuia

din Timișoara, Facultatea de Mecanică, Catedra Utilajul și tehnologia sudării și uzina menționată.

6.2.1.-În prima fază (anii 1966-1968), pe baza rețetelor elaborate în cadrul lucrării s-a urmărit realizarea a două sorturi de electrozi care să satisfacă condițiile de exploatare a ansamblilor sudate pînă la 550°C cu presiunea de 100...130 at, din care un sort cu înveliș basic (EL TR550-B1) și altul cu înveliș rutilic (EL TR550-R1). Cele două sorturi de electrozi elaborate în prima fază au corespuns cerințelor de exploatare pentru echipamentele termoelectrice realizate din oțeluri termoresistente CrMo.

6.2.2.-În faza a doua (anii 1969-1972) a cercetărilor s-a urmărit elaborarea unor sorturi de electrozi care să corespundă cerințelor de exploatare a echipamentelor termoelectrice realizate cu oțeluri CrMoV și care să conducă la un conținut redus de hidrogen în metalul depus. Astfel au fost elaborate alte două sorturi de electrozi care corespund exploatarei pînă la temperaturi de $550...600^{\circ}\text{C}$ și presiuni de 150...200 at. Cele două sorturi de electrozi au fost realizate, unul cu înveliș basic (EL TR550...600B2) și altul cu înveliș rutilic (EL TR550...600R2).

6.2.3.-Cele patru sorturi de electrozi elaborate au fost asimilate în fabricație la Uzina Industria Firmei din Cîmpia Turzii cu materii prime din țară, exceptînd unele feroalaje (anexele 3.1; 3.2; 3.3) fără modificări de utilaje însă cu anumite îmbunătățiri ale tehnologiei de fabricație.

Experimentările efectuate în condiții de laborator, atelier și șantier au dovedit o bună comportare la sudare și o bună aderență față de metalul de bază eliminîndu-se defectele de sudare. Prin proprietățile lor electrozii elaborați sînt similari cu electrozii din import (NSAB-Suedia, ONREKON -Elveția,

BOHLER-Austria, ARCOS-Italia sau cei după GOST TL-20, TL-39-UNSS).

6.3.-După realizarea unui rost de sudare optim și a electrozilor corespunzători, s-a trecut la studiul și elaborarea unei tehnologii noi de sudare. Tehnologiile curente de sudare utilizau un singur procedeu (sudarea cu flacără oxiacetilenică în cazul țevilor cu pereți subțiri sau sudarea cu arc electric manual în cazul țevilor cu pereți mai groși) cu sau fără inel de sprijin la rădăcină. Cu aceste tehnologii calitatea îmbinărilor sudate nu prezenta siguranță deplină, atât datorită apariției unor defecțe cit și datorită reducerii secțiunii de rezistență a îmbinării sudate.

Prin tehnologia elaborată în cadrul acestei lucrări se combină procedeul de sudare cu arc electric în modiu de argon (MIG), la realizarea rădăcinii cusăturii cu procedeul de sudare electric manual obișnuit la realizarea în continuare a îmbinării sudate. Noua tehnologie conduce la o foarte bună calitate a rădăcinii sudurii eliminându-se toate defectele ce apăreau la procedeele obișnuite (surgeri de material, incluziuni, fisuri)

Tehnologia elaborată a fost aplicată cu ușurință în condiții de montaj echipamente termoelectrice. Rostul preconizat și tehnologia elaborată permit folosirea lor atât la sudarea îmbinărilor pregătite pentru montaj (cu posibilități de rotire a țevilor) cit și a îmbinărilor în procesul de montaj (poziții fixe a țevilor).

6.4.-Cercetarea calității îmbinărilor sudate a fost concretizată prin studii asupra transformărilor structurale și încercări mecanice.

6.4.1.Cercetarea transformărilor structurale în îmbinările sudate s-a urmărit în funcție de parametrii regimului de sudare cu cele patru sorturi de electrozi a căror rețete au fost elaborate în cadrul tezei de doctorat. Investigațiile efectuate pe cea 200

microfotografiile au arătat că prin fixarea corespunzătoare a parametrilor de sudare și folosirea electrozilor elaborați de autor, în zona influențată termic nu se produc transformări structurale esențiale. Atât în zona influențată termic cât și în cusătură se obține aceeași structură ferito-perlitică care este de fapt structura metalului de bază. Prin aplicarea unui tratament termic corespunzător înainte și după sudare, în zona influențată termic se obțin valori de duritate mai reduse (275...298 HB) chiar decât în metalul de bază (300...310 HB).

6.4.2.-Asupra caracteristicilor mecanice și în special asupra limitei tehnice de fluaj (anexa 2.3) o importanță deosebită o au tratamentele termice aplicate. Cele mai bune rezultate se obțin dacă elementele de sudat sînt preîncălzite la 300...350°C, temperatură care trebuie menținută pe toată durata procesului. După sudare este necesară aplicarea tratamentului termic de revenire înaltă la 730°C cu menținerea la această temperatură 1...2 ore și răcirea în aer liniștit, după împachetarea îmbinării cu materiale termoisolante corespunzătoare.

Tehnologia de sudare studiată și electrozii elaborați pentru realizarea de îmbinări sudate la țevi din oțeluri termorezistente 12X1MF (12X1MF) corespund pe deplin atât din punct de vedere al comportării la sudare cât și în ce privește caracteristicile mecanice ale cusăturilor sudate.

6.5.-Aplicarea acestei noi tehnologii la realizarea îmbinărilor sudate din țevi pentru termocentrale conduce la o eficiență economică însemnată care poate fi pusă în evidență luîndu-se în considerare eliminarea importului de electrozi speciali și economiile de materiale, energie și manoperă. La acestea trebuie adăugată și asigurarea unei mai bune fiabilități a îmbinărilor sudate, mărindu-se astfel siguranța în exploatare a unităților termoelectrice.

Economia anuală ce s-a realizat în ultimii 3-4 ani prin aplicarea cercetărilor, considerând o arie de aplicare de cea 12...15 cazane anual, este de cea 922.000 lei numai prin eliminarea inelului de sprijin la rădăcină, cusătura fiind realizată cu rostul nou și tehnologia elaborată. Fabricarea electrozilor elaborați în cadrul tezei de doctorat, în țară conduce la economii de cea 30 milioane lei valută prin eliminarea importului de electrozi. Totodată prin aplicarea cercetărilor cuprinse în cadrul lucrării de doctorat se estimează prelungirea duratei de funcționare cu cea 3...5 ani.

6.6.-Cercetările cuprinse în teza de doctorat au fost aplicate la CEM-Brasi, Craiova, Borzești, Pales-Constanța, Lucurești-Gud și Mintia-Deva.

Centralele termoelectrice sînt în exploatare de 2...4 ani, iar revisiile periodice și investigațiile efectuate referitor la calitatea îmbinărilor sudate atestă o bună comportare a acestora în exploatare.

Obiectivele termoenergetice de mai sus, evident vor fi supravegheate în continuare avînd în vedere că scăderea rezistenței la fluaj apare într-o perioadă de timp mai îndelungată.

6.7.-La stabilirea în perspectivă a oțelurilor pentru instalații și echipamente termoenergetice care urmează a fi fabricate la noua oțelărie în construcție de la Fîrgeviște și la elaborarea normativelor privind sudarea conductelor din oțeluri termorezistente se pot folosi rezultatele cercetărilor cuprinse în prezenta teză de doctorat.

Preocupările de viitor trebuie axate pe cercetările comparative a îmbinărilor sudate din țevi, din mai multe calități de oțeluri termorezistente, luînd în considerare în special condițiile specifice de funcționare a instalațiilor termoenergetice cu cărbuni inferiori pe care se urmează noile centrale mari termoelectrice din planul de dezvoltare RSR.

A.1.1

Date privind elementele de conducte termoenergetice executate din oțel sovietic de tipul 12X1MF (12X1MF) [121, 122]

Condițiile utilizării compoziția chimică și caracteristicile mecanice corespunzătoare oțelului sovietic 12X1MF(12X1MF) sînt indicate în tabelele A.1.1, A.1.2, respectiv A.1.3.

TABELA A.1.1.

Condițiile utilizării oțelului sovietic 12X1MF (12X1MF) în construcția de conducte termoenergetice

Presiunea aburului				Temperatura maximă de utilizare	
Temperatura		Presiunea		°C	°K
°C	°K	kgf/cm ²	daN/mm ²		
500	775	100	98,10	585	858
570	843	140	137, " "		
585	858	255	250,15		

După cum se poate constata din tabela A.1.2, oțelul se încadrează în grupa a 2-a a oțelurilor slab aliate CrMoV, oțeluri care sînt deosebit de sensibile la modificările survenite din diferite cauze ale regimului de tratament termic și care, deci necesită o precizie respectare a tratamentului termic.

TABELA A.1.2

Compoziția chimică a oțelului sovietic 12X1MF (12X1MF) (conform GOST 10500-63 și IERU 14-4-21-67)

Elemente	%	Abatere admisibilă în %	Elemente	%	Abatere admisibilă în %
Carbon (C)	0,08-0,15	± 0,01	Vanadiu(V)	0,15-0,30	± 0,02
Siliciu(Si)	0,17-0,37	± 0,03	Nichel(Ni)	max 0,25	± 0,02
Mangan(Mn)	0,40-0,70	± 0,02	Cupru(Cu)	max 0,20	± 0,02
Crom (Cr)	0,90-1,20	± 0,05 ^{x)} ± 0,10 ^{xx)}	Sulf (S)	max 0,025	± 0,02
Molibden(Mo)	0,25-0,35	± 0,20	Fosfor(P)	max 0,025	± 0,02

x) Pentru Cr < 1,00%; xx) Pentru Cr = 1,00...5,00%

In tabela 3.3, se prezintă caracteristicile mecanice (de scurtă durată) ale oțelului sovietic 12X1M0 (12X1MF) conform (GOSTU 670-65 și MRTU 14-4-25.671)

TABELA 3.3

Caracteristicile mecanice (de scurtă durată) ale oțelului sovietic 12X1M0 (12X1MF) (conform GOSTU 670-65 și MRTU 14-4-21-67)

Caracteristici mecanice la +20°C	Epruvete	
	longitudinale	Transversale
σ_{R} în $\text{kgf/mm}^2 \approx \text{daN/mm}^2$	45 (48) ^x	45
$\sigma_{0,2}$ în $\text{kgf/mm}^2 \approx \text{daN/mm}^2$	26 (26) ^x	26
δ_5 , în %	21 (21) ^x	19
ψ , în %	55 (55) ^x	50
KCU în $\text{mkgf/cm}^2 \approx \text{daJ/cm}^2$	6 (10) ^x	5

^x) datele sînt după GOST 10500-63

1.1.1.-Pentru sporirea rezistenței la fluaj, oțelurile slab aliate de tipul celui prezentat (cu rezistență mecanică mărită prin tratament termic) se aliază cu vanadiu, care leagă carbonul și eliberează astfel molibdenul din faza carburi, facilitînd în acest mod, trecerea acestuia din urmă în soluția solidă.

Cea mai mare rezistență la fluaj se obține atunci cînd conținutul de carbon și vanadiu în oțel satisface corelația stoichiometrică,

$$\text{acel: } \frac{V}{C} = \frac{4}{1}$$

deoarece în aceste condiții, cromul și molibdenul, elemente de bază în conținut se găsesc în stare de soluție solidă cu fierul, faza de carburi fiind constituită practic numai din carbura de vanadiu (VC).

Pentru $\frac{V}{C} \neq 4$ rezistența la fluaj a oțelului prezentat scade.

Rezistența la fluaj a oțelurilor CrMoV scade de asemenea, în urma coagulării fazei de carburi în procesul tratamentului termic sau al exploatării îndelungate sub sarcină.

În legătură cu compoziția chimică a oțelului 12X1M0 (12H1MF) trebuie remarcat că raportul $\frac{V}{C}$ ($\approx \frac{2}{1}$) este departe de valoarea sa optimă ($\frac{4}{1}$). Pentru valorile date ale conținutului de carbon în oțelul respectiv (tabela A.1.8) se impune dublarea în mod practic a conținutului de vanadiu prescrie în prezent. În aceste condiții se va putea realiza o substanțială îmbunătățire a rezistenței la fluaj a oțelului CrMoV de care s-a ocupat autorul în lucrarea de față.

1.1.2.-Oțelul 12X1M0 (12H1MF) este un oțel slab aliat, economic, ieftin ca preț de cost, cu bune proprietăți tehnologice.

În procesul exploatării sale în lungate sub sarcină la temperaturi ridicate s-a constatat înă că acest oțel, ca și alte oțeluri CrMoV, prezintă o serie de caracteristici noi, neobservate la oțelurile de tipul CrMo cunoscute și anume:

- reziliența la +20°C a elementelor de dimensiuni mari executate din oțel slab aliat cu vanadiu, este scăzută și neuniformă ca valoare;
- caracteristicile mecanice ale elementelor respective sînt determinant influențate de regimul tratamentului termic etc.

1.1.3.-Valorile înalte ale caracteristicilor mecanice de lungă durată (fluaj) ale oțelului 12H1MF (12X1M0) pentru valori suficient de ridicate ale caracteristicilor sale mecanice de scurtă durată, se obțin după încălzirea la 960...980°C, respectiv la 1233...1253°K, răciră la această temperatură cu viteză de minimum 250...300°C/minut și revenirea la 730...750°C, respectiv 1.03...1.23°K.

În cazul tratamentelor termice care comportă răciră în aer, structura oțelului 12X1M0 (12H1MF) constă din ferită și perlită preponderent și dintr-o cantitate redusă de constituent intermediar (bainită).

1.1.4.-După unele opinii, o sensibilă creștere a rezistenței la fluaj a oțelurilor slab aliate cu CrMoV poate fi realizată în urma unei preîntinderi de 10%. Practic s-a constatat că peruvetele din oțelul 12X1M0 (12H1MF) prelevate din porțiuni tubulare curbe cu o deformație prealabilă de întindere de 10%, au avut o rezistență de durată $\sigma_{100.000}^{580}$ cu 18...25% mai mare decât cea corespunzătoare elementelor tubulare nedeformate în prealabil. Acest rezultat a determinat pe unii cercetători [76, 77, 78, 79, 80], să aprecieze că, pentru oțelul 12H1MF (12X1M0) printr-o deformare plastică la rece pînă la 15%, se poate realiza o sporire a rezistenței de durată în condițiile menținerii, la un nivel corespunzător de ridicat, a caracteristicilor de deformabilitate.

