1.PRINCIPII DE RECONDITIONARE A COMPONENTELOR

Aplicarea sudării şi tehnicilor conexe (lipire, pulverizare termică, procedee specifice de recondiţionare) la reparaţii, recondiţionări şi încarcari:

- De ce s-a defectat, uzat, respectiv în ce scop se încarcă piesa?
- Ce performanţe se aşteaptă de la piesa care a fost reparată, recondiţionată sau încărcată prin sudare şi procedee conexe ?
- Care procedeu de sudare sau conex acestuia şi ce fel de material pentru sudare sau orice consumabil este cel mai indicat ?

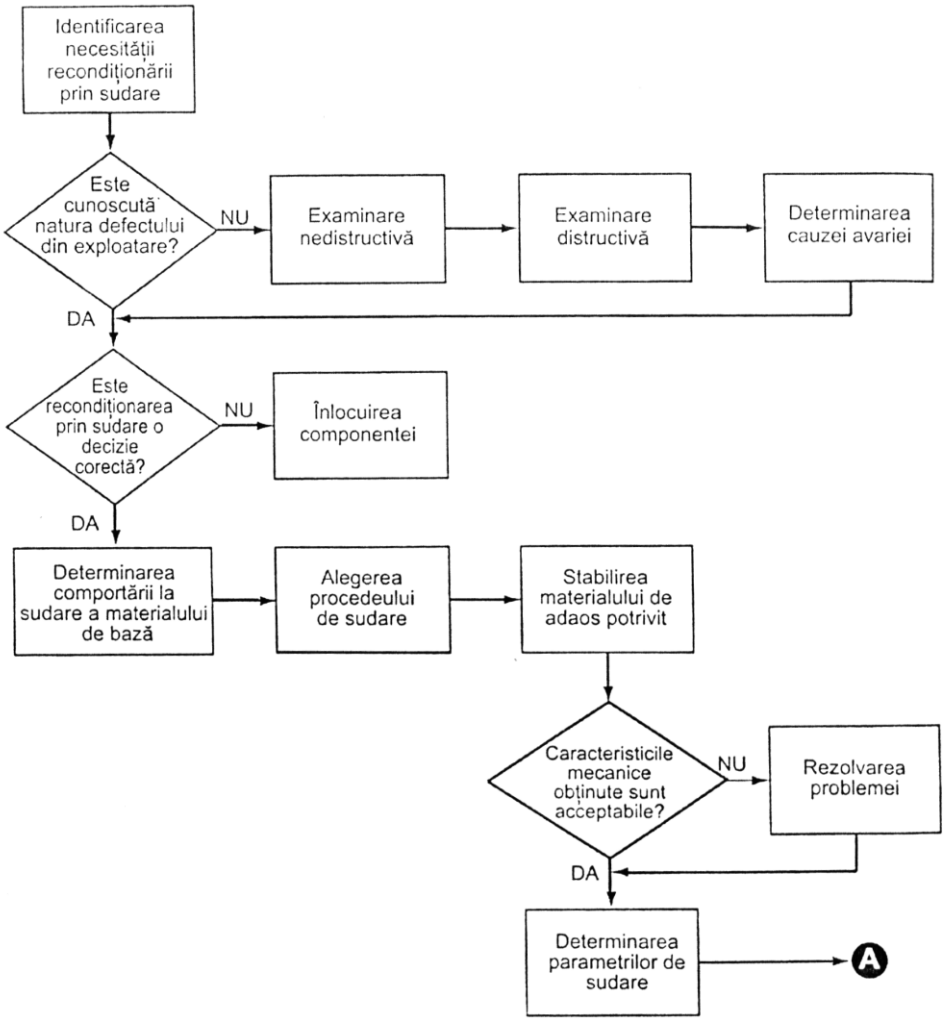
Răspunsul la ultima întrebare depinde de rezolvarea primelor două probleme, de materialul de bază, grosimea şi funcţionalitatea piesei considerate în subansamblul dat.

După clarificarea celor trei întrebări tehnice, se va face un calcul economic al operaţiei de reparare, recondiţionare sau / şi încărcare. Numai dacă piesa încărcată este mai ieftină decât o piesă nouă, sau nu mai poate fi procurată în timp util se va proceda la repararea (recondiţionare) acesteia.

Modul, în care se reparară, recondiţionează sau încarcă o piesă metalică , depinde de următorii factori:

- Operaţia este necesară din cauza modului de exploatare, survenind cu o periodicitate previzibilă sau piesa nu mai corespunde din cauza unui eveniment imprevizibil ?
- Piesele metalice devenite accidental nefuncţionale se vor opera numai după clarificarea cauzelor evenimentului şi estimarea probabilităţii de reparare a lui ?
- Nu se fac reparaţii, recondiţionări sau / şi încărcări prin sudare a pieselor în

următoarele situaţii: piesa este în termen de garanţie, piesa aparţine unor domenii în care reparaţiile sunt interzise, piesa nouă este mai ieftină decât cea reparată, recondiţionată sau încărcată. O sistematizare a tuturor aspectelor de ordin funcţional şi



tehnologic în ceea ce priveşte identificarea necesităţii recondiţionării. Acestea sunt redate în figurile 1.1 şi 1.2(continuare).

Fig.1.1. Sistematizare informaţii şi date referitoare la necesitatea recondiţionării

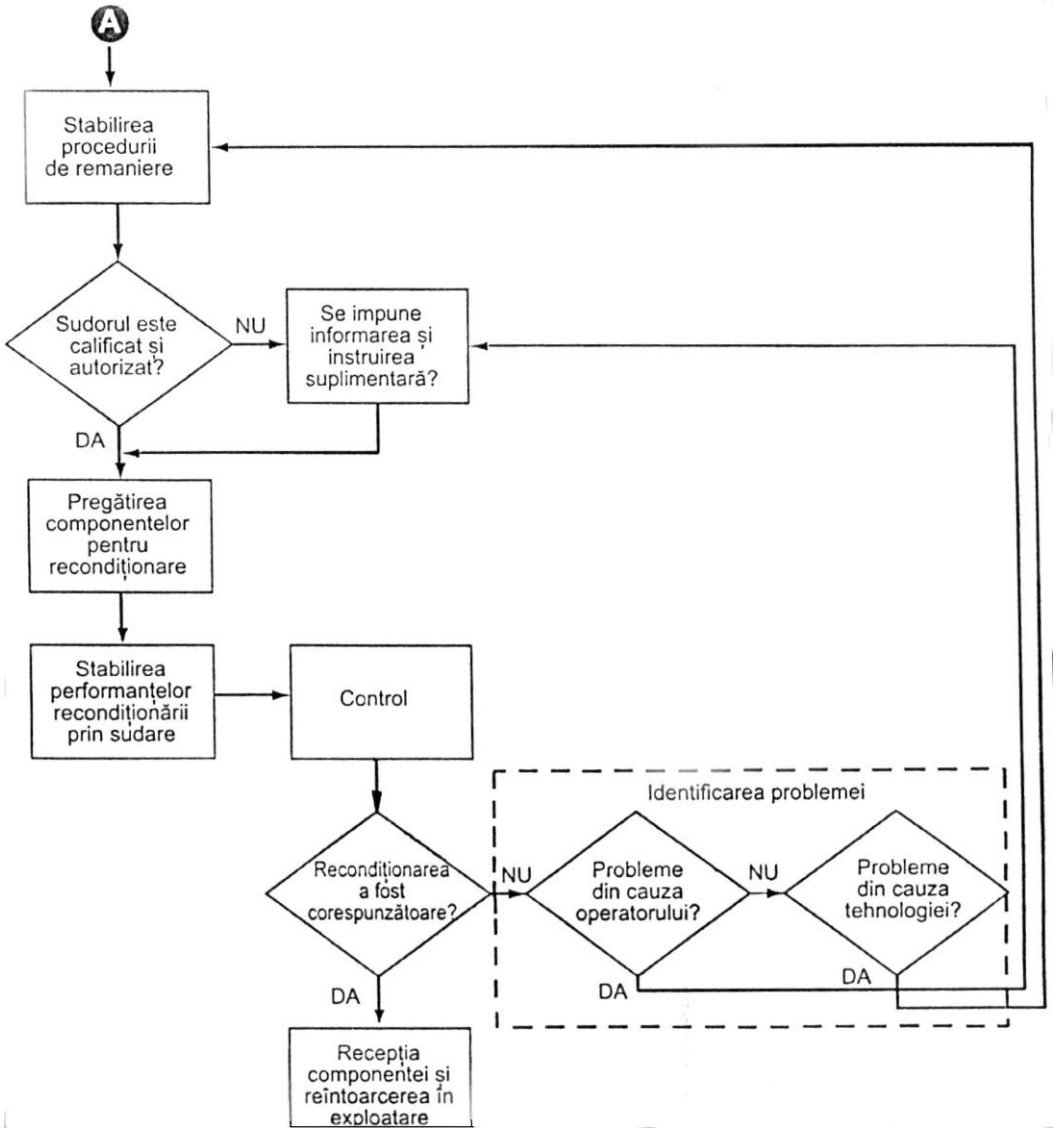


Fig.1.1. (continuare) Sistematizare informaţii şi date referitoare la necesitatea recondiţionării

-Criterii pentru alegerea eficientă a procedeelor şi a materialelor de încărcare

Alegerea procedeelor şi a materialelor de încărcare prin sudare şi tehnici conexe, în vederea recondiţionării este o problemă majoră, ce poate avea numeroase implicaţii. În această etapă trebuie să se asigure posibilitatea de obţinere a unor piese încărcate cu o eficienţă cât mai ridicată din punctul de vedere al execuţiei, al siguranţei în exploatare, fiabilităţii, al costurilor specifice şi al costurilor totale .

Cele două laturi ale procesului de alegere a procedeelor şi de selectare a materialelor de încărcare se intercondiţionează şi depinde de factorii tehnico-economici.