Se poate aprecia însă că rezultatele menționate nu sînt suficiente pentru a se renunța definitiv la revenirea după curbarea la rece a elementelor tubulare ce fac parte din ansamble termoelectrice deoarece ele au fost evidențiate în cadrul unor lucrări și experimentări efectuate pe oțeluri caracterizate prin valori mari ale caracteristicilor plastice și rezilienței.

1.1.5.-În general, pentru oțelurile termorezistente din clasă 12X1M0 (12H1MF) este stînată realizării elementelor prin sudare ce funcționează sub sarcină cu acțiune de lungă durată la temperaturi ridicate nu se observă (de regulă) o acțiune directă între caracteristicile mecanice de scurtă durată (σ_c, σ_r , etc) și cele de lungă durată (σ_d , etc). Nu sînt rare cazurile cînd oțelurile cu valori ridicate σ_r și σ_c au valori reduse σ_d și invers.

Cunoașterea valorilor caracteristicilor mecanice de scurtă durată la temperatura standard normală (+20°C) și la temperaturi ridicate este necesară însă în toate cazurile, deoarece prin intermediul lor se poate aprecia concludent calitatea oțelurilor și proprietăților lor tehnologice.

Rezistența de durată a cusăturilor sudate ale țevilor executate din oțel 12X1MF(12X1M6) este $\sigma_{100000}^{580} = 5,0 \text{ mkgf/cm}^2 = 4,905 \text{ daN/mm}^2$.

față de $\sigma_{100000}^{585} = 7,5 \text{ mkgf/cm}^2 = 7,358 \text{ daN/mm}^2$ corespunzătoare metalului de bază. Rezultă deci o valoare scăzută a coeficientului de rezistență al cusăturilor sudate;

$$\varphi = \frac{5,0}{7,5} = \frac{4,905}{7,358} = 0,67 \ll 1,00$$

care este datorită nu numai acțiunii defavorabile a ciclului termic al sudării, ci datorită și influenței negative a celei de a doua reveniri (după sudare) asupra metalului de bază din zona cusăturii sudate.

1.1.6.-In zona de trecere, respectiv zona influențată termic în cazul elementelor de construcții din oțeluri termorezistente 12X1M6 (12X1MF) aliate cu CrMoV se observă dese cazuri de formare a fisurilor și de distrugere fragilă.

În mod direct, fisurile respective sînt descoperite după aplicarea tratamentului de revenire asupra sudurilor efectuate, evidențierea lor făcîndu-se prin control nedistructiv. S-a constatat că astfel de fisuri se amorsează (evolutiv) în imediata vecinătate a concentratorilor superficiali de eforturi, în zonele intersecțiilor geometrice sau cu defecte de sudare (spații cu virfuri ale sudurilor de colț, nepătrunderi din execuție etc) și de asemenea, în zonele cu defecte de turnare (pori, incluziuni, gaze etc) care se găsesc în imediata apropiere a cusăturilor sudate. De cele mai multe ori fisurile respective se dezvoltă quasi-paralel cu linia de fuziune, distrugerea avînd caracter intercristalin.

Adîncimea fisurilor este relativ mică și, de obicei, nu depășește conform măsurătorilor efectuate, 5...10 mm.

În procesul de exploatare cu regim de lungă durată în condiții de fluaj, dimensiunile fisurilor pot crește înțitor ca rezultat al extinderii lor multidirecționale.

Se cunosc de asemenea cazuri practice cînd pe parcursul exploatării de durată, atît în metalul de bază cît și în cusăturile sudate, a fost observată formarea de fisuri noi. Din cauza acestui considerent partea de cercetare întreprinde necesitatea unor măsuri pentru a preveni sau evita aceste neajunsuri.

A N E X A 2.1

Date privind execuția și comportarea în exploatare a elementelor tubulare din oțel 12X1MF (12X1M6) ale conductelor termosensibile [122, 123, 124]

2.1.1.-În URSS, uzina furnizoare, respectiv producătoare este obligată să garanteze un anumit și determinat nivel al rezistenței de durată σ_d^t pentru metalul de bază 12X1M6 (12X1MF) al țevilor, cu toate că în uzina furnizoare, nu se efectuează încercări de rezistență de durată. Acest nivel garantat al caracteristicilor de fluaj se presupune că trebuie să fie asigurat prin stabilitatea procesului metalurgic de fabricare al țevilor și prin precizia respectării regimurilor de tratament termic.

Garantiile privind nivelul limitei tehnice de fluaj σ_f^t nu sînt prevăzute prin condițiile tehnice sovietice (MRTU 14-4-21-67).

Se precizează de asemenea că, majoritatea firmelor fabricante de țevi din țările occidentale garantează, de asemenea un anumit și determinat nivel pentru limita tehnică de fluaj $\sigma_f^t = \sigma_{1/100000}^t$, care, de cele mai multe ori se ia egală cu cea 60% din valoarea corespunzătoare σ_d^t .

Unii autori sovietici [4, 6, 7, 8, 9] consideră că asemenea garanții suplimentare ar fi rațional să fie introduse și pentru uzinele sovietice fabricante de țevi din oțeluri termorezistente amintite.

2.1.2.-În literatura de specialitate [83, 84, 85] se arată că pentru oțelul 12X1M6 (12X1MF), cele mai ridicate valori ale rezistenței de durată corespund tratamentului termic constînd din călire prin apă în ulei de la 960...980°C=1255...1255K° și revenirea la 750...750°C=1025...1025K timp de minimum 5h.

2.1.3.-Practica a dovedit că regimul de tratament termic recomandat (călire+revenire) nu a fost și nu este respectat de către uzinele fabricante sovietice, din care motiv, după structura lor în stare de livrare, țevile respective (din oțel 12X1M6, 12H1MF) se împart în următoarele două categorii:

- țevi cu structura optimă recomandată, structură obținută în urma respectării regimului de tratament termic prescris prin condițiile tehnice sovietice;
- țevi de structură nerecomandată, obținută probabil prin aplicarea unui tratament termic fie după regimul de recăzere, fie după regimul unei normalizări de la $800...850^{\circ}\text{C}=1073...1103^{\circ}\text{K}$, urmată această normalizare de o revenire. În urma acestui tratament termic este de așteptat ca, în procesul funcționării de durată sub sarcină, viteza de fluaj a țevilor din această a doua categorie să fie considerabil mai mare.

2.1.4.-Lucrările practice și experiența sovietică a demonstrat că țevile din oțel 12X1M6 (12H1MF) care, în starea lor inițială, au caracteristicile mecanice și structură corespunzătoare, sînt suficient de sigure în exploatare. Excepție de la această concluzie fac numai țevile cu reziliență scăzută și cele pentru care revenirea s-a făcut la $800...850^{\circ}\text{C}=1073...1103^{\circ}\text{K}$. De altfel aceste țevi, pentru care reziliența a fost de $25...30 \text{ mkgf/cm}^2=24,525...29,430 \text{ daN/cm}^2$, au prezentat mari viteze de fluaj, din care motiv, într-o întreagă serie de cazuri a fost necesară înlocuirea lor.

2.1.5.-Urmărirea sistematică (cu o periodicitate de 15.000...25.000 h) a caracteristicilor mecanice ale țevilor din oțelul 12X1M6 (12H1MF) în procesul exploatării de-a lungul a cea 10 ani, în condițiile $t=500, 545$ și 570°C , respectiv $T=773, 818$ și 843°K și pentru $\sigma=4,4, 5,0, 5,6$ și $7,4 \text{ kgf/mm}^2$ respectiv $\sigma=4,32, 4,91, 5,49$ și $7,26 \text{ daN/mm}^2$ a arătat că, pe parcursul unei așă de

Indelungate exploatării sub sarcină, caracteristicile mecanice de scurtă durată se modifică neînsemnat numai în cazurile când, în starea lor inițială (corespunzătoare livrării), țevile respective au avut o structură recomandată (ferită-bainită de revenire mai mult de 15%). Cel mai intens fluaj a fost caracteristic țevelor din oțel 12X1M0 (12H1MF) cu structură nerecomandată (ferită+carburi sau ferită+bainită sub 15%), însă și pentru acesta mărimea totală a deformației rezanente de fluaj în general nu a depășit 0,65%.

2.1.6.-În cazul cotelor executate din oțel termorezistent 12X1M0 (12H1MF) grafitizarea nu este periculoasă, însă utilizarea în acest scop a țevelor drepte cu valori de reziliență la limita inferioară a prevederilor condițiilor tehnice sovietice se poate solda cu obținerea, în porțiunea curbată a unor valori ale caracteristicilor mecanice de plasticitate și ale rezilienței care să fie inferioară celor necesare.

2.1.7.-Pentru a nu fi confundate cu țevile executate din alte oțeluri, uzinele furnizoare sovietice marchează țevile executate din oțelul 12X1M0 (12H1MF) prin culoarea convențională roșu,

A N E X A 2.2

Date privind controlul comportării în exploatare a elementelor tubulare din oțelul 12X1MF (12X1M6) ale conductelor termoelectrice

2.2.1.-Controlul stării inițiale a metalului de bază și a cusăturilor sudate se face de către uzina furnizoare, însă, așa cum a dovedit-o experiența practică, aceasta este sau insuficient sau neconcludent. Iată de ce, la montaj este necesar să se efectueze un minuțios control suplimentar de către laboratoarele specializate ale centralelor electrice și de către alți factori interesați. Evident misiunea principală a acestui din urmă control este în primul rând, să se verifice, prin diferite metode și cu diferite mijloace, coerența calității metalului de bază și a cusăturilor sudate ale elementelor livrate cu cea impusă prin condițiile tehnice (sovietice).

2.2.2.-Într-adevăr, deocamdată, atât în URSS, cât și în alte țări încă nu s-a luat o hotărâre fermă privind admisibilitatea utilizării țevilor de tipul 12X1M6 (12X1MF) cu reziliență scăzută, urmează să fie, în continuare, respectați cu rigurozitate prevederile condițiilor tehnice în vigoare. Țevile necorespunzătoare trebuie să fie identificate înainte de executarea lucrărilor de adare în ansamblul conductelor termoelectrice. Se pot cita multe cazuri fiind cercetarea metalului tubulaturii s-a încheiat abia după terminarea montajului conductelor termoelectrice, ceea ce s-a soldat cu pagube însemnate datorită înlocuirii țevilor (noi) cu reziliență necorespunzătoare (joasă).

2.2.3.-La fel de importantă este cercetarea (în particular prin procedee nedistructive de control, control metalografic) a stării inițiale a metalului de bază (la oțelul termoprezistent 12X1M6, 12X1MF în speță, în vederea identificării tuturor țevilor cu structură nerecomandată și a organizării unei severe supravegheri a aceo-

toră din urmă în procesul exploatării îndelungate.

Supravegherea tehnică a conductelor termoelectrice și controlul stării metalului acestora pe parcursul exploatării se efectuează în conformitate cu prevederile instrucțiunilor și prescripțiilor tehnice în vigoare.

Se apreciază însă că, de la caz la caz, necesitățile practice reclamă adeseori atât extinderea volumului controalelor impuse prin instrucțiuni, cât și introducerea unor modificări în metoda efectuării controalelor respective.

2.2.4.-Prevenirea distrugerii prin fluaj a elementelor tubulare se face, de cele mai multe ori, prin măsurarea variației în timp a diametrului lor. În ultimii ani, au fost propuse procedee noi pentru controlul fluajului conductelor termoelectrice, bazate pe măsurarea directă (prin intermediul unei benzi termostabile) a variației în timp a lungimii circumferinței țevilor.

2.2.5.-Deoarece, într-o serie de cazuri practice, în parocia montajului unor grupuri energetice s-au depistat numeroase țevi cu structură necorespunzătoare din punct de vedere al fluajului, dar corespunzătoare din punct de vedere al caracteristicilor lor mecanice de scurtă durată (din care motiv țevile în cauză nu s-au putut reabuta). Se consideră că în prezent este necesar să se renunțe la controlul fluajului cu ajutorul șabloanelor și să se treacă la utilizarea în acest scop a dispozitivelor micrometrice.

2.2.6.-Este necesar de asemenea, ca măsurarea deformațiilor remanente de fluaj să fie extinsă asupra elementelor tubulare curbate (coturi, țevi etc) întrucât în cazul acestora, adeseori au fost constatate structuri nefavorabile și deci nerecomandate ale metalului folosit.

2.2.7.-In cazul general al conductelor termoelectrice, deformația remanentă de fluaj limită admisibilă ϵ_{rfo} se consideră egală cu 1%. In decursul ultimilor ani (1971-72) s-au propus pe baza unor cercetări ca pentru elementele tubulare executate din anumite oțeluri, deformația specifică ϵ_{rfo} să fie mărită la peste 1%.

Luind in considerare experiența exploatării îndelungate sub sarcină a țevilor din oțel termorezistent 12X1MF, 12X1MF care este însă limitată, se consideră deci că oricare modificare a prevederilor instrucțiunilor in vigoare privind valoarea maximă ϵ_{rfo} este prematură și poate deveni riscantă.

2.2.8.-In cazul țevilor din oțel termorezistent 12X1MF, 12X1MF necorespunzător tratat termic, fluajul accelerat (stadiul III in curba tipică de fluaj) a fost observat practic chiar după primele 20.000...30.000 h de exploatare. Iată de ce atunci cind se impune apare ca fiind rațională nu numai efectuarea sistematică a controlului la fluaj ci chiar reducerea față de prevederile instrucțiunilor oficiale in vigoare a perioadelor dintre controale (măsurările) succesive.

2.2.9.-Tronsoanele de control își pierd in considerabilă măsură importanța, atunci cind marea parte a țevilor de conductă se caracterizează printr-o structură inițială necorespunzătoare (nerecomandată). In asemenea cazuri, cel mai indicat este să se renunțe la practicarea tronsoanelor de control și să se procedeze sistematic la analiza 100% metalografică (carburi) a țevilor, combinată cu măsurarea și nu verificarea cu șablonul a deformațiilor lor remanente de fluaj.

2.2.10.-Conform instrucțiunilor tehnice oficiale in vigoare, cusăturile sudate ale conductelor termoelectrice cu elemente tubulare executate din oțeluri perlitice se vor verifica și controla ultrasonic la fiecare cinci ani. In cazul unei alegeri corecte a mate



terialului țevilor și a electrozilor folosiți ca metal de adăos pentru îmbinări sudate, precum și ale efectuării la timp a tratamentelor termice corespunzătoare și de calitate, această din urmă perioadă poate fi mărită la mai mult de cinci ani. Pentru cazurile din centralele electrotermice, însă, când condițiile menționate nu au fost îndeplinite sau când au fost folosiți electrozi de tip ТТ-27 (URSS) se consideră rațional ca perioada dintre două controale ultrasonice succesive să fie redusă numai la 1...2 ani. În ansamblu evident, cel mai rațional este controlul nedistructiv succesiv anual pe baza rezultatului căruia se adoptă cea mai corespunzătoare hotărîre privind volumul și termenul următorului control.

2.2.11.-În ultimii ani, numeroși cercetători consideră și demonstrează că prin încercarea de duritate de durată la cald, poate fi apreciată suficient de corespunzător valoarea limitativă a rezistenței tehnice de durată. Trebuie menționat însă că acest punct de vedere are un sens bine determinat, el putînd fi considerat corect și deci aplicabil numai pînă în momentul cînd în metal începe acumularea deteriorărilor prin fluaj.

Intrucît hotărîrile de cea mai mare răspundere privind prelungirea duratei efective de serviciu a conductelor termoelectrice dincolo de durata de serviciu de calcul, se referă, de regulă, la cazurile cînd în metal a fost deja posibilă inițierea și dezvoltarea unor deteriorări prin fluaj, rezultă că aprecierea rezistenței de durată după valorile HB_d^t în asemenea cazuri nu poate fi recomandată decît numai informativ.

Rezultate privind comportarea sub sarcină în condiții de fluaj
a elementelor tubulare executate din oțel termorezistent
12X1MF (12X1MF)

2.3.1.-Cercetările efectuate [63, 74] au furnizat pentru literatura tehnică de specialitate rezultate pe baza cărora se poate conchide că țevile de fabricație industrială în discuție, executate din oțel 12X1MF (12X1MF), sînt pe deplin corespunzătoare din punct de vedere al caracteristicilor mecanice și al caracteristicilor de deformabilitate.

2.3.2.-Cercetările efectuate [163, 164, 165] și cercetări proprii în cadrul catedrelor Utilajul și tehnologia sudurii și Rezistența materialelor, în perioada anilor 1968-1972, au demonstrat că între starea structurii, intensitatea (densitatea) dislocării și caracteristicile de fluaj (caracteristicile mecanice de lungă durată) corespunzătoare oțelului 12X1MF(12X1MF) după diferite durate de serviciu se observă o suficient de clară legătură reciprocă.

Se precizează, încă, că numai intensitatea (densitatea) dislocării, considerată separat, nu poate constitui un criteriu determinat singular în aprecierea și deci stabilirea corectă din punct de vedere al rezistenței la fluaj a rezistenței de capacitate a oțelului 12X1MF(12X1MF).

2.3.3.-Concluziile principale ale cercetărilor și investigațiile în decursul acestor ani, avînd la bază contractele de cercetare științifică legate de producție, cu Energomontaj, încă din anul 1969, sînt următoarele:

-în decursul exploatării sub sarcină în condiții de fluaj a oțelului 12X1MF (12X1MF) are loc o migrare a elementelor de aliere din soluția solidă în carburi, cu creșterea duratei de serviciu, conținutul de molibden în carburi crește monoton, iar conținutul de crom și vanadiu crește numai la începutul intervalului pînă la

- atingerea unui anumit maxim, după care scade sensibil;
- scăderea în procesul exploataării îndelungate a rezistenței mecanice a metalului de bază (oțel 12X1M0 -12H1MF-) se datorează, în principal, sărăcirii soluției solide în molibden, dizolvării carburilor de vanadiu (în stadiul de îmbătrânire depășind 1700h) și de asemenea, inserării și coagulării fazelor secundare;
- pentru a asigura fiabilitatea conductelor termoenergetice executate din oțelul termorezistent 12X1M0 cu structură necorespunzătoare, este necesar să se acorde o mare atenție corectitudinii efectuării controalelor (măsurătorilor) periodice de fluaș și de asemenea, calculului privind precizarea deformațiilor rămase de fluaș și vitezelor corespunzătoare de fluaș;
- pentru sporirea caracteristicilor mecanice de lungă durată ale oțelului 12X1M0(12H1MF) se apreciază ca fiind rațional și necesară o nouă revedere a problemei celei mai corespunzătoare temperaturi de revenire pentru tubulatura conductelor termoenergetice.

2.3.4.-Concluziile principale ale cercetărilor efectuate în anii 1969-1972 sînt următoarele:

- după caracteristicile lor mecanice de scurtă durată, țevile de conducte termoenergetice, executate din oțelul termorezistent 12X1M0(12H1MF) care au funcționat timp de 24.000...62.000 h la temperaturi cuprinse în intervalul 510...570°C=783...845°K și la presiuni de 100...140 kgf/cm²=98,1...137,3 daN/cm², corespund prevederilor condițiilor tehnice specifice, cu excepția aceluia care au valori ale rezilienței KCU nepermise de scăzute;
- rezistența de durată $\sigma_{100.000}^t$ a țevilor executate din oțelul 12X1M0 (12H1MF) cu structură (feritică) nerecomandată, care au funcționat un timp determinat sub sarcină la temperaturi ridicate, este inferioară cu 30...40% față de cea impusă prin condițiile

tehnice specifice, țevile respective prezentând, în condițiile date, un fluaj accentuat;

-rezistența de durată $\sigma_{100.000}^t$ pentru celelalte țevi, după 24.000...60.000 h de exploatare la temperatura de 510°C și 540°C respectiv 783 și 813°K, corespunde caracteristicilor de calcul recomandate;

-între rezistența de durată σ_d^t și duritatea de durată la cald HB_d^t există o anumită dependență reciprocă, pe baza căreia se poate aprecia (pentru informare) rapid și simplu, rezerva de capacitate portantă din punct de vedere al fluajului în cazul oțelului 12X1M⁰ (12H1MF);

-controlul fluajului țevelor de conducte termoenergetice, executate din oțel 12X1M⁰ (12H1MF) cu structură nerecomandată cu duritatea HB < 191 kgf/mm²=128,5 daN/mm²; sau cu rezistența de durată σ_d^t scăzută (pentru care corespunde HB₁₀₀₀₀₀^t < 40 kgf/mm²=29,24 daN/mm², se impune să se efectueze anual.

Aceleași concluzii au fost redăte în literatura tehnică de specialitate [79, 80, 109] ceea ce rezultă că investigațiile proprii folosind îmbinări sudate cu electrozi de fabricație indigenă răspund cerințelor tehnice și normativelor impuse.

2.3.5.-Concluziile principale ale cercetărilor din anii 1971-1972 sînt următoarele:

-perioada de început a exploatării conductelor termoenergetice în ansamblu sudate, executate din oțelul amintit, în intervalul temperaturilor de 500...570°C=773-843°K și σ_{ech} =4,4...7,4kgf/cm²=4,32...7,26 daN/mm², se caracterizează prin stabilitatea structurii (microstructurii) și a caracteristicilor mecanice de scurtă durată ale oțelului respectiv; durata acestei perioade se reduce însă, cu creșterea parametrilor de lucru ai conductelor în cauză;

-după durata de serviciu $\tau_p = 61.000 \dots 75.000$ h, pentru intervalul de valoare t și τ_{ech} menționat anterior, caracteristicile mecanice de scurtă durată ale oțelului 12X1M0(12H1MF) au valori care sînt concordante cu cele impuse prin condițiile tehnice specifice pentru starea inițială ($\tau_s = 0$);

-controlul stării inițiale ($\tau_s = 0$) a metalului țevilor și corespun-
ța structurii și caracteristicile mecanice de scurtă durată ale oțelului 12X1M0(12H1MF) cu cele impuse prin condițiile tehnice în vi-
gore este necesar să i se acorde o deosebită importanță; așa cum
a demonstrat-o experiența în decursul anilor atât în URSS cât și
la noi, a exploatării de cea 10 ani a conductelor termoelectrice
executate din oțel 12X1M0-12H1MF, calitatea țevilor determină în
mod hotărîtor fiabilitatea conductelor respective;

-în cazul oțelului 12X1M0-12H1MF lucrînd îndelungat sub sarcină
în intervalul temperaturii $t = 500 \dots 545^\circ\text{C} = 775 \dots 818^\circ\text{K}$, prima cercetare
de control este rațional să fie făcută nu înainte de 50.000 h
de serviciu. În cazul aceluiași oțel, lucrînd îndelungat sub sarcină
pentru temperatura $t = 570 \dots 845^\circ\text{K}$, prima cercetare de control
este rațional să fie făcută după 50.000 h de serviciu; în procesul
exploatării în continuare (pentru $\tau_s > 50.000$ h și respectiv
 $\tau_s > 50.000$ h), periodicitatea efectuării controlului metalului
(oțel 12X1M0) se recomandă să fie de 25.000...35.000 h în funcție
de valorile mărimilor t și τ_{ech} ;

-prin utilizarea oțelului 12X1M0(12H1MF) se asigură o fiabilitate
corespunzătoare a conductelor termoelectrice pentru $t \leq 570^\circ\text{C} =$
 845°K și $\tau_s \leq 100.000$ h, pentru $t = 545^\circ\text{C} = 818^\circ\text{K}$, înăi, conductele
termoelectrice executate din oțel 12X1M0 (12H1MF) sînt corespunzător
de fiabile pentru $\tau_s \gg 100.000$ h.

2.3.6.-Cercetările proprii efectuate în anii 1971-1972 au demon-
strat că pentru oțelul 12X1M0(12H1MF) odată cu scderea în timp a

caracteristicilor mecanice de scurtă durată, seed de asemenea și caracteristicile mecanice de lungă durată, după primele 30.000 h de exploatare limita tehnică de fluaj $\sigma_{1/100000}^{570}$ fiind cu cea $1,8 \text{ kgf/cm}^2 = 1,77 \text{ daN/cm}^2$ decit cea inițială ($\tau_s = 0$) de calcul.

Aceleași observații sint prezentate și in literatura de specialitate [123, 124, 125].

Se precizează însă, că, deși valorile caracteristicilor mecanice de lungă durată au fost coborite față de cele inițiale ($\tau_s = 0$) după primele 30.000 h de exploatare, deformația rezanentă de fluaj efectiv a trosionului de control (cercetat), măsurată la sfirșitul intervalului de 30.000 h, nu a depășit 0,1%, ceea ce poate fi explicat prin aceea că eforturile unitare efective σ din peretele tubulaturii au fost destul de mici (de ordinul a $3,7 \text{ kgf/cm}^2 = 3,6 \text{ daN/cm}^2$).

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ
Catedra Utilajul și tehnologia sudării
Bd. Mihai Viteazul nr.1 Timișoara

Timișoara 1.04.1969
Nr.498/153

Către

UZINELE INDUSTRIEI SIRMIEI

Cimpia Turzii
Str. Laminariștilor nr. 145
JUDEȚUL CLUJ

Ref. sorturi noi de electrozi

În atenția tov. director general Stanatiev

Facultatea de Mecanică, prin catedra de Utilajul și tehnologia sudării, are legături de colaborare cu uzina Dvstră în ce privește cercetarea anumitor produse, în special electrozi pentru sudarea cu arc electric manual și sirne pentru sudarea cu flacără de gaze și arc electric protejat. În majoritatea lucrărilor de colaborare s-au obținut rezultate bune și au fost aplicate cu succes în producție.

În baza celor arătate și luând în considerare adresa Dvstră SCM nr.116 din 7 decembrie 1968, prin care solicitați continuarea colaborării privind cercetarea noilor sorturi de electrozi de sudură produși la ISCT în anul 1970, prin prezenta vă rugăm de a accepta confecționarea electrozilor de sudare din rețetele propuse de tov. șef de lucrări ing. D. RANU, anexate și a ni se pune la dispoziție în scopul cercetărilor la care sîntem colaboratori, în vederea înlocuirii materiilor prime și a electrozilor de sudare aduși din import.

Pentru cerșerile impuse și verificările experimentale programate la catedra U.T.S., avem nevoie de o cantitate de cea 10 kg din fiecare rețetă, ceea ce înseamnă că se pot confecționa la Uzina Dvstră la scară de laborator.

Justificarea tehnico-științifică a celor două rețete urmează a fi redactată și trimisă Dvstră după acceptarea colaborării.

După cercetare vom pune la dispoziția uzinei un protocol cu rezultatele obținute.

D E C - A N,
prof. Gh. Savii

SEF-DE-CATEDRA,
prof. Vl. Popovici

Secretar șef,

Anexă: 1 propunere pentru
noi sorturi de electrozi

Pt. conformitate

Timișoara 15.04.1969

PR. P. NERE DE REȚETA Nr. 1

pentru elaborarea unor noi sorturi de electrozi de sudare aliați cu MoCrV, destinați sudării cu arc electric manual a oțelurilor termorezistente utilizați la montarea instalațiilor termoelectrice ce lucrează la temperaturi de 550...600°C.

Propunerea se face în scopul cercetărilor științifice aplicative.

Prezenta propunere urmărește realizarea unor electrozi înveliți care să asigure în tehnica sudării îmbinări sudate de bună calitate pe țevi și table din oțel 10X12sovietic, OAT2 și OAT3 STAS 2881-61 sau chiar din alte oțeluri similare destinate aceluiași scop.

Se propun două variante de electrozi înveliți și anume:

- o variantă cu înveliș bazic pentru sudare în curent continuu cu polaritate inversă conform tabelului 1;
- o variantă cu înveliș neutru de tip rutilic, pentru sudare în curent alternativ sau în curent continuu folosind la sudare polaritate directă, tabelul 2.

Grenulația materialelor utilizate în compunerea rețetei din masa uscată va fi sub 0,2 mm pentru pulberile metalice, pentru fluorură și marmoră; iar pentru celelalte materiale metalice, dioxid de titan sub 0,10 mm, cuarț sub 0,15 mm, iar celuloză la finețea livrată de furnizor.

Vergelele din sîrmă de Ø4 mm, la lungime de 350...450 mm din oțel SLOX, STAS 1126-66 care trebuie să fie pregătite prin trafilare în vederea presării cu suprafața curată lipsită de grăsimi sau praf de săpun.

Grosimea totală a electrodului uscat cu înveliș rezultat din presare este 6,5...6,6 mm.