Alegerea procedeelor de încărcare

Procesul de alegere a procedeului de încărcare este influenţat în principal de trei grupe de factori decizionali, tehnici, economici şi umani (de igienă, protecţia muncii, protecţie ambientală, ergonomie) .

Factorii tehnici sunt:

- Volumul depunerilor
- Configuraţia depunerii
- Diluţia metalului depus cu metalul de bază

- Poziţia în care se poate face încărcarea cu procedeul respectiv
- Condiţiile de execuţie a încărcării, funcţie de temperatură
- Metalele şi aliajele lor ce se pot încărca cu procedeul respectiv
- Ş.a.m.d.

Factorii economici sunt:

- Productivitatea
- Investiţiile (eventual)
- Cheltuielile de producţie.

Factorii umani:

- personal necesar, cu calificare corespunzătoare
- condiţii de igienă, protecţia muncii şi de protecţie ambientală, strict necesare
- urmărirea asigurării condiţiilor de ventilaţie, iluminat, poziţii corespunzătoare de lucru şi condiţii necesare din punct de vedere ergonomic.

Selecţia procedeelor de încărcare a unei serii de fabricaţie date se face în două etape şi anume:

- Pe baza factorilor tehnici se selectează procedeele neutilizabile de cele utilizabile, iar cele din urmă se ordonează în funcţie de nivelele calitative ce se pot obţine;
- Procedeele rămase din prima etapă se analizează din punctul de vedere al preţului de cost sau al altor condiţii restrictive şi se ordonează în funcţie de eficienţa economică de realizare a producţiei date la anumite niveluri calitative.

Criterii de alegere a materialelor de adaos pentru recondiţionare

Se poate aprecia că alegerea materialelor de încărcare prin sudare prezintă cel puţin trei aspecte, care se intercondiţionează reciproc şi anume:

- Aspectul tehnologic, care se referă la compatibilitatea metalului de bază cu cel de adaos şi la influenţa parametrilor de încărcare asupra caracteristicilor piesei obţinute;
- Aspectul economic, prin care se apreciază efectele obţinute prin încărcare;
- Aspectul asigurării protecţiei ambientale.

Procesul de încărcare cu materiale cu proprietăţi speciale şi rezultatul acestuia este influenţat în mare măsură de caracteristicile şi specificul materialelor introduse în lucru.]. Din această cauză, pentru o selectare raţională a materialelor de adaos este necesară cunoaşterea în detaliu atât a cerinţelor de exploatare, cât şi a caracteristicilor fizico-chimice, tehnologice şi economice ale materialelor utilizabile şi a corelaţiilor dintre ele.

Succesiunea factorilor, care intervin la alegerea materialelor pentru încărcare este dată în figura.2.

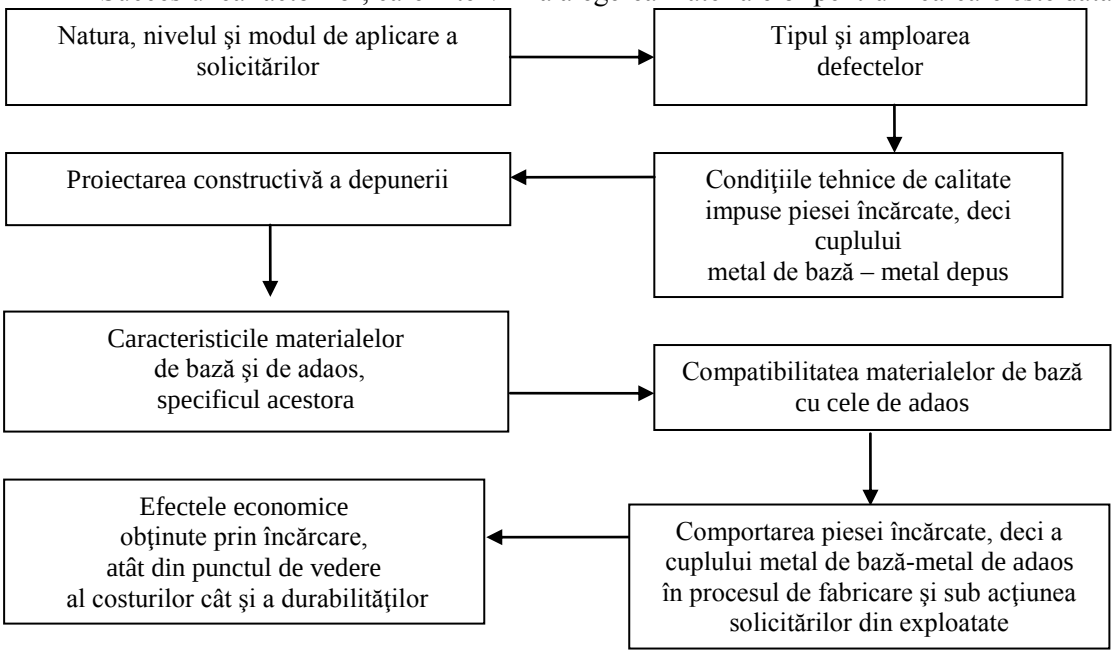


Figura.2. Succesiunea factorilor care intervin la alegerea materialelor pentru încărcare pentru recondiţionare

Recondiţionarea se face cu procedeul şi tehnologia proprie (potrivită) reparaţiei, recondiţionării sau încărcării, compatibile cu materialul de bază, grosimea pieselor şi condiţiile de funcţionare.

La conducerea proceselor de încărcare se urmăreşte ca în final depunerea să conţină constituenţii doriţi, iar aceştia să prezinte un raport optim, între cantităţile lor şi o distribuţie a acestora, care să conducă la obţinerea performanţelor proiectate. Elaborarea tehnologiilor de încărcare, în vederea recondiţionării se face succesiv în trei etape distincte şi anume:

- Proiectarea tehnologiei de încărcare prin sudare;
- Verificarea experimentală şi certificarea tehnologiei elaborate;
- Verificarea pieselor recondiţionate şi urmărirea acestora în condiţii concrete de execuţie şi exploatare.

Fiecare etapă tehnologică este alcătuită dintr-o succesiune de secvenţe.

În proiectarea constructivă, urmărindu-se protecţia şi consolidarea suprafeţelor active ale pieselor încărcate se parcurg două etape:

a. Proiectarea configuraţiei geometrice a depunerii.
b. Stabilirea modului de pregătire a piesei în vederea încărcării pentru recondiţionare.

Pregătirea pieselor pentru reparare, recondiţionare sau încărcare se face parcurgând trei etape obligatorii:

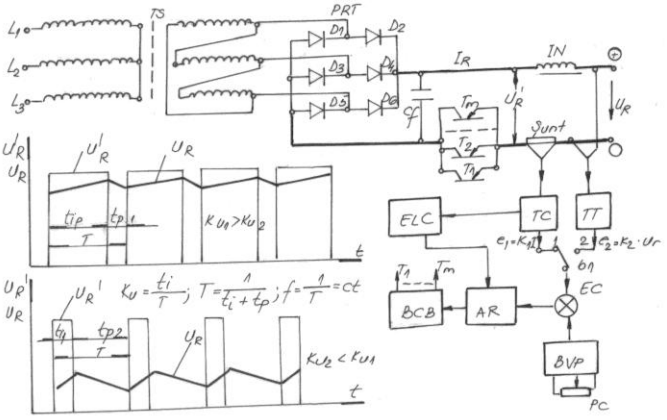
- curăţirea externă a pieselor, astfel încât suprafeţele lor să nu mai aibă nicio altă urmă de materiale (uleiuri, vaseline, rugină, alte depuneri) apărute în timpul exploatării lor;
- îndepărtarea regiunii defecte (scoaterea fisurilor, porilor, incluziunilor) şi eliminarea concentratorilor de tensiune (încrestări, schimbări bruşte de secţiune) prin racordări bine alese;
- poziţionarea pieselor pentru sudare şi asigurarea condiţiilor termice corespunzătoare prin raportarea la materialul de bază.

2. Echipamente sudare prin topire

2.1. Analiza surselor moderne de sudare

Sursă de sudare cu tranzistoare în regim de comutatie

Sursa este formata dintr-un transformator TS cu caracteristica externa rigida care are în secundar o punte redresoare trifazata PRT cu 6 diode, condensatorul de filtrare C_f, inductanţa de netezire IN şi un bloc de tranzistoare $T_{1,2}$…..T_n montate în paralel şi de asemenea montate pe radiatoare răcite forţat cu aer.



Sursa sinergica cu tranzistoare in comutatie

Aceste tranzistoare sunt deosebite de cele standard pentru că lucrează în regim de comutaţie la frecvenţe mai mari de 20 KHz. Funcţie de varianta de tranzistoare utilizate, numărul lor poate varia de la 1-2 buc. pentru tranzistoarele IGBT (tranzistor bipolar cu baza izolată) sau 10….20 buc. pentru tranzistoarele MOSFET.

Bucla de reglare automată este identică cu a unui redresor cu tiristoare cu singura deosebire că se dă comanda de reglare a tranzistoarelor pe bază prin blocul BCB, tranzistoarele funcţionând fie in situatie de a conduce la saturaţie fie la blocarea conductiei.

Coeficientul de umplere $k_u = t_i/T$ (PWM-Power Wave Modulation) se reglează in functie de timpul de pauza si timpul de conductie a tranzistoarelor, frecvenţa de lucru a tranzistoarelor fiind constantă. In figură sunt prezentate graficile pentru cele două limite ale reglării, minimă si maximă.

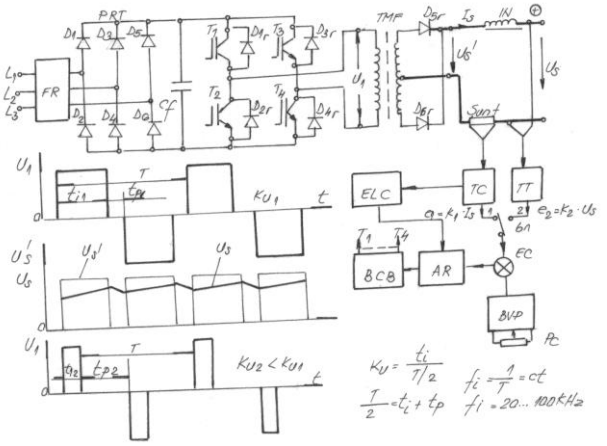
Deoarece tranzistoarele functionează în regim de comutaţie pierderile pe blocul de tranzistoare sunt mai reduse decât dacă ar lucra în regim de conducţie variabilă, ***iar timpul de reacţie este sub 20μs pentru o***

frecvenţă de 100 KHz. Greutatea şi gabaritul sursei este comparabil cu a unui redresor cu tiristoare. Datorită timpului de reacţie extrem de redus schema poate fi utilizată perfect pentru procedee şi performanţe ca de exemplu sudarea pulsat sinergic. Randamentul este comparabil cu a unei surse cu tiristoare 0,8 …..0,85. Pentru că tensiunea din circuitul de sudare este redusă (sub 113V) preţul acestor tranzistoare speciale este mai redus decât al celor utilizate la alte surse. Datorită acestui fapt astfel de surse se construiesc mult în prezent pentru sudarea MIG/MAG, WIG, SE şi pentru tăiere cu plasma de aer .

Surse cu invertor in punte simetrica

Varianta în punte simetrică prezentata in figura arată că sursa este legată direct la reţeaua trifazată printr-un filtru de reţea care alimentează puntea redresoare PRT cu 6 diode D_1 - D_6.

Se mentionează că la curenţi sub 180A puntea redresoare este monofazată şi reţeaua de alimentare este monofazată, 230V. Condensatorul C_f asigură netezirea tensiunii redresate. Această tensiune continuă şi netezită este convertită prin cele 4 tranzistoare T_1….T_4 într-o tensiune alternativă U_1 de formă dreptunghiulară şi cu durata alternanţelor t_i reglabilă. În alternanţa pozitivă conduc simultan tranzistoarele T_1 şi T_4, iar în alternanta negativă tranzistoarele T_3 şi T_2. Diodele rapide D_{1r}……D_{4r} protejează tranzistoarele la supratensiuni (care apar prin fenomenul de inductie electromagnetică la blocarea tranzistoarelor) şi de obicei sunt montate în aceeasi capsulă cu tranzistorul de fortă. În momentul de faţă firmele livrează module cu câte 2 tranzistoare şi două diode încorporate sau chiar un singur modul care înglobează toate tranzistoarele şi toate diodele .



Sursa cu invertor in punte simetrica

Tensiunea alternativă U_1 de valoare ridicată de exemplu 570V pentru o tensiune de reţea de 3x400V este coborâtă prin transformatorul cu miez de ferita TMF la valoarea necesară pentru sudare apoi este redresată cu schema de redresare cu punct median formată din diodele D_{5r} si D_{6r}. Tensiunea este netezită cu inductanta de netezire IN. Graficele tensiunilor U_1, U_s' şi U_s sunt reprezentate in figură. În ultimul grafic este prezentată forma tensiunii U_1 pentru un coeficient de umplere K_u mai redus. Bucla de reglare automată este identică cu aceea utilizată la orice altă sursă comandată. Cu comutatorul b_1 pe poziţia 1 se obţine caracteristica brusc coborâtoare, iar pe poziţia 2 caracteristica rigida. Blocul de comandă pe bază BCB modifică aşa numitul coeficient de umplere K_u (a cărei expresie este redată si in figură):

$$k_u = \frac{t_i}{t_i + t_p}$$

unde: t_i – timpul de impuls (de conductie)

t_p - timpul de pauza (de blocare)

Pe caracteristica rigida trebuie să existe blocul de limitare superioară a curentului ELC. Toate diodele D_{1r}...D_{6r} trebuie să fie diode ultrarapide care pot funcţiona la frecvenţa de lucru a invertorului.

Datorită frecventei înalte a tensiunii alternative U_1 de 20...100KHz şi absenţei transformatorului de reţea masa sursei se reduce de aproximativ 10 ori prin reducerea spectaculoasă a greutăţii transformatorului pe miez de ferită şi a inductanţei de netezire. Sectiunea necesara a miezului transformatorului q_{Fe} se calculeaza cu relatia:

$$q_{Fe} = U_1/4{,}44f\, W_1\, B_{adm}$$

în care: f - frecvenţa tensiunii, B_{adm} – inductia pentru ferită.

Se utilizează ferită în locul tolelor din table silicioasă datorită frecvenţei mari de lucru al invertorului. Sursa asigură stabilizarea parametrilor de sudare la fluctuaţiile tensiunii reţelei.

Timpul de reactie este foarte redus <200µsec ajungând la 10µsec pentru o frecvenţă de 100KHz. Acest timp de reactie foarte scurt facilitează dezvoltarea procedeelor de sudare cu cele mai înalte pretenţii ca de exemplu MIG/MAG pulsat şi shortarc idealizat (un fel de sinergic).

Obs.: Toate avantajele prezentate mai sus sunt reale, dar în primul rând trebuie subliniate avantajele de ordin tehnologic pe care le asigură această gamă de surse.

Se mentionează că mai există încă cel puţin 2-3 variante de scheme cu invertor denumite în punte asimetrică respectiv în punte semiasimetrică.

2.2. Definiti invertorul de sudare.

Analizati functionarea invertorului din figura. Definiti rolul fiecarui bloc din structura invertorului.

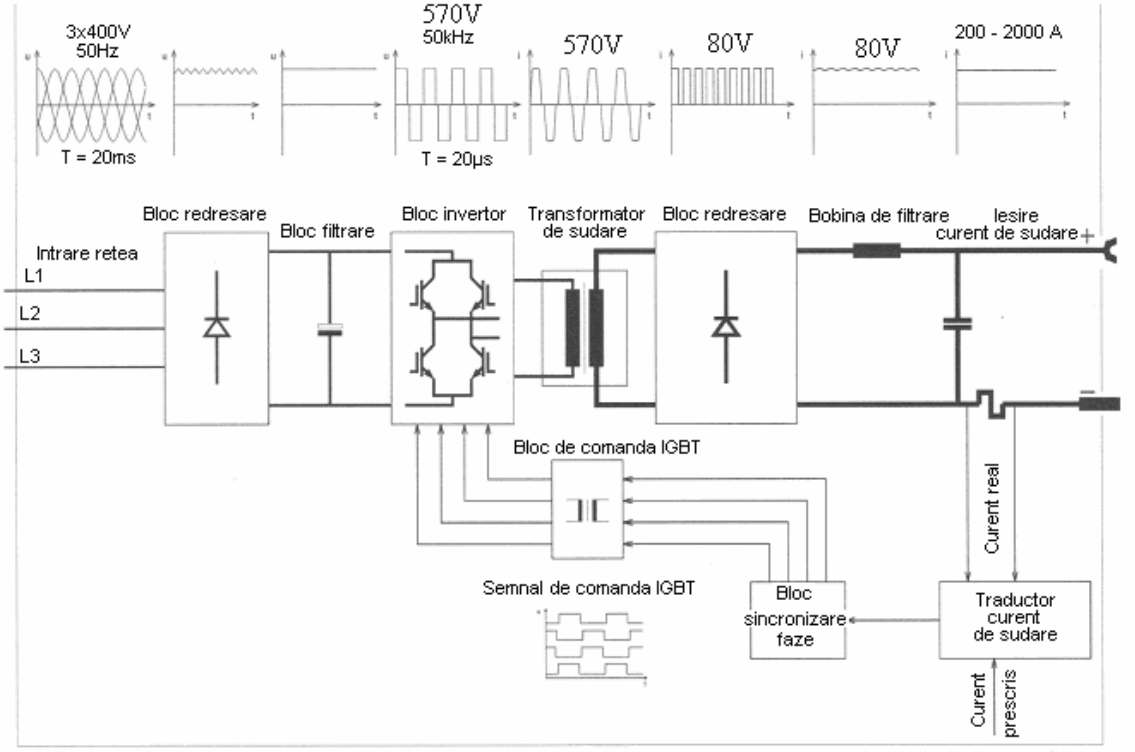


Figura 2.2. Schema bloc a invertorului pentru sudarea bolţurilor cu arcul electric

2.3. **Caracteristicile tehnico-funcţionale principale ale surselor de sudare**

Caract. / Nr. crt.	Simbol	Mărimea nominală	Valori (V)	Frecvenţă (Hz)	Toleranţe
1.	U_{1n} [V]	Tensiunea de racordare la reţea	220(230) 380(400) 3x400	50 50/60 50/60+8E	± 10%
2.	I_{1n} [A]	Curentul absorbit de la reţea pentru I_{sn} şi DA_n			
3.	P_{1n} [W]	Puterea activă absorbită de la reţea	$U_{1n}I_{1n}\cos\varphi$ $\sqrt{3}U_{1n}I_{1n}\cos\varphi$		
4.	S_{1n} [VA]	Puterea aparentă absorbită de la reţea	$U_{1n}I_{1n}$ $\sqrt{3}U_{1n}I_{1n}$		
5.	Q_{1n} [VAr]	Puterea reactivă	$U_{1n}I_{1n}\sin\varphi$ $\sqrt{3}U_{1n}I_{1n}\sin\varphi$		
6.	U_{so} [V]	Tensiunea de mers în gol pentru $I_s = 0$	113 V în c.c 113 V valoare de vârf în c.a. 80 V valoare efectivă în c.a.		Condiţii normale de lucru
7.	U_{so} [V]	Tensiunea de mers în gol pentru $I_s = 0$	113 V în c.c. 68 V valoare de vârf în c.a. 48 V valoare efectivă în c.a.		Condiţii grele de lucru
8.	U_c [V]	Tensiunea convenţională la mers în sarcină	$20 + 0{,}04I_s$; $I_s \leq 600A$ 44 V $I_s > 600A$		SE şi SF
			$10 + 0{,}04I_s$ $14 + 0{,}05I_s$		WIG MIG/MAG
9.	I_{sn} [A]	Curentul de sudare nominal la DA_n	Se dă pentru o durată de funcţionare nominală		
10.	$I_{s\,max}$ [A]	Curentul maxim de sudare			
11.	$\frac{I_{s\,min}}{U_{c\,min}} \ldots \frac{I_{s\,max}}{U_{c\,max}}$ [A/V]	Domeniul de reglare în curent pe tensiune			
12.	$\cos\varphi$	Factorul de putere: $\cos\varphi = P_{1n}/S_{1n}$			
13.	DA_n [%]	Durata activă relativă de lucru. Determină gradul de încălzire pentru un regim bine definit	60% - sudarea cu arcul electric AE 50% - sudarea prin presiune 25%; 35%; 80%; 100%;		$(t_s/t_c)/100$ $t_c = t_s + t_p$
14.	A…H	Clasa de izolaţie în ordinea: A, E, Y, B, C, F, H	A – 80°C H – 180°C		