La prepararea masei la 100 părți (în greutate) amestec de pulbere uscată se adaugă 10...20 părți (în volum) silicat de potasiu,

respectiv la 1000 g masă, 180...200 cm³ soluție cu densitatea 1,57...1,59 și modul 2,8...3.

TABELA 1

Denumirea subst. componente	Caracteristici	STAS-GOST	Participare la comp. în volig pe electrod %
Fluorură de calciu	min. 90% CaF ₂	-	30
Greașă sau marmoră	min. 95% CaCO ₃	-	40
Bioxid de titan alb tehnic	TiO ₂ (alb tehnic)	-	5
Cuarț măcinat	min. 92% SiO ₂	STAS 265-49	5
Celuloză pentru electrozi			2
Ferocrom	max. 0,5% C și cea 68-70% Cr		6
Feromolibdenul	FEMo-1 marca	STAS 7058-64	3
Ferovanadiu	Vd1 marca	GOST 4760-49	2
Silico-mangan	SiMn20 marca	STAS 7057-64	2
Fero siliciu	Si 45 marca	GOST 1415-49	5

TOTAL 100

După presare electrozii se lasă la uscare în aer, timp de cel puțin 10 ore la temperatura camerei, apoi se introduce în cuptor pentru uscarea completă la temperatura de 120...150°C timp de 1 oră. În final se calcinează timp de 1 oră la temperatura de 400...420°C.

Acești electrozi de tip basic experimental pot fi marcați cu simbolul convențional E TR550-B (electrozi termorezistenți la 550°C basici),

TABELA 2

Rețeta pentru electrozi neutri de tip rutilic

Denumirea substanțelor componente	Caracteristici	STAS, GOST	Participare la compoziția învelișului pe electrod
R u t i l	Cu granulație mare între 0,10...0,20 mm		20
R u t i l	Cu granulație fină sub 0,10 mm		20
Delomită	Măcinată	STAS 6284-60	18
Mica albă	Măcinată	STAS 4735-55	16
Feromangan	Felîn marca Mnl	GOST 1415-69	12
Ferocrom	FeCr cu max 0,5% C și 65...70% Cr		7
Feromolibden	Marca FeMo	STAS 7038-64	3
Ferovanadiu	Marca Vdl	GOST 4760-49	2
Celuloză	Pentru electrozi		2

T O T A L

1.0

Granulația ferroaliajelor: sub 0,2 mm;

Granulația la delomită: sub 0,15 mm;

Granulația la celuloză: conform cu finețea livrată de furnizor iar granulația la mica: sub 0,25 mm.

Vergelele din sîrmă de oțel S10X de 24 mm cu lungimea de 350...450 mm în stare trasă, fără a fi necesară degresarea.

Grosimea învelișului pe sîrmă în stare udă după presare 6,5...6,6 mm.

La 100 g amestec uscat cu conținut de 220 cm³ silicat de potasiu cu densitatea 1,97...1,99 și modul 2,8...3. După presare electrozii se usucă în aer la temperatura camerei timp de 6...8 h, apoi în cuptor la max. 150°C timp de 2 h. Electrozii rutilici experimentali după confecționare pot fi marcați cu simbolul convențional El TR500R.

A N E X A 2

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMISOARA
FACULTATEA DE MECANICA
Catedra Utilajul și tehnologia sudării

Timisoara, 11.04.1970
Nr.88

Către

UZINELE INDUSTRIA SIRMEL

Cimpia Turzii

Str.Lăiniștilor nr.145
jud.Cluj

Ref.sorturi noi de electrozi

In atenția tov.ing.Valea Ioan șef de serviciu cercetări
Facultatea de Mecanică prin catedra de Utilajul și tehnologia
sudării, are legături de colaborare cu uzina Dvstră în ceea ce pri-
vește cercetarea unor noi sorturi de electrozi și sirme pentru
sudare.

In baza acestei colaborări s-au obținut rezultate bune care au
fost aplicate cu succes in producție.

Pentru continuarea colaborării privind cercetarea unor noi sor-
turi de electrozi de sudură prin prezenta Vă propunem experimentarea
rețetelor propuse în anexă, cu rugămintea de a ni se pune la dispozi-
ția cite 10 kg electrozi/rețetă pentru cercetări, aceasta avind ca
scop înlocuirea materiilor prime și a electrozilor de sudare aduși
din import.

Justificarea tehnico-științifică a celor două rețete va fi
trimisă uzinei cu celelalte două rețete elaborate în anul 1969.

La terminarea cercetării vom pune la dispoziția uzinei un protocol
ce va însuma și rezultatele celor 10 sorturi de electrozi primiți de
la Dvstră conform propunerii de convenție anexate.-

D E C A N,

prof.ing.Ch.Savii

ȘEF DE CATEDRA,

prof.dr.ing.Vl.Popovici

Anexă:1 propunere pt.două rețete electrozi

PROPOUNERE DE REȚETA Nr.2

pentru elaborarea unor noi sorturi de electrozi de sudare aliați cu MoCrV, destinați sudării cu arc electric manual a oțelurilor termo-resistente utilizate la montarea instalațiilor termoenergetice ce lucrează la temperaturi de 550...600°C.

Propunerea se face în scopul cercetărilor științifice aplicative.

Prezenta propunere urmărește realizarea unor electrozi înveliți care să asigure în tehnica sudării îmbinări sudate de bună calitate pe țevi și table din oțel 12X1M6 sovietic, oțeluri similare elaborate de ICM București și oțeluri CAT2, CAT3 - STAS 2881-61.

Se propun două variante de electrozi înveliți și anume:

- o variantă cu înveliș bazic pentru sudarea în surse de curent continuu folosind polaritate inversă la electrod conform tabeli 1;
- o variantă cu înveliș neutru de tip rutilic, pentru sudarea în surse de curent alternativ sau curent continuu cu polaritate directă Tab.2.

Granulația materialelor utilizate în compunerea rețetei de masă uscată va fi sub 0,2 mm pentru pulberile metalice, respectiv pentru fluorură și marmoră, iar pentru celelalte materiale metalice, bioxid de titan sub 0,10 mm, cuarț sub 0,15 mm, iar celuloza poate fi utilizată la finețea livrată de furnizor străin.

Vergelele din saramă de Ø4 mm la lungime de 350...450 mm din oțel SLOX, STAS 1126-66 care trebuie să fie pregătite prin trefilare în vederea presării cu suprafața perfect curată lipsită de grăsime sau praful de săpun.

Grosimea totală a electrodului uscat cu înveliș rezultat din presare să se păstreze în limitele de 6,5...6,6 mm, adică $\varphi=(1,6...1,7)$

La prepararea masei la 100 părți (în greutate) amestec de pulbere uscată se adaugă 18...20 părți (în volum) silicat de kalium, respectiv la 1000 g masă, 180...200 cm³ soluție cu densitatea 1,37...1,39, modul 2,8...3.

TABELA 1

Rețeta pentru electrozi cu înveliș bazic (elementele componente pentru realizarea învelișului fiind date în procente de greutate) Simbol

TR 550B2

Denumirea substanțelor	Caracteristici	STAS GUST	Participarea la compoziția învelișului pe electroz % %
Fluorură de calciu	minim. 90% CaF_2	-	30% granulație sub 0,2 mm
Marmoră	minim. 95% CaCO_3	-	20% -"
Praf de fier	max. 0,1% și 1% O_2	-	20% granulație sub 0,5 mm
Rutil	gran. fină sub 0,10mm		10% granulație sub 0,2 mm
Feromangan afinat	Fekn 82...85% Mn		3% -"
Ferosiliciu	cu 45% Si		4% -"
Ferocrom afinat	cu con 70% Cr		4% -"
Feromolibden	cu con 55% Mo, 0,5% C		3% -"
Ferovanadiu	cu con 35% V		2% -"
Tale	pentru electrozi	STAS- 1901-64	3% -"
Carboximetil celuloză	CMC		1% -"
Liant	Silicat de K		

T O T A L 100%

După presare electrozii uscați se lasă la uscare în aer, timp de minimum 10 ore la temperatura camerei, apoi se introduce în cuptor pentru uscarea completă la o temperatură de 120...150°C timp de 1 h. Sortul respectiv în final se calcinează în cuptorul electric la 400...420°C.

Acești electrozi de tip bazic experimentali pot fi marcați cu simbolul convențional E TR550B2 (electrozi termoresistenți la 550°C bazei).

TABELA 2

Rețeta pentru electrozi neutri de tip rutilic simbol
TR 55QR2

Denumirea substanțelor componente	Caracteristicii	STAS GOST	Participarea la compoziția inveli- gului pe elec- troz %
Rutil	cu granulație fină sub 0,10 mm		45% granulație sub 0,2 mm
Marmoră	minim 90% CaCO ₃		16% -"-
Mică	albă sau brună pură	STAS 4735-55	14% -"-
Feromangan afinat	FerMn marca M-1	GOST 1415-69	10% -"-
Ferocrom afinat	FeCr max. 0,4-0,5% 65-70%Cr		5% -"-
Feromolibden	FeMo-1	STAS 7038-64	2% -"-
Ferovanadiu	V6-1	GOST 4760-49	2% -"-
Talc	pentru electrozi		4% -"-
Celuloză	pentru electrozi		2% -"-

TOTAL 100%

Granulația feroaliajelor se impune a fi sub 0,2 mm.

Granulația celulozei dacă este posibil sub 0,25 mm.

Vergelele din sîrmă trefilată din oțel SLOX de 14 x 350...450 mm poate fi folosită în stare treacă chiar fără degresare.

Grosimea inveliului pe sîrmă în stare umedă după presare să se păstreze în limitele 6,5...6,6 mm măsurat pe 2 l.

La 100 g amestec uscat cu cea 220 cm³ silicat de potasiu cu densitatea 1,37...1,39 modul 2,8...3.

După presare electrozii se usucă în aer la temperatura camerei timp de 6-8 ore, apoi în cuptor la max. 140...150°C timp de 2 ore.

Electrozii rutilici experimentali după confecționare pot fi marcați cu simbolul convențional TR 550 R2.

INDUSTRIA SIRMII CIMPIA TURZII

Nr.D.23.63 din 8.12.1972

Către

INSTITUTUL POLITEHNIC TRAIAN VOIA TIMISOARA

FACULTATEA DE MECANICĂ

Catedra Utilajul și tehnologia sudării

Referitor la Electrozi termoresistenți

Alăturat Vă trimitem în 2 exemplare referatul
Serviciului nostru de Cercetări Metalurgice privitor la cele
două variante noi de electrozi aliați cu MoCrV simbolizate
TR 550B-2 și TR 550E-2.

Am primit protocolul conținând determinarea comportă-
rii la sudare a electrozilor trimiși de noi și prin aceasta con-
firmăm îndeplinirea de către Dvs a obiectivelor convenției
de colaborare.

DIRECTOR TEHNIC CONCEP. DEZV.

Ing. Stoleru Sergiu

SEF SERV. CERCET. MET.

Ing. I. Valea

Pt. conformitate

REFERAT - TEHNIC

privind

Electrozi pentru sudarea oțelurilor termorezistente 12HLMF
elaborați după noi rețete cu invelig bazic și rutilic

Prezentul referat cuprinde rezultatele experimentării a două
noi variante de electrozi fabricate la laboratorul de cercetări pentru
materiale de sudare de la ISCT, aplicând rețete elaborate de către
catedra Utilajul și tehnologia sudării de la Institutul Politehnic
Timișoara.

Rețetele concepute de către ing. D. Anca șef de lucrări la catedra
condusă de prof. dr. ing. Vl. Popovici, reprezintă o propunere de îmbunătățire
a primelor variante experimentate anterior TR 550B și TR 550R.

Noile rețete poartă simbolurile:

TR 550B2 - pentru tipul cu invelig bazic;

TR 550R2 - pentru tipul cu invelig rutilic.

Propunerea primită prin adresa nr. 88/1970 a UTS de la Facultatea
de Mecanică, conține indicații tehnologice cuprinzătoare, generale și
de detaliu, expuse într-un preambul și două tabele, pe baza cărora
s-au fabricat electrozii experimentalii.

A. - Fabricarea electrozilor

După alegerea și pregătirea materiilor prime indicate în documen-
tația UTS, oțelul vergelelor fiind din marca SLOK la dimensiunea
de 64 mm, iar substanțele pulverulente fiind din calitățile verifi-
cate după normele uzuale, s-a efectuat operația de amestecare cu liant
și presarea pastei pe sirmă.

Procesul de basă al fabricației a decurs în condițiuni bune la
variante cu invelig bazic și foarte bune la varianta cu invelig rutilic

Uscarea preliminară și calcinarea electrozilor bazicii a decurs
normal, fără să apară defecte de aspect a inveligului. Uscarea elec-
trozilor titanici a decurs de asemenea fără dificultăți.

Contractia după calcinare la 400°C a fost la electrozii basici de ordinul a 0,08-0,10 mm iar la electrozii titanici, după uscare la 150°C a fost de 0,10-0,12 mm. Diametrul D, măsurat peste inveliș a fost la B-2 de 6,40-6,42 mm iar la R-2 de 6,38-6,40 mm.

B. Verificarea comportării la sudare

La varianta cu inveliș basic TR 550B-2

Regim de sudare: curent continuu cu polul pozitiv la electrod, intensitatea medie 170A la poziție orizontală și 150 A la poziție vertical-ascendentă. Arc menținut scurt, la cca 1/2 din grosimea totală a electrodului. Viteză de avans redusă, astfel ca oglinda craterului să apară în permanență de formă rotundă. Poziția electrodului aproape perpendiculară pe suprafața piesei.

Observații. Varianta B-2 are o comportare la sudare superioară primei rețete, din toate punctele de vedere: topire mai fluidă, arc mai stabil, stropire mai redusă, șgură ușor de îndepărtat și aspect mai neted și mai estetic al cordonului depus.

La varianta cu inveliș rutilic: TR 550R-2

Regim de sudare: curent continuu cu polul negativ la electrod, intensitate medie 180 A la poziție orizontală și 155 A la poziție vertical-ascendentă. Arcul menținut sub lungimea egală cu D (cca 5,5-6 mm). La scurtarea mai mare a arcului se produce deja deranjamente "virtejuri" în șgura încă nesolidificată. Viteza normală de avans, oglinda craterului ușor ovală, înclinația electrodului la cca 30° față de perpendiculara pe piesă.

Observații: Varianta R-2 are o comportare la sudare similară cu prima rețetă, remarcându-se totuși o ameliorare în ceea ce privește frecvența stropilor, intervalul mai scurt de solidificare al șgurei și o sprindere și mai ușoară la sudurile de colț și la cele în V.