15.	IP*xy*Z	Clasa de protecţie a sursei	- Împotriva corpurilor solide şi a apei - Protecţia climatică: T-tropicus, A-variatii mari de temperatura, H-hu-midus, F-frigus	*x = 0...5(6)* *y = 0...8* Z = T;A; H; F

3.SUDAREA MATERIALELOR PLASTICE CU GAZ INCALZIT

Procedeul constă în încălzirea suprafeţelor pieselor din MP până la temperatura stării semivâscoase, cu ajutorul unui jet de gaz încălzit (figura 1). Sudarea se poate face cu sau fără material de adaos. Drept agent termic se poate folosi aerul, azotul, oxigenul, argonul sau bioxidul de carbon. Pentru cazuri uzuale se foloseşte cel mai des aerul, iar pentru reducerea oxidării în zona îmbinării sudate, pentru sudarea componentelor cu importanţă deosebită, se foloseşte azotul sau argonul.

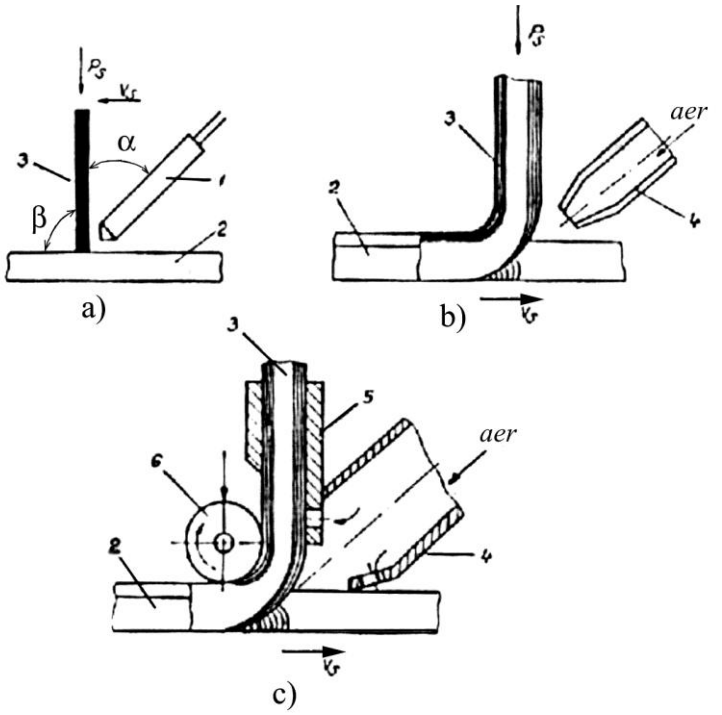


Figura 1. Sudarea cu gaz încălzit: a) principiul sudării; b) sudarea manuală;
c) sudarea mecanizată
(1) echipament de sudare; (2) piesă de sudat; (3) vergea de sudare;
(4) duză de sudare; (5) ghidaj; (6) rolă de presare

3.2 Materiale de bază

Sudarea cu gaz încălzit îşi găseşte aplicabilitatea la sudarea plăcilor din MP sau MCT cu grosime cuprinsă în domeniul 2÷30(50)mm, din următoarele materiale plastice: PVC, PE, PP, POM, PMMA, PA, PIB şi PC, în variantă simplă, uzuală sau armată.

3.3 Materiale de adaos

Materialul de adaos utilizat este sub forma unor vergele de MP având aceeaşi compoziţie sau o compoziţie apropiată cu cea a materialului de bază. Forma secţiunii vergelelor (figura 2) poate influenţa calitatea îmbinării sudate astfel obţinute. Dimensiunile uzuale ale vergelelor de secţiune circulară, se situează în domeniul 2÷6mm. Diametrul vergelei de sudat este în funcţie de grosimea materialului de bază, grosimea sudurii, viteza de sudare cerută şi de rezistenţa necesară a fi obţinută, a îmbinării sudate. Nu se recomandă utilizarea vergelelor cu un diametru mai mare de 4÷5mm, deoarece nu este posibilă asigurarea preîncălzirii uniforme a acestora în timpul procesului de sudare. În unele cazuri, materialul vergelei de sudare trebuie să se deosebească de materialul de bază, fiind necesar să aibă o plasticitate ridicată şi să se caracterizeze printr-o temperatură de înmuiere mai mică decât cea a materialului de bază.

De exemplu la sudarea PVC-ului, se utilizează deobicei un material de adaos ce conţine 10% plastifiant şi numai în cazul în care este necesară obţinerea unei rezistenţe a îmbinării sudate la mediul corosiv se utilizează material de adaos din PVC rigid (identic cu materialul de bază) .

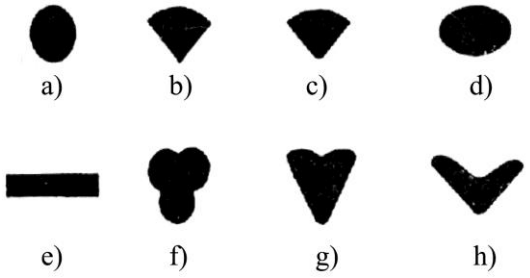


Figura 2. Forma principalelor tipuri de vergele

3.2.4 Tehnologia de sudare

• Pregătirea componentelor pentru sudare

Cu acest procedeu se pot realiza suduri, în variantele tuturor tipurilor de îmbinări sudate: cap la cap, prin suprapunere, în colţ, T etc. Alegerea variantei optime este determinată în principal de grosimea şi proprietăţile materialului de sudat, de particularităţile construcţiilor sudate şi de condiţiile de sudare.

Sudarea pieselor cu grosime de până la 4mm este posibilă fără pregătirea muchiilor. În acest caz este necesară menţinerea între plăci a unui rost de 1÷2mm, pentru asigurarea unei adâncimi de pătrundere uniforme a materialului de adaos. La grosimi de peste 4mm este necesară o prelucrare prealabilă a muchiilor (figura 3). Se impune curăţirea componentelor ce urmează să fie sudate, de regulă cu alcool tehnic .

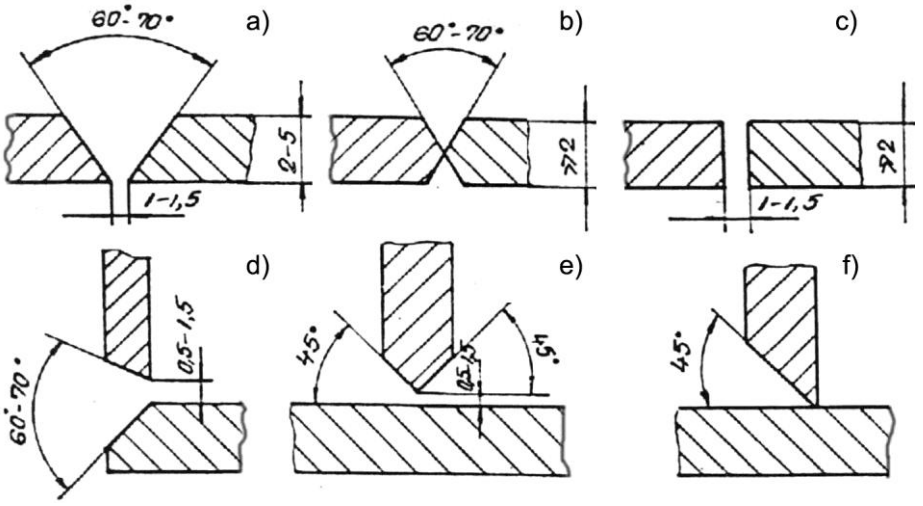


Figura 3.3. Tipuri de rosturi de MP pentru sudarea cu gaz încălzit

• Parametrii tehnologici – Generalităţi

a. temperatura gazului la ieşirea din încălzitor, T_g
b. presiunea gazului la ieşirea din încălzitor, p_g
c. viteza de sudare, v_s
d. unghiul făcut de vergeaua materialului de adaos şi încălzitor, faţă de suprafaţa sudurii
e. presiunea aplicată materialului de adaos, P
f. distanţa cap de sudare - material de bază

Intercondiţionalitatea acestor parametri îţi găseşte imediata rezultantă în rezistenţa îmbinării sudate .

 Temperatura gazului, la ieşirea din încălzitor este stabilită în funcţie de materialul care urmează să fie sudat. Această temperatură trebuie să depăşească cu minimum 50÷100°C temperatura stării semivâscoase a materialului plastic, pentru a se putea compensa pierderile de căldură ce apar pe distanţa încălzitor-suprafaţa piesei de sudat. În tabelul 1 sunt indicate temperaturile aerului încălzitor.

Tabelul 1. Temperatura aerului încălzit, la sudarea diferitelor MP

Material	Temperatura minimă a suprafeţei piesei [^oC]	Temperatura aerului încălzit [^oC]
PVC dur	160	300-350
PVC moale	150	250-300
PP	175	240-280
PE	150	200-280
PMMA	180	250-300
PIB	150	250-300

 Presiunea gazului la ieşirea din încălzitor se alege uzual în domeniul 3,5÷8N/mm^2.Alegerea incorectă a presiunii gazului poate avea drept consecinţă o încălzire insuficientă a pieselor şi a vergelei sau o expulzare a materialului de adaos încălzit din zona sudurii [8, 35].