Penetrația la variantele rutilice este sensibil mai adânc decât la cele basice, fenomen de altfel general observat la com-

pararea acestor două tipuri de învelig.

C. Verificarea însușirilor mecanice

Metalul depus prin sudare cu electrozii din variantele B-2 și R-2 verificat după metoda prescriedă în recomandarea internațională de standardizare ISO R 615, adoptată și în STAS 7356-65 (probele nr. VII și VIII) după aplicarea tratamentului termic de revenire înaltă, a dat rezultatele cuprinse în tabela 1.

TABELA 1

Caracteristica	Metal depus prin sudare revenit la 750°C		Prescriș minim.
	TR 550B-2	TR 550R-2	
Limita σ de curgere aparentă în kgf/mm ²	<u>52-50-53</u> media 51,6	<u>47-45-49</u> media 47	36
Rezistența la tracțiune în kgf/mm ²	<u>64-61-63</u> media 62,7	<u>58-57-60</u> media 58,3	50
Alungirea relativă la $l_0=50$ în %	<u>20,4-22-19,6</u> media 20,6	<u>17-18,4-16,6</u> media 17,5	16
Contractiunea Z în %	<u>68-71-66</u> media 68,3	<u>46-48-42</u> media 45,3	Nu este prescriedă
Reziliența KCU ₂ în kgfm/cm ²	<u>13,6-15,2-14,1</u> media 14,3	<u>8,6-9,4-9,1</u> media 9,1	9
Reziliența KCU ₅ în kgfm/cm ²	<u>2,5-10,2-9,7</u> media 9,8	<u>6,1-5,8-6,7</u> media 6,2	Nu este prescriedă

Tratamentul termic s-a efectuat asupra probelor ISO în stare sudată neprelucrată prin aşchiere, încălzindu-le în cuptor electric cu rezistență la 750°C menținându-le la această temperatură timp de 3 ore. După scoaterea din cuptor, probele au fost lăuate să se răcească în aerul liniștit al camerei.

În fiecare variantă s-au prelevat câte 3 epruvete pentru încercarea la tracțiune și câte 6 epruvete pentru încercarea de reziliență din care 3 cu creștătura tip Messager și 3 cu creștătura tip ISO în U.

Valorile din ultima coloană verticală sînt cele prescriese pentru electrozii E MoCrIV din tabela 2 al STAS 7240-69.

D. Verificarea compoziției chimice a metalului depus

Din fiecare variantă s-au prelevat așchii pentru analiza chimică a metalului depus prin sudare. În acest scop, din epruvetele de tracțiune, după ruperea lor, s-au prelevat prin strungire așchii din toată secțiunea transversală de lângă ruptură, pe cite o lungime de cca 20 mm. Așchile rezultate din epruvetele aceleiași variante, reprezintă metalul depus prin sudare cu aceeași electrozi, au fost amestecate întin și analizate conform metodelor standardizate pentru elementele respective. Rezultatele analizelor sînt date în tabela nr.2.

TABELA 2

Simbolul variantei	Compoziția chimică a metalului depus prin sudare							
	C	Mo	Cr	V	Si	Mn	P	S
TR 550B-2	0,09	0,52	1,05	0,28	0,02	0,74	0,022	0,012
TR 550R-2	0,07	0,46	1,12	0,16	0,18	0,42	0,04	0,02
Prescrie	max 0,12	0,4- 0,7	0,8- 1,2	0,1- 0,35	0,15- 0,5	0,4- 0,9	0,04	0,04

Din tabelele 1 și 2 rezultă că electrozii fabricați după rețetele primite, simbolizate cu variantele B-2 și R2- concepute pentru electrozii de tip termorezistent aliați cu cca 0,5 Mo, 1% Cr și cca 0,2% V se pot încadra calitativ la tipul B MoCr1V din STAS 724-69 (fosta marcă B1 VMoCr1B din STAS 724-65).

La electrozii cu înveliș basic, varianta B-2 se remarcă în sușigiri mecanice superioare variantei cu înveliș rutilic R-2 în deosebi la valorile care exprimă tenacitatea.

La electrozii cu înveliș rutilic varianta R-2 se remarcă în sușigiri tehnologice mai frecvente din punctul de vedere al comportării la sudare față de B-2.

Original față de rețeta de înveliș practică actualmente la I.C.T pentru fabricarea mărcii B1 MoCr1V este la B-a lipsa ferotitanului și prezența pulberii de fier. De asemenea varianta R-2 este nouă pentru I.C.T deoarece marca B MoCr1V se fabrică în prezent numai cu înveliș basic.

Structura metalului depus prin sudare cu ambele variante este ca și la electrozii standardizați: ferită cu perlită puțină. După tratamentul de revenire înaltă perlita se globulizează și structura apare foarte omogenă.-

Cimpia Turzii la 15.09.1972

S. F. SERV. CERCET. MET.

ing. I. Valea

Pt. Conformitate

ANEXA 5

Date privind examinarea cu radiații penetrante a îmbinărilor sudate din țevi cu pereți groși din oțel termorezistent de tipul 12X1MF (12X1M~~MF~~) folosind electrozii elaborați în cadrul tezei de doctorat (EL TR550E1; EL TR550R1; EL TR550...600B2; EL TR550...600R2)

Pentru a se încadra lucrarea în construcții de înaltă tehnicitate s-a luat în considerare STAS 20014-69, normativele ISCIR C-4-66, C-20-72, normele de supraveghere tehnică Kotlozodzor URSS, APAVE-Franța. Aceste norme se referă la examinarea și încercări asupra ansamblurilor sudate din oțeluri termorezistente exploatate la temperaturi și presiuni ridicate.

În sensul celor prezentate mai sus, s-au executat radiografii și microstructuri care scot în evidență calitatea foarte bună a îmbinărilor executate. În continuare sînt prezentate plenge cu radiografii și microstructuri în fazele de cercetări efectuate.

PLANSA 5-I

Imbinări sudate cap la cap în elemente de țevi din oțel CAT-3
sudarea cu arc electric manual, la rădăcina cusăturii cu electrod
de Ø325 x 350 mm, restul cusăturii cu electrozi de 74 x 45
(faza I-a)

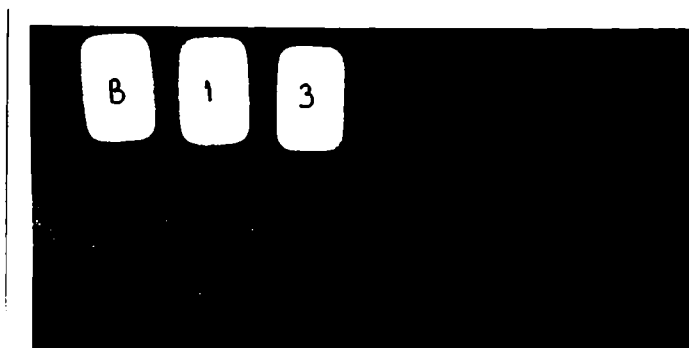


Fig.5.B-13 țevi 273/201 x mm. Electrozi EL TR550B-1

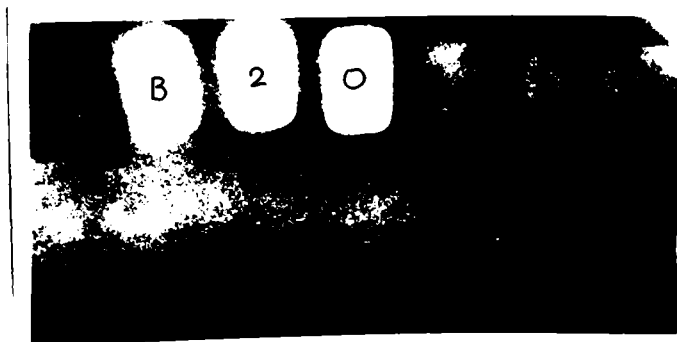
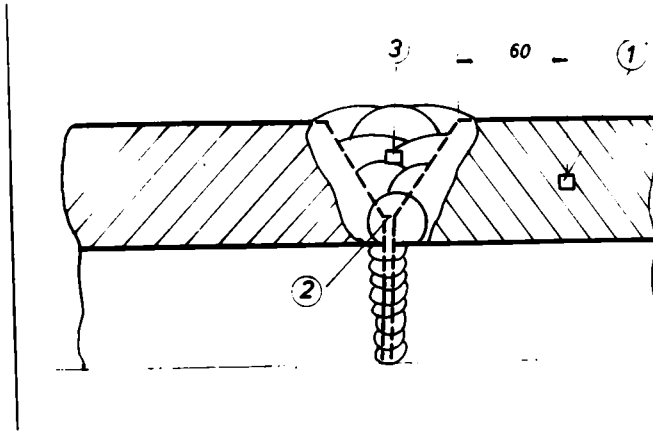


Fig.5.B-20 țevi 133/97 x mm. Electrozi EL TR550B-1

PLANSĂ 5-II

Microstructuri ale îmbinării sudate cap la cap din elemente de țevi din oțel CAT-3



Îmbinare sudată cap la cap din elemente de țevi

Pozițiile de microstructuri cercetate

1-metalul de bază

2-râdăcina cusăturii

3-niflocul cusăturii

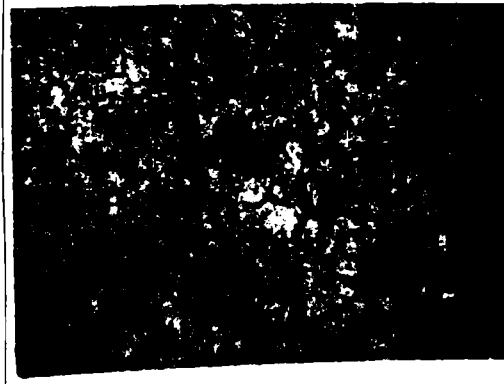


Fig.5-1.-M:0 x120, atac nital. Metalul de bază CAT-3
(poz.1)

PLANSA 5-II (continuare)

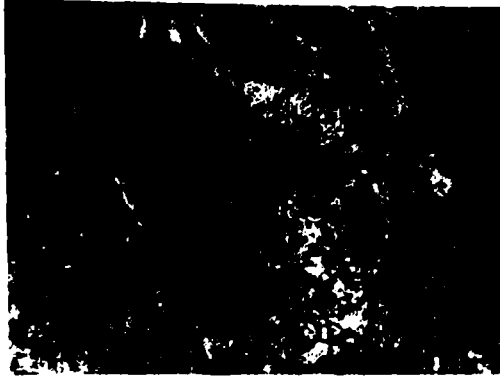


Fig.5.2.-M:O x 120, atac nital. REZINA cusăturii (poz.2)

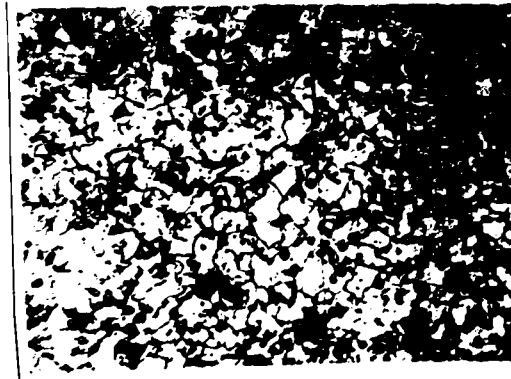
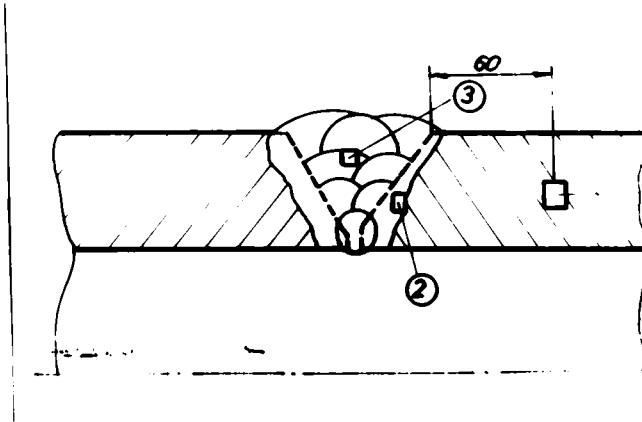


Fig.5.3.-M:O x120, atac nital. Mijlocul cusăturii (poz.3)

Microstructuri ale îmbinărilor sudate cap la cap din elemente de țevi din oțel termoprezistent 12X1MF (12X1MF)-298/2.8 δ mm



Îmbinare sudată cap la cap din elemente de țevi

pozițiile de microstructuri cercetate

1-metal de bază;

2-zona influențată termic (ZIT)

3-ajlocul cusăturii

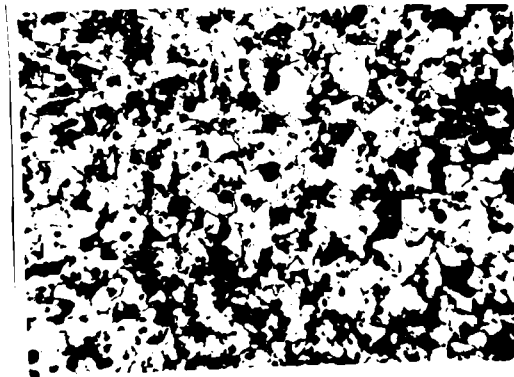


Fig.5.4.-M: x120, atac nital. Metalul de bază (poz.1)



Fig.5.5.-M:0 x120, atec nital. Metal in zona de trecere
și influențată termic (ZIT) (poz.2)

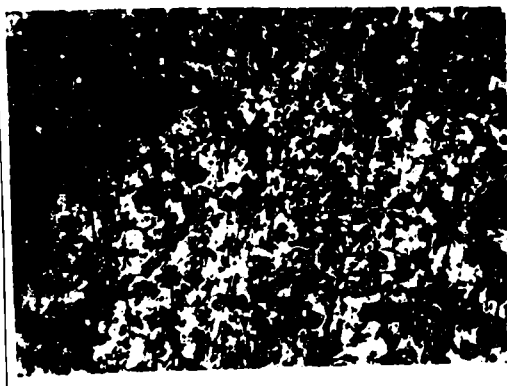


Fig.5.6.-M:0 x120, atec nital. Mijlocul cusăturii

PLANTA 5-III

Imbinări sudate cap la cap din elemente de țevi, din oțel 12H1MF (12X1MF) sudarea cu procedeul combinat, rădăcina prin procedeul MIG și restul cusăturii cu arc electric obișnuit (Faza a II-a).