 Viteza de sudare, împreună cu temperatura gazului-agent purtător de căldură sunt strâns legate. Fiecărei temperaturi determinate îi corespunde o viteză optimă de sudare, la care este posibilă obţinerea unei îmbinări sudate cu rezistenţă maximă. Astfel:

$$v_S = v_o \cdot e^{-\frac{Q}{R \cdot T_g}}$$

în care: v_s= viteza de sudare

T_g = temperatura gazului încălzit

R = constanta universală a gazelor [Kcal/mol ^oK]

v_o, Q = parametrii determinaţi experimental

v_o = 0,5÷1,24 cm/s

Q = 5,8÷6,24 Kcal/mol

Viteza de sudare cu un singur rând de material de adaos se situează în domeniul 0,1-0,3m/min .

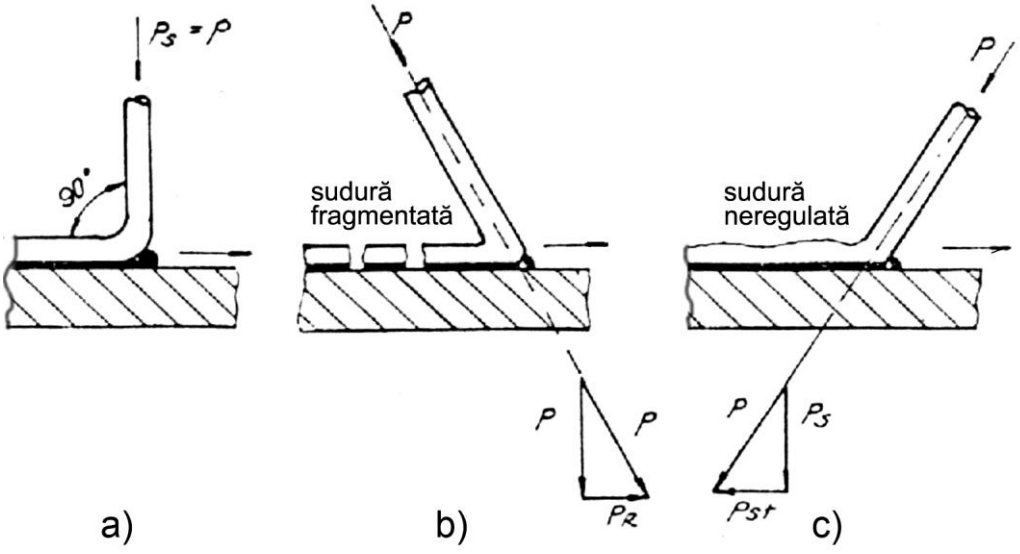


Figura 4 Poziţii de sudare: a) corectă; b, c) incorectă

 Unghiul dintre vergeaua materialului de adaos şi încălzitor, faţă de suprafaţa sudurii (figura 4), depinde de grosimea componentelor, ce urmează a fi sudate.

 = 20-25°, la o grosime a componentelor de s 5mm

 = 30-45° la o grosime a componentelor de s>5mm

Distribuţia corectă a căldurii la sudare, se realizează prin menţinerea unghiului corespunzător al înclinării încălzitorului faţă de suprafaţa sudurii.

Este foarte importantă asigurarea unei poziţii corecte a materialului de adaos, faţă de suprafaţa sudurii. Se recomandă menţinerea materialului de adaos sub un unghi de 90o faţă de suprafaţa sudurii (figura 4).

Dacă unghiul de înclinare <90º, materialul de adaos se încălzeşte pe o porţiune cu lungime mai mare, debitul lui, ca urmare a contracţiei, se măreşte iar în sudură, vergeaua se încovoaie datorită presiunii prelungite.

Dacă unghiul de înclinare <90º,forţa care acţionează asupra vergelei are două componente: una orizontală şi una verticală. Sub acţiunea componentei orizontale, vergeaua pusă în sudură se alungeşte, la răcire putând să se rupă.

 Presiunea aplicată materialului de adaos, este în funcţie de echipamentul de sudare folosit şi de materialul de bază ce urmează a fi sudat.

În mod normal presiunea se situează în domeniul 5-50N. O presiune prea scăzută poate duce la o insuficientă pătrundere, iar o presiune prea ridicată conduce la o expulzare nedorită a materialului încălzit din materialul de bază.

 Coeficientul de calitate, ca raport între rezistenţa îmbinării sudare şi rezistenţa materialului de bază, este funcţie de procesul de sudare şi de material, dar totodată, în cadrul unui procedeu de sudare, este funcţie de parametri tehnologici utilizaţi. Valorile obţinute sunt 0,5÷0,8 pentru polietilenă, respectiv 0,6÷0,7 pentru PVC.

 Distanţa cap de sudare- material de bază, l, este situată în plaja de valori l = (5÷7)mm

3.2.5 Echipamentul de sudare

Din punct de vedere al echipamentelor de sudare, sudarea cu gaz încălzit poate fi realizată:

a) manual

b) semimecanizat

Sudarea manuală este cea mai des utilizată, deoarece se pretează la sudarea pieselor cu diverse configuraţii geometrice şi diverse poziţii de sudare.

Neajunsul principal al sudării manuale îl constituie faptul că este foarte greu de asigurat o calitate stabilă a îmbinărilor sudate, deoarece în procesul sudării se pot schimba parametrii regimului şi condiţiile de sudare, dependent şi de factorul uman - îndemânarea operatorului sudor.

Echipamentele de sudare semimecanizată asigură o creştere a calităţii îmbinărilor sudate şi o mărire sensibilă a productivităţii muncii. Pentru sudarea mecanizată se utilizează echipamente, care realizează deplasarea constantă a vergelei de sudare şi menţinerea poziţiei jetului de gaz încălzit, deplasarea respectiv ghidarea acestuia făcându-se manual.

Există şi echipamente mai performante, care asigură deplasarea mecanizată a acestora.

Sudarea mecanizată, faţă de cea manuală, respectiv echipamentele realizate şi utilizate permit utilizarea numai pentru realizarea unor suduri longitudinale, de mare lungime, în cazul îmbinărilor cap la cap, în poziţie orizontală. Utilizarea sudării semimecanizate, respectiv a echipamentelor de sudare semimecanizată, pentru obţinerea de suduri în poziţie verticală sau peste cap, este în prezent, practic imposibilă .

4.SUDAREA CU US A MATERIALELOR PLASTICE SI COMPOZITE

4.1Principiu procedeu

Schema de principiu a SUS a MP este prezentată în figura 1.

MP se sudează numai în cazul, în care oscilaţiile ultrasonice se transmit de la sonotrodă la locul îmbinării, perpendicular pe suprafaţa pieselor, adică în acelaşi sens cu forţa de apăsare statică .

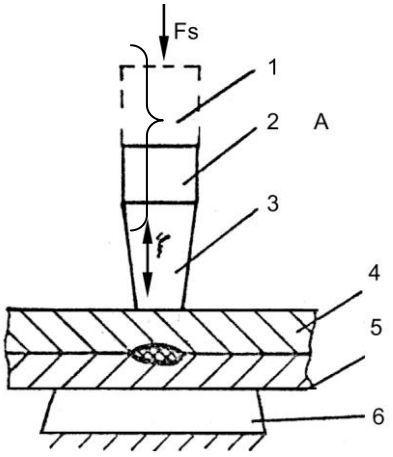


Figura 1. Principiul SUS a MP. A - bloc ultrasonic: 1- transductor; 2- amplificator intermediar; 3- sonotrodă; 4, 5- piese de sudat; 6- dispozitiv de fixare-poziţionare

În mod convenţional se consideră că SUS a MP şi MCT se desfăşoară în două etape. În prima etapă are loc o încălzire a materialelor de îmbinat. Este necesar ca temperatura, care se obţine în zona îmbinării să fie mai mică decât temperatura de degradare termică a MP sau MCT considerat şi mai ridicată decât o temperatură minimă, la care se poate realiza o sudură rezistentă. În a doua etapă, între suprafeţele componentelor de sudat, aflate în contact şi încălzite până la temperatura stării plastice, apar o serie de legături, care permit obţinerea unei îmbinări sudate. Se consideră că unei temperaturi minime de sudare îi corespunde o temperatură de tranziţie a MP, în stare plastică.

În cazul în care temperaturile limită necesare sudării MP şi MCT, măsurate la suprafaţa de separare a reperelor de sudat, nu se realizează atunci, sau nu se produce sudarea, sau rezistenţa îmbinării obţinute este mult redusă .

La SUS sursa principală de căldură o constituie energia oscilaţiilor mecanice, care sunt absorbite la suprafaţa de contact între sonotrodă şi reperul de sudat. Această absorbţie a energiei oscilaţiilor mecanice se datorează impedanţelor acustice ale MP sau MCT de sudat, precum şi contactului existent între reperele de sudat. Căldura se degajă ca urmare a frecării interne, care are drept consecinţă încălzirea întregului volum de material. Deasemenea, se degajă căldură şi ca urmare a frecărilor externe ce apar în zona de contact MP (MCT) – MP (MCT) şi a frecării externe dintre MP sau MCT şi sonotrodă. Transformarea energiei mecanice a oscilaţiilor în căldură se datorează frecării, care apare în zonele de contact specificate anterior, sub acţiunea mişcării vibratorii rapide şi puternice totodată, a sonotrodei pe reperul de sudat. Această frecare duce la o egalizare rapidă a microasperităţilor suprafeţei MP, urmată de o fuziune superficială şi de pătrunderea materialului topit în interstiţiile existente .

4.2 Materiale de bază

SUS se aplică la sudarea foliilor şi plăcilor având grosimea cuprinsă în domeniul 0,01-10 mm, din MP: ABS, SAN, CA, CAB, PA, PEHD, PELD, PP, PETP, PMMA, POM, PPO, PS, PVC (simple sau armate).

SUS poate fi utilizată, deasemenea la sudarea reperelor de configuraţie oarecare din materialele specificate anterior, dar şi din MP diferite între ele .

4.3 Comportarea la SUS a MP

Capacitatea de SUS a diferitelor MP este determinată de proprietatea lor, ca la o grosime dată să degaje spre suprafaţa de separare a reperelor, o cantitate de energie mecanică, care transformată în căldură să permită obţinerea de îmbinări sudate corespunzătoare din punct de vedere calitativ. Criteriul principal în caracterizarea comportării la sudare a MP este considerat factorul de amortizare, □ , a amplitudinii oscilaţiilor în MP considerat. Acest parametru a fost ales drept criteriu de clasificare, în special din următoarele consideraţii :

- coeficientul de amortizare a amplitudinilor caracterizează intensitatea absorbţiei energiei oscilaţiilor mecanice, de frecvenţă ultrasonică;
- coeficientul de amortizare determină procentul de energie mecanică transformată în căldură în zonele limitei de separare a reperelor de sudat;
- cu cât coeficientul de amortizare este mai mare, cu atât mai dificilă va fi formarea îmbinării prin sudură.

MP, în funcţie de valoarea factorului de amortizare, □, se împart în trei mari grupe:

a) Grupa A

MP aparţinând acestei grupe sunt considerate MP dure. Ele se caracterizează printr-un modul de elasticitate ridicat $E > 3.10^4$ kgf/cm^2 şi printr-un coeficient de amortizare □ < 0,35 cm^{-1}. Aceste MP se pretează foarte bine la SUS, sudura obţinându-se în condiţii foarte bune. Din această grupă fac parte: PMMA, PS, CA etc.

b) Grupa B

MP din această grupă se caracterizează prin:

$0,35 <$ □ $< 0,55$ cm^{-1} şi $2 \cdot 10^4 < E < 3 \cdot 10^4$ kgf/cm^2.

MP aparţinând acestei grupe se pretează bine la SUS, dar pe suprafaţa piesei, în locul, în care vine în contact cu sonotroda, rămâne o urmă vizibilă. Din această grupă fac parte: PP, PVC, PETP, PC etc.

c) Grupa C

MP aparţinând acestei grupe sunt caracterizate de:

□ > 0,55cm^{-1} şi E < 1,5•10^{4} kgf/cm^{2}.

Aceste materiale sunt considerate ca fiind MP moi. SUS a acestor MP este foarte dificilă, rezistenţa îmbinărilor sudate obţinute fiind foarte mică.

Din încercări experimentale s-au stabilit MP, care se pot suda cu ultrasunete, acestea fiind prezentate în figura 2 .

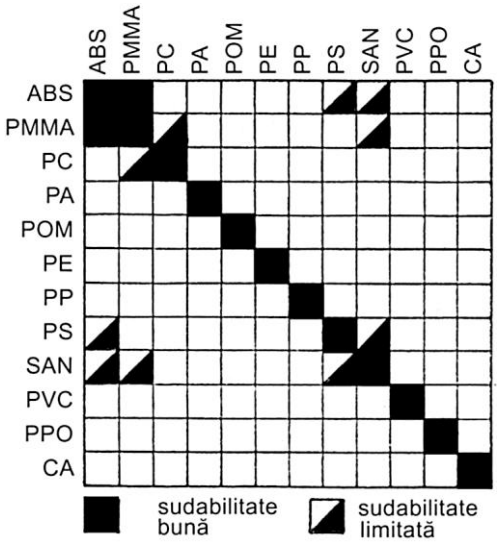


Figura 2. MP care se pot suda cu ultrasunete

Comportarea la SUS a unor MP este detaliată în tabelul 1.

• Variantele SUS a MP

După caracterul repartizării energiei mecanice aplicate suprafeţelor de sudat, SUS poate fi împărţită în două categorii: de contact şi de transmisie.

La sudarea de contact, energia mecanică este repartizată uniform pe toată suprafaţa de contact a pieselor, ce se sudează (figura 3) .

Aceasta se asigură prin faptul că partea frontală a sonotrodei, care vine în contact cu piesa superioară, are suprafaţa şi forma identică cu aceea a piesei de sudat. Sudarea de contact se foloseşte pentru îmbinarea MP moi, cum ar fi: polietilena, PVC, plastifiat cu grosime mică, de 0,5-1,5 mm.

Tabelul 1. Comportarea la SUS a unor MP

MP	**Amortizarea oscilaţiilor ultrasonice în material**			**Comportarea la sudare în**		**Nituire**	**Inserţie**	**Putere impusă echipamentului**	
	mică	**mijlocie**	**mare**	**câmp apropiat**	**câmp depărtat**			**mare**	**mică**
ABS, SAN	□	□		1	2	1	1		□
CA		□		3	3-4	2	2		□
PA			□	2	3-4	2	2	□	
PC		□		1	1-2	1	1		□
PE			□	2	3-4	2	3-4	□	
PMMA		□		1	1-2	1	1-2		□
POM			□	2	2	3	2	□	
PP			□	2	4	2	3-4	□	

PPO	□			2	3	2	2		□
PS	□			1	1	1	1		□
PVC				2	2-4	1-2	1-4		
1-foarte bine; 2-bine; 3-satisfăcător; 4-foarte dificil sau imposibil									

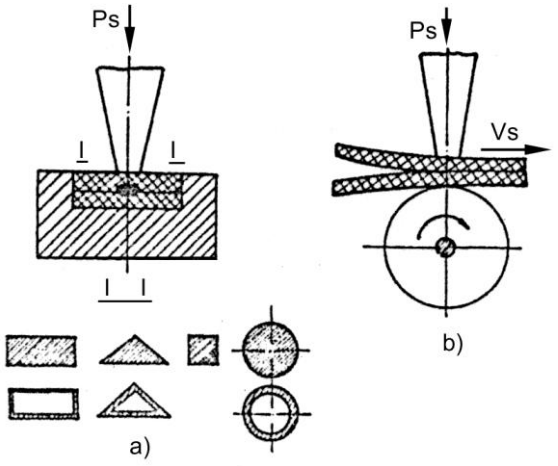


Figura 3. SUS de contact: a - prin presiune; b - continuă.

La SUS de transmisie, oscilaţiile mecanice se aplică într-un anumit punct sau pe o mică porţiune a suprafeţei piesei superioare (figura 4).

Transmiterea şi repartizarea uniformă a energiei mecanice depinde în acest caz de proprietăţile elastice ale materialului de sudat. De aceea, SUS de transmisie este recomandată a se folosi pentru îmbinarea pieselor din materiale MP dure ca: polistiren, polimetacrilat etc. Cele mai raţionale sunt îmbinările cap la cap şi suprapuse. La SUS de transmisie este preferabil ca sonotroda să fie plasată pe axa de simetrie a reperului sudat .

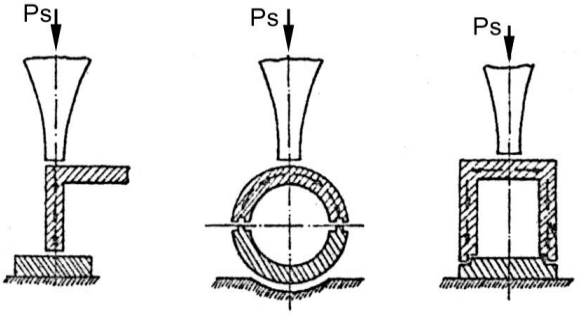


Figura 4. SUS de transmisie

După gradul continuităţii procesului de SUS, aceasta poate fi împărţită în sudare prin presare şi sudare continuă.

Sudarea prin presare se execută dintr-o singură mişcare de lucru a sonotrodei şi se pot obţine îmbinări în puncte rectilinii şi închise, de diferite forme, ca de exemplu circulare, pătrate, dreptunghiulare, eliptice etc, aşa cum este arătat în figura 4.

Sudarea continuă permite obţinerea de îmbinări prin sudarea continuă şi prin mişcarea neîntreruptă a sonotrodei şi a pieselor de sudat.

După gradul de mecanizare, sudarea continuă se împarte în: manuală şi mecanizată.

La sudarea manuală, îmbinările continue de orice configuraţie se obţin prin mişcarea pistolului de sudură, în timp ce reperul de sudat rămâne nemişcat. Sudarea manuală se poate folosi pentru îmbinări în locuri greu accesibile (figura 5) şi, deasemenea, pentru fixarea detaliilor mecanice înaintea sudării.

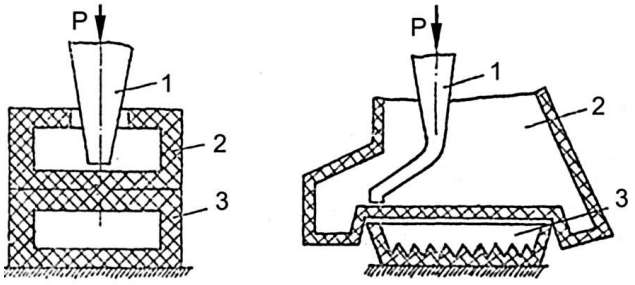


Figura.5. Sudarea cu ultrasunete în locuri greu accesibile

4.4 Tehnologia SUS

• *Pregătirea reperelor pentru sudare*

Cu ajutorul ultrasunetelor se pot suda, atât repere din acelaşi MB cât şi din MB, diferite, repere de aceeaşi grosime sau de grosimi mult diferite. La SUS nu este imperios necesară îndepărtarea impurităţilor din zona îmbinării, ca la alte procedee de sudare a MP, ceea ce constituie un avantaj net pentru o serie de aplicaţii.