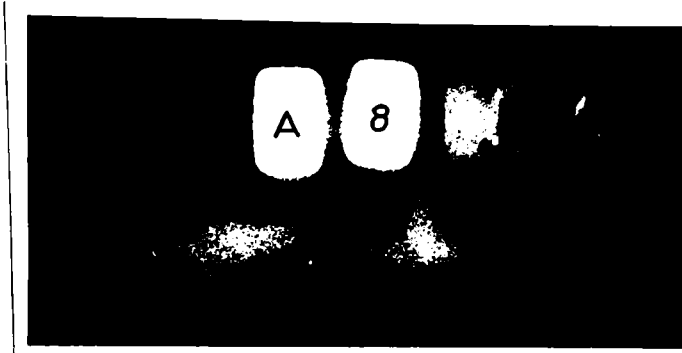


Fig.5.A.8.- Țeavă 273/21, 8 mm. Electrozi EL TR550...600 B-2

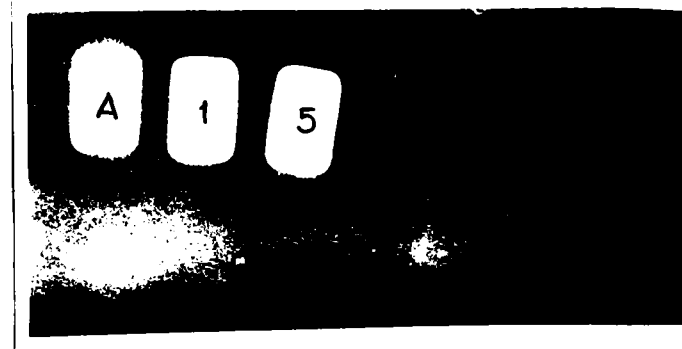


Fig.5.A.15.- Țeavă 273/21, 8 mm. Electrozi EL TR550...600 B-2

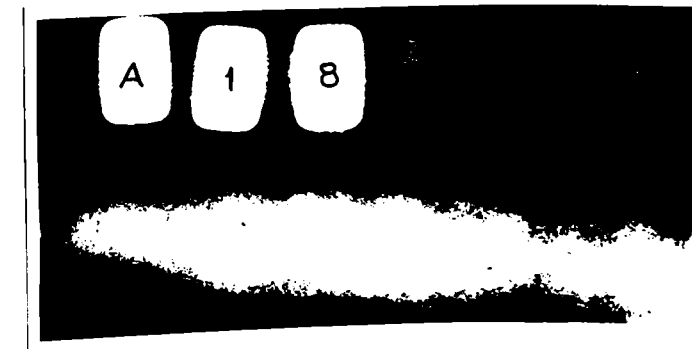
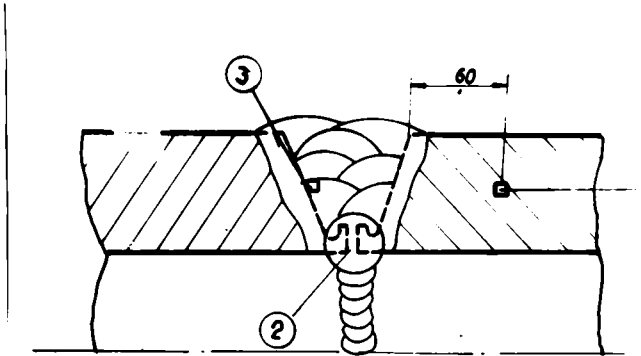


Fig.5.A.18.- Țeavă 245/181 8 mm. Electrozi EL TR550 B-2

Microstructuri ale îmbinării sudate cap la cap din elemente de țevi din oțel 12X1MF(12X1MF)



Îmbinare sudată cap la cap din elemente de țevi. Pozițiile de microstructuri cercetate:

- 1-metal de bază;
- 2-rădăcina cusăturii
- 3-zona influențată termic (ZIT)

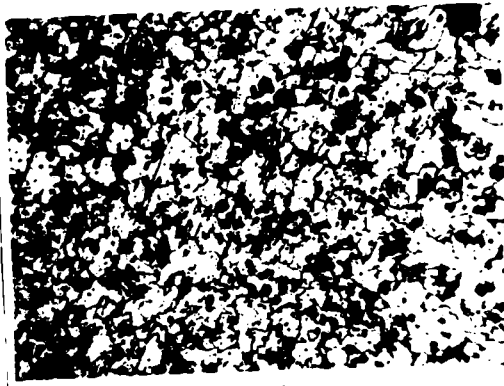


Fig.5.7.-M:0 x120, atac ritol. Metalul de bază (pos.1)



Fig.5.8.-M:0 xl20, atac nital. RMdMcina cusăturii (poz.2)

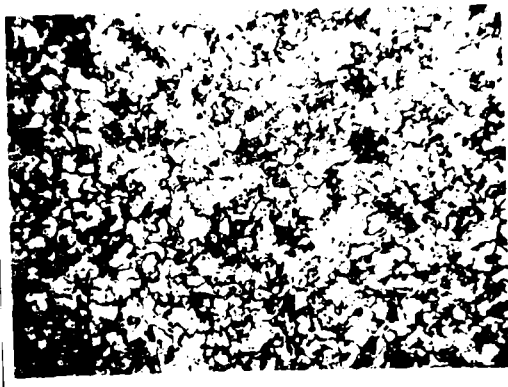


Fig.5.9.-M: xl20, atac nital. In cusătură aproape de sursa
influențată

ANSAS 5-V

Imbinări suptate cap la cap din elemente de leavă din oțel
12X187 (12X187). sudare cu procedeu combinat, răsucire prin
procedeul MIG și restul cusăturii cu arc electric obișnuit

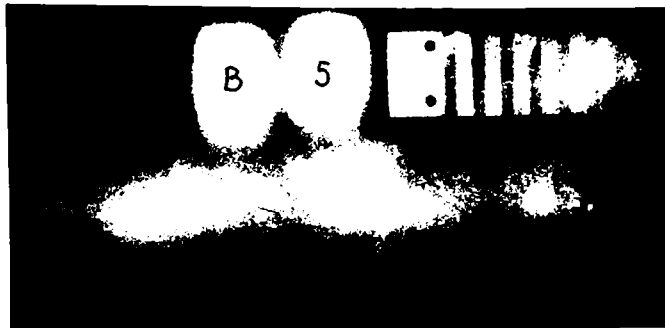


Fig.5.4-5.-Conducte 206 216 mm. Electrozi L1 PR55...600B2

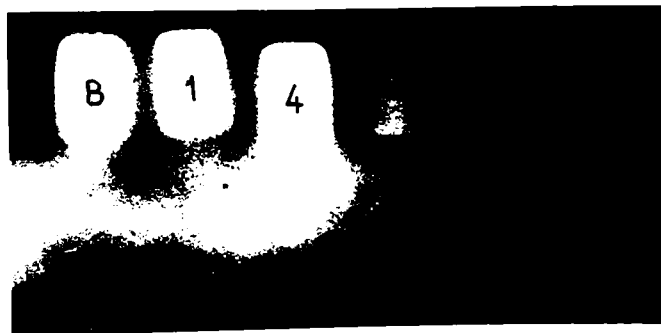


Fig.5.4-14.-Conducte 206/216 mm. Electrozi L1 PR55...600B2

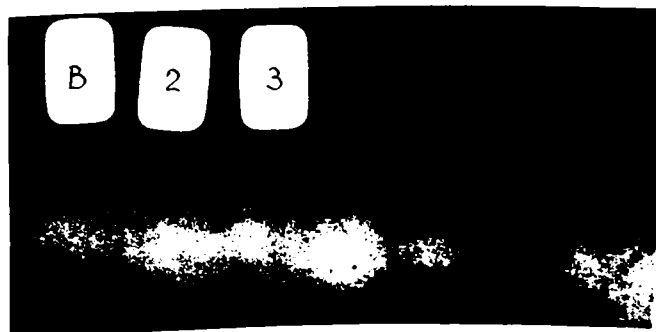
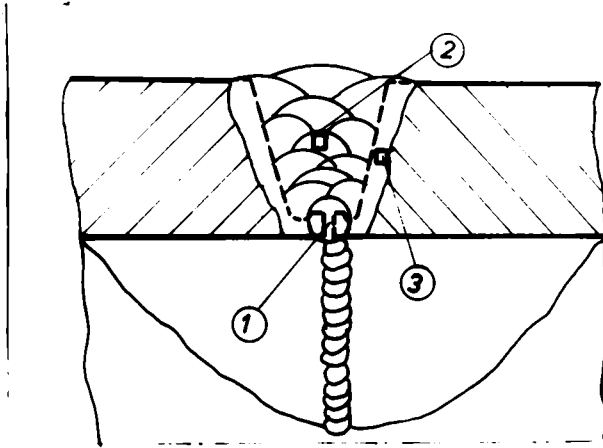


Fig.5.4-23.-Conducte 206/216 mm. Electrozi L1 PR55...600B2

Microstructură ale îmbinării sudate cap la cap din elemente de țevi din oțel 12X1MF (12X1M6).



Îmbinare sudată cap la cap din elemente de țevi. Pozițiile de

microstructuri cercetate:

- 1- metalul cusăturii;
- 2- mijlocul cusăturii;
- 3- zona influențată termic (ZIT)

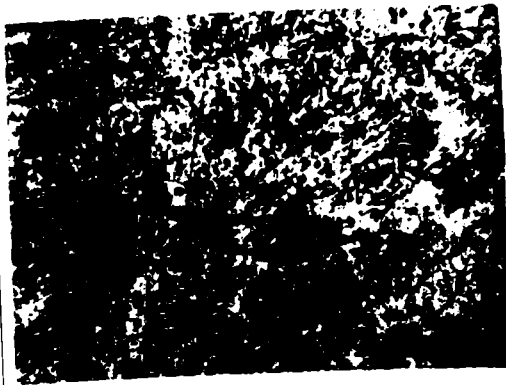


Fig.5.10.-M: x120, atac nital. Metalul cusăturii (poz.1)

PLANSĂ 5-VI(continuare)

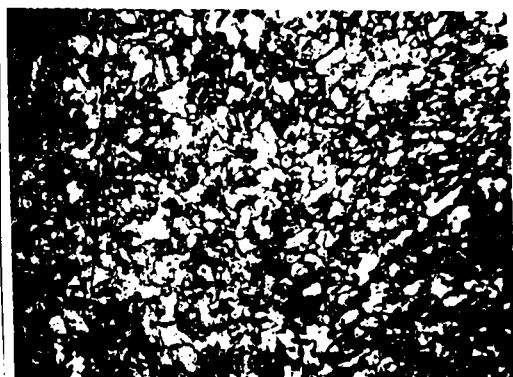


Fig.5.11.-M:0 x120, atac nital. Mijlocul cusăturii (poz.2)

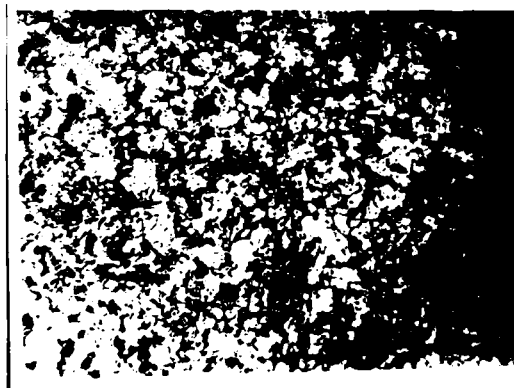


Fig.5.12.-M:0 x120, atac nital. Zona influențată termic (ZIT)
(poz.3)

BIBLIOGRAFIE

- 1.-Aldea M., ș.a., Indrumător pentru cazane de abur și recipiente sub presiune, E.T., București, 1964
- 2.-Aldea M., Unele aspecte ale construcției raționale de vase care lucrează sub presiune, ESIP, București, 1962
- 3.-Aldea M., ș.a., Indrumător pentru cazane cu abur, E.T. București, 1970
- 4.-Alekseenko M.F., Lifșit S., Inducționiî nağrev pri termobrabotke stali, Șborunghiz, 1953
- 5.-Alov A.A., Vaprosi Teorii svarocinîh profesov, Șagghiz, 1959
- 6.-Antikain P.A., Metalli i rasciutâv procionosti parovîh ketlov, Moscova, Șnerghia, 1963
- 7.-Amis A.B., Gutman I.M., Șeghârovanie naplavlennogo metalla cerez flieșâ dlea borbi s raciami, Avtomaticeskaia svarca, 6(1956),
- 8.-Astafiev, A.S., Svarivaeosti nizkoșeghirovoînnîh stalei 18G-2 și 18G2T, Svarocinoe npoșivodstvo, 1961, nr.3, C.1-4
- 9.-Bailey N., The establishment of safe welding procedures for steels, Welding Research supplement, 1972/4
- 10.-Bâr Fridric, ș.a., Șufarea metalelor, E.T. București, 1965
- 11.-Beckert H., Probst R. Schweisstechnik, vol.14, Berlin, 1964
- 12.-Beunev N., Muller F.H., Technische Mitteilungen, Șrupp Forschungsberichte, vol.4, Berlin, 1942
- 13.-Bihet O.L., Rev, Univ. Mines (Liege) t.VI(1956) 221
- 14.-Hiegler H., Untersuchung eines schârens au einen 10 mtu Kessel aus legierten ^k stoffen, Die Technik, 1952, nr1, pg.375
- 15.-Eland J., Welding Journal Suppl. 4(1956), 18/s
- 16.-Boeivor A.A., K voprosu a gorecâh (kristallizacii) Șrecinâh svarocinoe proizvodstva nr.1-1968