La SUS a MP, rezistenţa unei îmbinări sudate este determinată de forma şi geometria zonelor de contact a reperelor de sudat. Deciziile constructive privind configuraţia pieselor, ce se vor suda, se iau în general din prima fază de proiectare a reperelor, ţinându-se cont de următoarele:

- Suprafeţele reperelor în contact trebuie să fie cât mai mici, în scopul obţinerii unei concentrări de energie cât mai mari, suficientă pentru a se obţine topirea reperelor în zona sudurii.
- Este indicat să se prevadă un joc relativ mare, prin care unul din repere, de preferat cel în contact cu sonotroda, să aibă posibilitatea de a vibra liber pe celălalt, pentru a fi posibilă degajarea de căldură prin frecare.
- În zona îmbinării trebuie prevăzută o zonă liberă, care să permită pătrunderea MP topit în procesul de sudare. Dacă nu este prevăzută această zonă, materialul topit poate migra în interiorul sau exteriorul piesei, formând o bavură inestetică şi de multe ori nefuncţională pentru destinaţia ansamblului sudat. În zona bavurii mai pot exista tensiuni remanente, care afectează în sens nedorit calitatea îmbinării sudate.
- Zona de contact a sonotrodei cu piesa trebuie să fie suficient de mare pentru a introduce în piesă o cantitate corespunzătoare de energie acustică. Trebuie avut în vedere, că o suprafaţă de contact prea mare impune o energie acustică ridicată, care poate duce la degradarea piesei de sudat în centrul ei, în timpul procesului de sudare .

Din practică a rezultat necesitatea prevederii reperelor de sudat cu concentratori de energie. Amplasarea concentratorilor se face după cum urmează:

– la MP greu sudabile este necesar să fie amplasat concentratorul pe reperul, care este în contact cu sonotroda;

– concentratorul să fie amplasat pe piesa din MP, mai dur, în cazul sudării de materiale disimilare

• *Parametri tehnologici la SUS*

Parametri tehnologici la SUS se împart în: parametri tehnologici principali şi parametri tehnologici auxiliari.

Parametri tehnologici principali sunt consideraţi acei parametrii care influenţează în mod direct mărimea energiei acustice introduse în reperele de sudat, respectiv rezistenţa îmbinării sudate . Parametri tehnologici principali sunt: puterea electrică introdusă în blocul ultrasonic; puterea acustică introdusă în spaţiul de lucru; forţa statică de apăsare (forţa de sudare); timpul de sudare; timpul de menţinere; frecvenţa oscilaţiilor ultrasonice; amplitudinea oscilaţiilor în spaţiul de lucru.

Parametri tehnologici auxiliari sunt: dimensiunile, forma şi materialul dispozitivului de fixare-poziţionare; materialul de amortizare a dispozitivului de fixare-poziţionare; temperatura de încălzire prealabilă a sonotrodei.

- Puterea electrică şi acustică. Puterea echipamentelor de sudat este strict dependentă de duritatea şi grosimea MP de sudat. S-a constatat că, odată cu creşterea grosimii pieselor de sudat sau a conturului de sudat, este necesară o putere mai mare a echipamentului de sudat, aşa cum este indicat în tabelul 2.

Tabelul 2. Puterea necesară la SUS

Puterea [W]	**Frecvenţa [kHz]**	**Contur maxim sudat Ø [mm]**		
		PS	**PC**	**PA**
480	20	100	35	12
670	20	120	45	15
880	20	140	55	25
1160	20	220	80	35
1620	20	240	95	45
2100	20	280	110	60
2600	20	300	120	70
3100	20	300	140	85
4200	20	320	180	110

- Forţa de sudare. Forţa de sudare asigură transmiterea oscilaţiilor ultrasonice în zona îmbinării prin realizarea contactului acustic necesar între suprafeţele reperelor de sudat, respectiv între repere şi sonotrodă. Din experimentări a rezultat existenţa unei forţe de sudare optime, funcţie de materialul şi forma reperului.

În procesul de sudare, la folosirea forţelor de sudare de valoare mică se obţine o rezistenţă scăzută a îmbinărilor sudate, fapt datorat contactului insuficient între sonotrodă şi piesă. Acest contact insuficient are drept consecinţă introducerea de energie mecanică insuficientă. Totodată are loc şi o modificare sensibilă a regimului de rezonanţă - în unele cazuri chiar o ieşire din regimul de rezonanţă - a instalaţiei, datorită scăderii amplitudinii oscilaţiei sonotrodei (figura 6) .

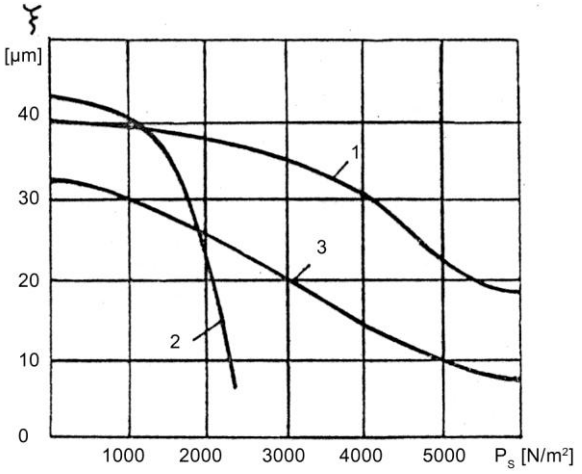


Figura 6. Influenţa presiunii de sudare asupra modificării amplitudinii oscilaţiilor:
1- transductor din permendur; 2- transductor cu ferita;
3- transductor cu permendur şi sonotrodă de contur

Dacă valoarea forţei de sudare este mai mare decât o valoare optimă, se produce o amprentare a reperului aflat în contact cu sonotrodă.

- Timpul de sudare (t_s). Timpul de sudare reprezintă durata de transmitere a energiei ultrasonice, până la atingerea rezistenţei maxime a îmbinării sudate. Timpul de sudare creşte odată cu creşterea grosimii reperelor de sudat şi cu scăderea puterii acustice. La sudarea MP, timpul de sudare se situează în mod obişnuit în domeniul ts = 0,05...6s. Mărirea timpului de sudare peste o anumită valoare duce la o pronunţată subţiere a zonei îmbinării, ceea ce are drept urmare o scădere sensibilă a rezistenţei sudurii prin apariţia de fisuri .

- Timpul de menţinere (t_m). Timpul de menţinere reprezintă timpul în care reperele sudate, după oprirea introducerii de energie acustică în acestea, sunt menţinute sub presiune, în scopul răcirii zonei sudate. O alegere a timpului de menţinere la o valoare prea scăzută are drept consecinţă o răcire necorespunzătoare a sudurii, cu posibilitatea de apariţie de microfisuri în zona îmbinării .

- Frecvenţa oscilaţiilor ultrasonice. Pentru sudarea MP valoarea optimă a frecvenţei oscilaţiilor se găseşte în domeniul 18...40kHz. Dacă se lucrează la frecvenţe mai ridicate, s-a constatat o creştere a pierderilor de energie ultrasonică.

- Amplitudinea oscilaţiilor ultrasonice. Amplitudinea oscilaţiilor determină încălzirea şi totodată dimensiunea zonei deformate plastic, influenţând astfel în final calitatea îmbinării sudate. Dependenţa rezistenţei îmbinărilor sudate de amplitudinea oscilaţiilor sonotrodei pentru câteva MP uzuale, este indicată în figura 7.

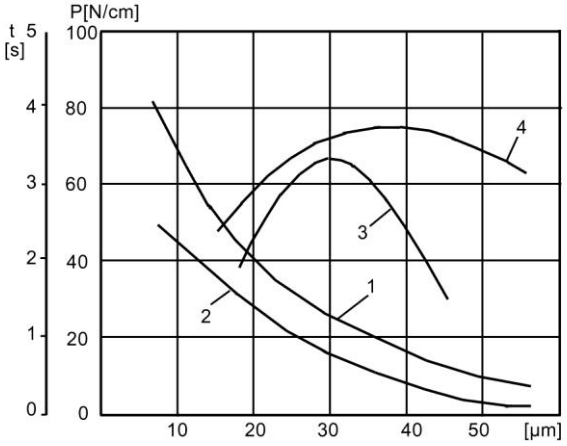


Figura 7. Influenţa amplitudinii oscilaţiilor asupra duratei sudării şi asupra rezistenţei îmbinării:
1- durata sudării polietilenei 1+1 mm; 2- idem ţesătură sintetică 600 + 500 μm;
3- rezistenţa ţesăturii de capron; 4- idem la polietilenă; 5- idem la polipropilenă

În general amplitudinea oscilaţiilor se alege în funcţie de MP, care urmează să fie sudat. Fiecare MB având un domeniu al amplitudinilor oscilaţiilor, în care se poate suda în condiţii optime, domeniu care este indicat în tabelul 3.

Creşterea amplitudinii, în raport cu valoarea optimă, are drept consecinţă o încălzire apreciabilă a MP, aflat în contact cu sonotroda, fapt care poate duce la distrugerea materialului, la apariţia de cratere de descompunere în materialul topit şi implicit la o rezistenţă scăzută a îmbinării sudate. Reducerea amplitudinii sub valoarea optimă are drept consecinţă o reducere a energiei mecanice (acustice) introduse în zona îmbinării, urmată de o scădere firească a rezistenţei îmbinării.

Tabelul 3. Amplitudinea oscilaţiilor la sudarea cu ultrasunete a MP uzuale

MP	**Amplitudinea [μm]**	**MP**	**Amplitudinea [μm]**
PS	15...30	PA	35...55
ABS	20...30	PETP	45...55
SAN	15...30	CA	25..35
PMMA	20..35	PVC- D	20...40
PPO	25...40	PVC-M	25...40
PC	25...40	PE	25...60
POM	40...50	PP	30...60

În figura.7 este redată şi dependenţa timpului de sudare, funcţie de amplitu-dinea oscilaţiilor, observându-se că scăderea timpului de sudare se datorează unei creşteri a amplitudinii oscilaţiilor.