- 17.-Bolhovitinov N.F., Bolhovitinov D.H., Atlas macro i microstruktur metallov i splavov, Magghiz, Moscova, 1969
- 18.-Bollenrath et Cornelius, Arch für Eisenhütt, vo.10 (1937), 563, vol.12, 1(1939), 355, Stahlund Eisen, vol.58, 9(1938),241
- 19.-Böhler Gebr.s.co.Böhler Vergütungsstähle, Berlin, 1965
- 20.-Brezina T.G., Ivanova G.A., Karasov V.V., Modificarea structurii și a proprietăților metalului conductelor de abur în timp de 100.000 ore la parametrii ridicați. IT București, 1965
- 21.-Brisson J., Maynier Ph., Pollet J. și Bastien P., Studiul durității sub cordon a oțelurilor carbon și slab aliate, Soudage et techniques connexes, nr.11/12, 1968
- 22.-Carslaw H.S. și Jager J.C., Conduction of heat in solids, Londra, Oxford University Press, 1959
- 23.-Casebook of brittle Fracture failures, Doc.IIS-XD-79-71
- 24.-Castro K. și Cadenet J.J., Metallurgie du soudage des aciers inoxydables și résistants à chaud, Paris Dunod, 1968
- 25.-Cabelka J., Million C., Studii și cercetări de metalurgie, tom.10, nr.2, Bratislava 1965
- 26.-Cabelka J., Million C., Studii și cercetări de metalurgie, British Welding Journal, nr.1, Bratislava, 1965
- 27.-Chilinescu C., Realizări în montarea cazanelor de apă fierbinte (CAF) la întreprinderea Energomontaj, Rev.construcții montaje energetice nr.1/1971 pag.38...45, IT București 1971
- 28.-Cohour P., Rev.Univ.Mines (Liege) t.VII, 10(1951)
- 29.-Cohour P., Habraken L., Habert J. Rev.Metal vol.47,6, 1950, 472
- 30.-Colbeck E.W., Rait J.R., Symposium on high temperature steels and alloys for gas turbines, London, 1951
- 31.-Constantinescu A., Date tehnice privind oțelurile produse în țară, vol.4, cursuri de perfecționare în domeniul sudurii, București, 1971, p.152-174

- 32.-Cornelius H., Luftfahrtforschung, 15.3(1938) 133
- 33.-Cornelius H., Arch für Eisenhütt, 11, 9(1938), 447
- 34.-Cornet H., Fragilisation du fer de zone fondue par l'hydrogene
les memoires scientifiques de la revue de metallurgie, 1932, 1
- 35.-Delbart G., et Revery - Revue Metal. vol.47, 3(1950)215
- 36.-Delbart et Constant A., Revue Metal. vol.51, 12 (1954), 845
- 37.-De Sy A., Vidts J., Metallurgie structurale, Gand Belgique 1964,
Rev.Metall.
- 38.-Delbart G. et Constant A., vol.49 1(1952), 67
- 39.-Iacenko S.S., Gherman S.I., Palatnik L.S. Strukturnie izmenenia
v stali 20 HML pri dlitelinich teplovih vperjках fizica metallov
i metallavdenie. ANUSSR T 1 V, 1958, 1122-1129
- 40.-Dolby R. Cane M.V., A new mechanical test approach for assessing a
susceptibility to hydrogen induced HAZ cracking, Metal Construc-
tion and British Welding Journal 1971, 9
- 41.-Prăgănescu E. Realizări și perspective în electroenergetica
RSR, Revista Energetica nr.1-1967 pag.286-298
- 42.-Milender et Pribly, Arch für Eisenhütt 12,9 (1939) 456, Welding
Journal suppl. vol.18, 11(1939),425 Welding Industry, 1(1940)
404
- 43.-Ermand Jeanitzer F., Werkstoff und schweissung, Academic Verlag
berlin 1951
- 44.-Ealkevici A.S. Svarca magistralnih i zavodskih truboprovodov
gostoptehisdat, 1958
- 45.-Fedatova L.I., Teploenergetica, nr.6-1965, pag.56-58
- 46.-Gherman S.I., Issledovanie dlitelnoi procinosti svarnih soedinenii
iz teploustoicivoi stali 20HML, Svarocinoc proizvodstvo, 1957
- 47.-Gherman S.I., Primenenie svarki v kachestve sposova izgotovlenia
crupnih visocoprocinih diafraga ,Kotla turbostroenia, 1952,
nr.6 s.22

- 48.-Gherman S.I., Elektrodugovaia svarca teplotostocivih stalei perlitnogo klasa
- 49.-Gherman S.I., Kulakova G.N., Babaceva M.A., Polu avtomaticheskaia svarca v srede ugleadisilogo gaza progresivnie metodi svarki v mashinostroenie, Harikovskoe obl.isd.-vo 1958, 5.68-82
- 50.-Gherman S.I., Leberberg N.S., Poluavtomaticheskaia svarca austenito-feritnoi stali X18N3 B2-1 v srede CO₂, Tehnologhia mashinostroenia, 1961, nr.7, C.29-32
- 51.-Gilbert A., 20 de ani de activitate a intreprinderii de constructii energetice si hidroenergetice. Revista energetica nr.6, 1969 pag.258...266
- 52.-Granjon M., Resultats obtenus et nouvelles possibilités ofertes par les methodes de implants pour l'etude de la soudabilité des aciers, Rev.Soudage et techniques connexes, nr.3 si 4, 1968
- 53.-Granjon M., La fissuration a froid en soudage d'aciers, Doc.IIS-IX-748-71
- 54.-Granjon M., Gaillard R., Possibilités d'emploi d'échantillons recuits pour l'étude du durcissement et de la structure sous cordons de soudure sur acier, Soudage et techniques connexes nr.9, 10
- 55.-Grigorescu A., 20 de ani de activitate a intreprinderii de constructii montaje energetice, Rev.Energetica, nr.6/1 69, p.255-259
- 56.-Croza O., Editorial, rev.Energetica, nr.1, 1970 p.8-11
- 57.-Guleaev A.P., Metalurgie fizich, UT Bucuresti, 1962
- 58.-Guleaev V.N., Metall v teploenergheticheski ustahovkoi, Moscova, Metalurgia, 1969
- 59.-Guliaev V.N., Kanjova L.V. Kontrol metalla i svarnih soedinenii oborudovania teplovih electrostantsii, Moscova, Energhia, 1970

- 60.-Gyorfy B., Necesitatea omologării electrozilor folosiți la sudarea elementelor instalațiilor mecanice sub presiune. Buletin de informare în tehnica supravegherii instalațiilor mecanice sub presiune și de ridicat, nr.12/1969, p.1061-1067
- 61.-Habraken L., Rev.Metall., vol.53,12 (1956), 930
- 62.-Hajdu I., Cristuinea C., Determinarea limitei de curgere tehnică $0,2$ la temperaturi de 550°C a metalului depus prin sudare cu electrozi ISCT din sortele EI MoB, EI CrMoB, EI CrMoVB, CrMoV-TR550; TR-550, Contract de cercetare 1966, 1970 IPTVT
- 63.-Hajdu I., Cristuinea C.g.a. Determinarea limitei de curgere și a limitei tehnice de fluaj la temperaturi de 570°C a metalului depus cu electrozi EI2CrB; EI2CrVB; destinați sudorii oțelurilor termorezistente, Contract de cercetare cu ISCT, 1965-1966
- 64.-Hanemann H., Schrader - Atlas Metalla-graphiens (berlin) vol.III p.50
- 65.-Hanemann, Schrader A., Atlas Metallo-graphiens, vol.I, Berlin Verlag Gebr. Borntraeger, 1933
- 66.-Hart P. Watkinson F., Development and Use of the implant cracking test Welding Research Supplement, 1972-7
- 67.-Havala A., Tepelna kinetika prisvargni elektrickym oblukom, Praga, Statni Nakladatelstvi Technike, Literatury, 1960
- 68.-Henry C.H., Clausen G.L., Welding Metallurgy, New York, American Welding Society, 1949
- 69.-Hess W.B. și colab., Welding Journal, Edg.Res,Suppl. 22(1943) p.377...433
- 70.-Haiduc Ilie, Eficiența economică a întreprinderilor, T, București 1973
- 71.-Iacobson S.S., Svarka pri montajeh i remonte oborudovania elektrostanții, Gosenergoizdat, 1955

- 72.-Kahovschi N.I., Tehnologhia mehanizirovannoi dugovoi i electroskladnoi svarki, Moscva, Proftekhizdat, 1963
- 73.-Kasatchin B.S., Karata N.L., Gherman S.I. i dr., Belaia polosa v svarnih soedinenijah iz stali 1961-62, Avtomaticheskaja svarka, 1958, nr.12, 17
- 74.-Kat S.N., Teploenergetica nr.2, 1969, p.26-58; nr.5, 1959, p.76-92, nr.2 1970, p.33-45
- 75.-Kauhausen E. gi colab., Die Metallurgie des schweissens warmfester 12%-iger Cr-Mo-V-W legierter Stahle Schweissen und schneiden, vol. 9, 1957, nr.9
- 76.-Kikuta Y, Araki T, chiai G., The diffusivity of hydrogen and its effect on the embrittlement of steel, Doc.IIS-IX-79-72
- 77.-Klikman L.A., Metodi opredelenia ostatocnih nepreženii, Sb Cistovaja obrobotka i sostojanie obrobotnoi poverkhnosti Trudi IJAI vip.30 1960 s.58-59
- 78.-Krisanin I.R., Trusov L.P., Teploenergetica nr.4, 1966, p.3-6
- 79.-Krautasovo S.I., Teploenergetica nr.4, 1966, p.38-42
- 80.-Krautasova S.I., Talova T.K., Nafajunost raboti metalla posle prozoda posle rascetnogo svarka sluzhbi, Electricieskie statii URSS vol.39, nr.2 1968, p.15-19
- 81.-Kuntcher W. Kilgertt, Biegler H., Technische Baustahle VEB Wilhelm Knapp Verlag, Halle, 1958
- 82.-Lakatog L., Elektroden fur die Lichtbogenschweisstechnik, RTG, nr.8, 1962, p.354-356
- 83.-Lanscaia K.A., Jaroprocinie stali, Moscova, Metallurgija, 1969
- 84.-Lanscaia K.A., g.a. Metalovedenie i termicescaia obrobotka metallav nr.2, 1964, p.13-16
- 85.-Iarson F.R., Miller J., A teorie temperature relation ship for rupture and creep strasses. Trans.ASME SUA vol.74, nr.5 1952, p.765-780

- 86.-Jivgit, L.S., Svarka leghirovanih stali na montajnih rabatah v stoitelistve, Gosstroindat, 1962
- 87.-Lupescu I., Petricor A., Rădulescu C., Sudarea sub strat de flux in baie de zgură și medii de gaze protectoare, ET București 1968
- 88.-Mantea S., Dulmăș T., Teoria și practica tratamentelor termice ET 1966
- 89.-Mantea S., ș.a. Metalurgie fizică, ET București, 1970
- 90.-Marcu A., Tehnologia metalelor, ETP 1967, București
- 91.-Mating A., Werkstoffprobleme der technischen überwachung. In Technische Überwachung FFG vol.10, nr.5 1968, p.137-140
- 92.-Mazel R., prirode razuracinenia svernih soedinenii, tolsto-temnih paraprovodov iz stalii 12HLMF, Teplotengetica, 1966, nr.4
- 93.-Mazel R.E., Talisava I.I., Electriceșke stanții, nr.12, 1968
- 94.-Meynet G., Rev.Metall, vol.51, 6(1954), 365
- 95.-Micloși V., Probleme generale ale sudabilității oțelurilor vol.4, p.1...41, Cursuri de perfecționare în domeniul sudării, București, 1971
- 96.-Micloși V., Lupescu I., Sudarea prin topire a oțelurilor aliate ET București, 1970
- 97.-Micloși V., Popescu N., Stere N., Indrumător pentru alegerea oțelurilor, ET București 1966
- 98.-Micloși V., și colab., Cercetări privind punerea la punct a unei metode de apreciere a sudabilității metalurgice a oțelului Studiu ICEM, București, 1968
- 99.-Mihailov, Miheev R.V., Metallgasovih turbin, Moscova, Magghis, 1958
- 100.-Micloși C și colab., Sudabilitatea oțelurilor, București. EA.Tr.Telecomunicații, 1959

- 101.-Million A., Million C., Hidrogenul în oțeluri și îmbinări sudate, EA, RSR, București, 1968
- 102.-Movocan B.A., Oprirea și mecanismele proceselor de trecere în starea solidă a adnoțanței sustenitnei structurii, Automaticitatea svara, nr.6 1959
- 103.-Mresko K. Leicht verstandliche werkstoffkunde für den Stahlschweiser, VEB Verlag technik, Berlin, 1961
- 104.-Nagaki M., Nacamura H., Some considerations on the cruciform test, Metal construction an British Welding Journal, 1970, 4
- 105.-Nesnov V.G., Orlov V.M., Izgotovlenie montaj tehnologiceskih truboprovodov, Gosstroizdat, 1961
- 106.-Nădășan St., Boleanțu L., Studii și cercetări de rezistență de materiale, 1962, EDP București, 1965
- 107.-Nădășan St., Probleme de rezistența materialelor. EDP, 1968 București
- 108.-Neifelvo I.E., Falkevidi A.S., Livgiț L.S., Kontrolni kacestva svarki na stroitelstve, Gosstroizdat, 1960
- 109.-Neyret M.R., Metale capabile să lucreze la temperaturi ridicate și la solicitări puternice, Industrie chimique, Belgia, vol.51 nr.11, 1966, p.1115-1128
- 110.-Nicolae V.G., Napriajenia i deformații pri svarke, Maggiz, 1952
- 111.-Nippes E.F., Nelson, E.C., Prediction of Weld Heat Affected zone Microstructures from continuous, Cooling Transformation The Welding Journal, nr.7, 1958
- 112.-Nippes E.F., The Weld Heat-Affected zone on The Welding Journal nr.1 1959
- 113.-Nițu V., Progresele realizate în proiectarea și execuția centralelor termoelectrice, Rev.energetica, nr.8-1964 pag.69-79
- 114.-Noren T., Jernkontor annual, 196 (1952), 511, Rev.Metall, 9(1954) Extr.574

- 115.-Noren T., Schweizer Archiv. nr.6, 1955
- 116.-Odegard O., Evans G.M., Cristensen N., Aparent diffuzivity of hydrogen in multi-run metal one weld deposits, Metal Construction and British Welding Journal 1971, 2
- 117.-Ming I.L. Dopuscenie naprajenia v masinostroenii i tieliceskaia procinost metallov, Moskva, Magghiz, 1962
- 118.-Odin. I.A., Ivanova V.S., Burduski V.V., (Grománov V.N., Teoria palzuceshi i dlitelnoi procinosti metallov, Moscva, Metalurghis Sat, 1959
- 119.-Kerblom N.O. Svarocinoc naprajenia v metalla constructiiah, Magghiz, 1958
- 120.-Brown E., Energy criteria of facture, elding Journal, vol.34, 1955, p.157
- 121.-Pavel. A., Asupra criteriilor de apreciere a rezistenței oțelurilor lucrind sub sarcină la temperaturi ridicate in cazul utilajelor termoenergetice și tehnologice, partea I, II, standardi sare, vol.19 nr.8, 9, 1967, p.303- 404 (I), p.449-460(II)
- 122.-Pavel A.-Studiu privind stabilirea criteriului de utilizare a oțelurilor CrMo pentru elementele conductelor din termocentra lele electrice (IPG) București, 1971
- 123.-Pavel A., Oțeluri in construcția conductelor termoenergetice Of.de documentare tehnică, București, 1971
- 124.-Pavel A., Studiu privind prelungirea duratei de serviciu a conductelor termoenergetice (IPGG) București, vol.I, 1969, vol.II 1970
- 125.-Pavel A.- Producerea transportul și distribuția energiei electrice și termice, Rev.Energetica, nr.5, nr.2, nr.3, nr.4, 1972 București
- 126.-Petrov G.L., Tumarev I.V., Teoria svarocinih protesov, Moscova iz.Visaia Scola, 1967

- 127.-Polinskaja L.A., ș.a. Metallovezenie termiceasca obrobotka metalov, nr.3, 1976, p.39-41
- 128.-Popovici V, Sovială C., Considerații privind acțiunea reciprocă între metale și gaze, vol.6, p.15-45, Cursuri de perfecționare în domeniul sudării (CNIT) București, 1971
- 129.-Popovici V, Surgeanu I., Radu C., Recomandări privind caracterizarea comportării tehnologice la sudare a electrozilor înveliți Cursuri de perfecționare în domeniul sudării (CNIT) București 1970
- 130.-Pridentsev M.V., Lenskaia K.A., Stali dlia katlostroenia, Moskva Metalkurghizdat, 1957
- 131.-Prokofov N.K., Coriace tescini pri svarke, Bagghiz, 1959
- 132.-Prohorov N.K. Coriace tescina pri svarke, Bagghiz, 1962
- 133.-Radu Dumitru, Studiul fabricării electrozilor de sudură pentru locomotiva Diesel electrică, în colaborare cu ISCT, IC.M- București, IPVT, 1960 (poz. 135 plan tehnic departamental)
- 134.-Radu Dumitru, Studiul fabricării electrozilor pentru încălzirea prin sudare a matrițelor și ștanțelor (IC.M București, ISCT, IPVT, plan tehnic departamental, 1959, poz. 145)
- 135.-Radu Dumitru, Contribuții privind realizarea unor îmbinări sudate la conducte cu pereți groși din oțeluri termorezistente, 1969, Buletin IPT
- 136.-Radu Dumitru, O nouă soluție de pregătire a rostului de sudare la țevi cu pereți groși din oțel termorezistent, Conferința de sudură și încercări de metale, 6-8 sept.1971, p.1 7-115
- 137.-Radu Dumitru, Brevet inovație nr.253 13.04.1971 IPVT 1972
- 138.-Radu C., Șporea Ioan, Studiu comparativ privind sudarea conductelor din oțel termorezistent 12X13 cu electrozi înveliți indigeni. A IV-a conferință de sudură și încercări de metale, vol.1, 1968

- 139.-Radu D., Sporea I., Sudarea combinată utilizând arcu electric în mediu de argon la îmbinările cap la cap a țevelor din oțel termorezistent 12X1M0 (12H1LF) folosite în montajul termocentralelor (A \sqrt{t} -a conferință de sudură și încercări de metale, vol.1 1969).
- 140.-Radu D., Sovțială C., sudarea oțelurilor aliate feritice cu CrMo și CrMoV, vol.3, p.196-212, Cursuri de perfecționare în domeniul sudării (CNIT) 1970
- 141.-Radu D.g.a., Cercetări cu privire la comportarea la sudare a electrozilor de fabricație indigenă destinați sudării oțelurilor termorezistente, Contract colaborare 1962-1972 I.C.T și Energomon-taj București, IPTVT
- 142.-Bikalın H.von și Wirtz H., Ksciot teplavih protecov pri svarke Moscova, Maghiz 1951
- 143.-Rollason B.I. and Roberts D.F.I., operating data for the Murex Hotcrack Testing Machine u. British Welding Journal, 1954
- 144.-Rossoginski A.A., Metallografia svarnih, svov. Moscva Kiev Maghiz, 1961
- 145.-Rotenstein B., Transformarea austenitei la răcirea continuă și diagramele termocinetice corespunzătoare pentru trei oțeluri românești, București, Cercetări metalurgice, ICMM, nr.8, 1966
- 146.-Rozet D., și colab. în Welding Journal 1958, (27) pag.484
- 147.-Sălcăgean Tr., Fenomene fizice și metalurgice la sudarea cu arcu electric a oțelurilor, EA,RSR, 1963
- 148.-Schierenbeck, Wickelverfahren von Synthess - hochdruck-hohekurpen Brenstoff chemie vol.31 (1950) nr.23/24 ag.375
- 149.-Schumann .., Metalurgia fizică, ET București, 1962
- 150.-Seferian .., Metallurgie de la soudure, Tuncod Paris 1965
- 151.-Sorsorov M.H. Socovov V., Temperaturații interval obrazovania goracih breccin pri svarke davleniem adnofaznih nikeliev splavov Svarocinoc proizvodstva nr.4 1962

- 152.-Surgean I. Zikely M., Acțiunea azotului și hidrogenului asupra proprietăților fabricărilor sudate, vol.6 p.13-45, Cursuri de perfecționare în domeniul sudurii (CNIT) București, 1971
- 153.-Sarițu C., Tratatul termic al ansamblelor sudate din oțel aliat, vol.5, pag.174-196, Cursuri de perfecționare în domeniul sudurii (CNIT) București 1970
- 154.-Trușculescu M., Studiul metalelor, EFP, București 1971
- 155.-Turner M.J. The Welding Journal of Higher Tensile Steels Used in Shipbuilding, Metal construction and British Welding Journal (M C and B&J) 1970, 10
- 156.-Ukalov G. ., Electrozi HEM pentru sudarea oțelurilor CrMo Revista Sudura, nr.7 iulie 1955 p.67-69
- 157.-Umanakii I.S. idr. Fiziceskoe metalovedenie gl.IV Metallurgizdat, 1955
- 158.-Valea Ioan. Contribuții la fabricarea electrozilor pentru sudarea oțelurilor de construcții aliate cu CrMnSi, INT 1962, nr.7/1964
1/44
- 159.-Valea Ioan, Electrozi, sîrme și fluxuri fabricate la Industria Sîrmei din Cîmpia Turzii (ISCT) vol.2 p.99-134, Cursuri de perfecționare în domeniul sudurii CNIT, București 1970
- 160.-Valea Ioan, Disocierea apei și a altor compuși chimici din inveliuri și fluxuri în spațiul arcului electric. Sursele de hidrogen în procesele de sudare prin topire. vol.6, p.1-15 Cursuri de perfecționare în domeniul sudurii București, 1971
- 161.-Veldrich C.B., The Welding Journal vol.26, nr.2, 1947, p.153
- 162.-Hever et Rose A., Atlas zur Wärmebehandlung Max Planck Ins für Eisenforschung Verein Deutscher Eisenhütten (1954-1956)
- 163.-Zaruba I.I și colab. Svarka v uglecialam gaze. Kiev, Ciistenizdat 1960-1970

- 164.-Zaslavskaja L.V. și colab. Vtorocinaia tverdot v stalih, legirovanih vanadiem, molibdenom, ili titanom, izv.A.N.SSSR, seria fiz.vol.XC nr.6, 1956
- 165.-Kemsin V.N., Svarnie soedinenia raznorodnih stalei, Moscva, Maginostroenie 1966
- 166.-Zorkeczy B., Hegestesz anyagismeret, Budapest, Tankönyvindo 1963
- 167.- x x x Correlation of the cruciform test with the implant test
Doc.IIS-IX-810-72
- 168.- x x x Metallovedenie i termiceskaia obrabotka
Metallurgizdat 1956
- 169.- x x x Raportul Comisiei a IX-a a IIS. Reuniunea anuală
Paris 1965
- 170.- x x x Raport an Subcomission Activites 197./1971
Doc.IIS-II-591-71
- 171.- x x x Sandvik Edelstahlohre, Sandvik-Suedia 1962
- 172.- x x x Spravocinik po svarke t.2, Maghiz 1961
- 173.- x x x Spravocinik po svoietvam stalei primeniaenih v kotlaturbostroenii, Maghiz, 1958
- 174.- x x x STAS 2881-68
- 175.- x x x STAS 8183-68
- 176.- x x x STAS 8184-68
- 177.- x x x STAS 8185-68
- 178.- x x x Studiul fabricației electrozilor de sudură pentru locomotiva diesel electrică, ISCT. ICRM București, IPTVT, 1960, poz. D-135, plan departamental
- 179.- x x x Studiul fabricării electrozilor pentru fabricarea prin sudare a matritelor și ștanțelor, Plan tehnic departamental, 1959, paz. D.145

- 180.- x x x The royal Norwegian Council for Industrial and Scientific Research, Correlation of the Cruciform test with the implant test, ROC IIS-IX-816-1972
- 181.- x x x Schweißen und Sonderheft, 1954, p.66
- 182.- x x x The Welding Journal, nr.8, 1953, p.489
- 183.-T x x x Teoria svarocinih procesov, M.1951
- 184.- x x x British Welding Journal, nr.7, 1955, p.316
- 185.- x x x British Welding Journal, nr.7, 1955, p.305
- 186.- x x x Svarocinnoe proizvodstvo, nr.6, 1958, p.18
- 187.- x x x Machine Design, nr.5, 1955, p.166
- 188.- x x x British Welding Journal, nr.4, 1955, p.151
- 189.- x x x British Welding Journal, nr.2, 1956, p.52
- 190.- x x x Grosse Schweißtechnische Tagung, Frankfurt am Main 1955
- 191.- x x x The Welding Journal, nr.2, 1957, p.67
- 192.- x x x Brown Boveri, Mitt. nr.6-7, 1957, p.27
- 193.- x x x Schweißtechnik, 19, nr.11, nov.1955, p.1 3-138

SEMPLURI FOLOSITE

- A - constantă
- A - secțiunea cusăturii
- A_1 - secțiunea metalului topit din materialul de bază
- A_2 - secțiunea metalului topit din materialul electrodului
- A_c - aria suprafeței sirnei electrod
- A_1, A_2 - coeficienți numerici depinzând de material
- A_{c1}, A_{c2}, A_3 - temperaturi critice
- a - difuzivitatea
- a - coeficient numeric depinzând de temperatură
- a, a_1 - coeficienți ale căror valori sînt constante pentru un anumit oțel
- b - lățimea probei
- b, b_1 - coeficienți ale căror valori sînt constante pentru un anumit oțel
- c - întrepătrunderea straturilor
- c - căldura specifică
- c_1, c_2 - constante experimentale
- D - coeficient numeric
- D_e - diametrul exterior
- D_i - diametrul interior
- D_{ne} - diametrul nominal exterior
- $D_{ne} - \Delta_{ne}$ - toleranța admisibilă maximă
- D_{en} - diametrul exterior minim
- D_{eM} - diametrul exterior maxim
- D_{in} - diametrul interior minim
- D_{iM} - diametrul interior maxim

- HB_0^t - duritatea de durată
h - înălțimea cusăturii
 h_1 - pătrunderea
 h_2 - supraînălțarea
 I_s - curentul de sudare
j - densitatea de curent
k - coeficient numeric
KCU - rezistența la șoc
l - lungimea țevilor sau tuburilor
l - lungimea electrodului
 l_0 - lungimea între repere a probei
m - coeficient de participare al metalului de bază la formarea cusăturii
n - coeficient de participare al metalului de adăos la formarea cusăturii
n - coeficient unghiular
Q - energia de activare
p - presiunea
R - constanta gazelor (constanta lui Boltzmann)
R - rezistența electrică a sârmei electrod
s - grosimea de rezistență a peretelui
 s_1 - grosimea totală a peretelui
s - -toleranța admisibilă maximă
T - temperatura absolută
t - timpul de sudare (încălzire)
 T_c - temperatura de topire
 T_F - temperatura de fluaj la oțeluri termorezistente
 t_F - temperatura de fluaj la oțeluri obișnuite
 v_s - viteza de sudare
 v_1 - temperatura inițială a capătului electrodului

v_2 - temperatura finală la încălzire

δ^s - gîtuirea la rupere

$w_f \text{ min}$ - viteză minimă la fluaj

w_{fm} - viteză medie la fluaj

α - coeficient de transmitere a căldurii

$\beta, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ - unghiuri la fluaj

γ - masa specifică

δ^s - alungirea la rupere

δ_s - alungire relativă

ϵ_r - deformația specifică remanentă totală

ϵ_{rfa} - deformația specifică remanentă de fluaj admisibilă

ϵ_1 - eroarea maximă posibilă între două țevi cu diametre interioare

ϵ_e - eroarea maximă posibilă între două țevi cu diametre exterioare

ϵ_0 - deformația relativă inițială

ϵ_{rp}^1 - rezervă de plasticitate

$\epsilon_1^1, \epsilon_2^1, \epsilon_D$ - deformația relativă

ϵ_{rx} - deformație de relaxare

$\Delta \epsilon$ - limita deformației specifice

ξ - coeficient de neuniformitate

η - randamentul încălzirii

ϑ_{max} - temperatura maximă de topire

ϑ_{top} - temperatura de topire

λ - conductibilitatea termică

μ - coeficient de formă a cusăturii

\bar{J}_r - rezistența la rupere

\bar{J}_e - rezistența la curgere

$\bar{J}_{0,2}$ - limita de curgere tehnică la fluaj

$\bar{J}_{1/1000}$ - limita tehnică la fluaj

$\bar{J}_{1/t}$ - limita tehnică de fluaj

\bar{J}_c - limita convențională la fluaj

\bar{J}_c^s - limita convențională la fluaj

- σ_{rf} - deformația remanentă la fluaj
- σ_d^t - rezistența tehnică de durată
- σ_z - efort unitar la un moment dat
- σ_0 - efort unitar inițial
- $\tau, \tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_3'$ - durata de stadiu la fluaj
- τ_s - durata convențională de serviciu
- τ_{cal} - durata de cald
- $\Delta\tau$ - creșterea timpului
- τ_{r1} - durata de distrugere
- ϕ_0 - diametrul electrodului
- φ_0 - coeficient
- ψ - contracția