• *Ciclurile de sudare*

Rezistenţa îmbinării sudate la SUS a MP este determinată în mare măsură de ciclul de sudare utilizat pentru realizarea îmbinării. Ciclurile de sudare folosite la SUS sunt prezentate în figura 8.

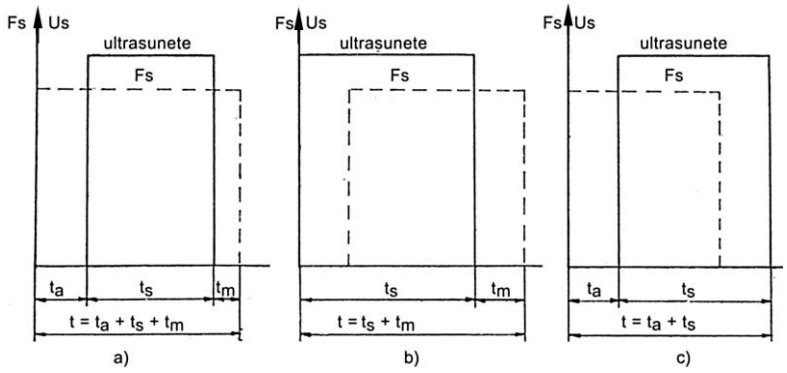


Figura 8. Cicluri de SUS. t_a-timp de acţionare; t_s-timp de sudare (durată impuls ultrasunete); t_m-timp de menţinere

Deobicei sunt utilizate ciclurile de sudare reprezentate în figura 8.a şi 8.b. Ciclul prezentat în figura 8.c este utilizat foarte rar, deoarece deconectarea oscilaţiilor ultrasonice se produce la încetarea aplicării forţei de sudare, fapt care determină o creştere considerabilă a suprafeţei sudate.

Trebuie specificat, că deobicei echipamentele de sudare industriale sunt realizate astfel încât asigură desfăşurarea unui singur tip de ciclu de sudare.

• *Coeficientul de calitate*

SUS permite realizarea de îmbinări sudate cu rezistenţă superioară faţă de cele realizate prin alte procedee de sudare. Utilizând regimuri de sudare corect determinate, se pot obţine îmbinări sudate având coeficienţii de calitate indicaţi în tabelul 4.

Tabelul 4. Coeficienţi de calitate la SUS

MP	**Coeficient de calitate, □**	
	Sudare în câmp apropiat	**Sudare în câmp depărtat**
ABS	0,9...1	0,8...0,9
PMMA	0,85...1	0,7...0,9
SAN	0,9...1	0,8...0,9
PA-6	0,7...0,8	0,4...0,6
PC	0,9...1	0,8...0,9
PS	0,95...1	0,95...1

4.5 Echipamente de sudare

Un echipament de SUS se compune din următoarele părţi mai importante (figura 9):

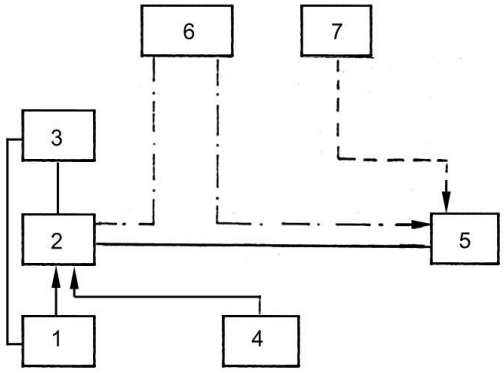


Figura.9. Schema - bloc a echipamentului SUS: 1- bloc de alimentare; 2- generator de înaltă frecvenţă; 3- apărataj de comandă, control şi protecţie; 4- programator de sudare; 5- bloc ultrasonic; 6- sistem de realizare a presiunii statice; 7- redresor

• Sonotroda constituie scula de lucru la un echipament de SUS. Sonotrodele îndeplinesc în principal următoarele funcţiuni:

- transferă energia ultrasonică de la transductor spre locul prelucrării;
- concentrează şi focalizează energia ultrasonică în zona de lucru:
- măreşte amplitudinea decalajului frontului de ieşire a amplificatorului intermediar, constituind totodată şi un adaptor de impedanţă acustică între amplificatorul intermediar şi sarcina din spaţiul de lucru;
- sporesc la maxim randamentul sudării.

Prin forma lor foarte variată permit utilizarea SUS la o gamă foarte largă de forme constructive ale reperelor de sudat.

La sonotrode, modificarea impedanţei acustice şi a vitezei de oscilaţie, se realizează prin varierea secţiunii transversale.

În general la SUS se utilizează sonotrode distincte, în funcţie de forma sudurii, tipul materialelor de sudat şi grosimea reperelor de sudat.

Uzual, la SUS a MP, se folosesc două tipuri de sonotrode: sonotrode primare şi sonotrode de contur.

Sonotrodele primare sunt la rândul lor de patru tipuri: cilindrice în trepte, conice, exponenţiale şi catenoidale.

Forma geometrică determină coeficientul de mărire a amplitudinii oscilaţiilor ultrasonice generate de blocul ultrasonic. În cazul în care la ieşirea amplificatorului intermediar mărimea amplitudinii oscilaţiilor ultrasonice este de 10μm, amplitudinea oscilaţiilor sonotrodei în funcţie de forma geometrică a acesteia, este ilustrată în figura 10 ..

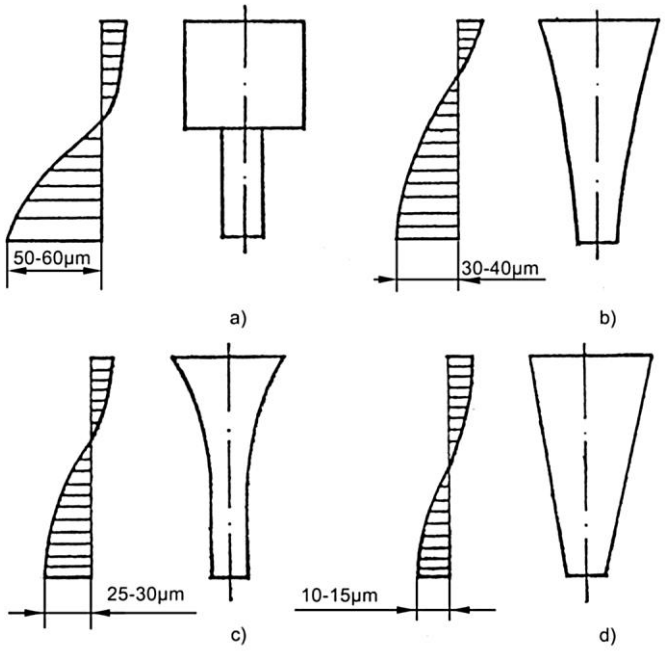


Figura.10. Amplitudinea oscilaţiilor sonotrodei în funcţie de forma geometrică a sonotrodei;
a) sonotrodă cilindrică în trepte; b) sonotrodă catenoidală; c) sonotrodă exponenţială;
d) sonotrodă conică

Sonotrodele de contur au fost realizate în scopul executării de îmbinări de formă specială, cum ar fi pe contururi dreptunghiulare sau circulare.

Realizarea unei suduri bune a MP este condiţionată de utilizarea unor sonotrode bine adaptate din punct de vedere acustic.

Cele mai bune rezultate se obţin utilizând în construcţia sonotrodelor, MB având un coeficient de frecare internă scăzut, deci care opun o inerţie mică transmiterii vibraţiilor, provocând totodată şi o amortizare minimă a acestor vibraţii. Materialul cel mai bun pentru construcţia sonotrodelor este considerat în prezent titanul, care prezintă o rezistenţă mecanică ridicată şi un coeficient de frecare internă scăzut. Titanul prezintă însă două inconveniente: pe de o parte preţul său ridicat, pe de altă parte prelucrarea sa dificilă. Pe plan internaţional se utilizează cu bune rezultate aliaje de titan, cum ar fi: TiA1V64 sau aliaje de aluminiu ca AlCuMg2 sau AlCuMgPb. În construcţia sonotrodelor de laborator se mai utilizează diverse mărci de oţeluri având rezistenţă la oboseală. În tabelul 5 sunt prezentate principalele materiale utilizate pe plan mondial în construcţia sonotrodelor.

Aplicaţii

SUS a MP şi MCT este procedeul de sudare, care are o largă utilizare în diverse domenii ale producţiei industriale. Astfel SUS se aplică în industria constructoare de automobile, la sudarea corpurilor de iluminat, a buşoanelor de baterie, a componentelor tablourilor de bord şi în general la majoritatea reperelor din MP şi MCT. În industria electrotehnică se aplică la sudarea prizelor axiale, a carcaselor butoanelor de comandă, a soclurilor, a butoanelor de comutatoare rotative, a conectoarelor, bornelor de racordare etc. În domeniul construcţiei de aparataj electrocasnic SUS se aplică în construcţia maşinilor de spălat, a roboţilor menajeri şi a aspiratoarelor. Industria de cosmetice utilizează şi ea pe scară largă SUS la sudarea cutiilor pentru diverse creme, a capacelor pentru farduri, precum şi la multe tipuri de ambalaje specifice acestui domeniu.

Tabelul 5. Materiale folosite la construcţia sonotrodelor

MP	***Viteza de propagare a undei C [m/s]***
Aliaje de titan TiAlV64	4900
Aliaje de aluminiu AlCuMg2 AlCuMgPb	 5100 5000
Aluminiu	5100
Monel	4350
Oţel (RP11)	5250

După cum se constată, SUS se poate aplica în cele mai diverse domenii, cu condiţia ca proiectantul de produs să prevadă, din prima fază utilizarea acestui procedeu, care permite o înaltă productivitate în condiţiile unei producţii flexibile .

SUS se foloseşte pentru confecţionarea din polietilenă a sacilor, a containerelor, a tuburilor utilizate pentru păstrarea produselor alimentare şi industriale.

4.3.**Sudarea materialelor compozite metalice (MCM**

Materialele compozite cu matrice metalică (MCM) armate cu fibre se sudează prin diferite procedee. În general, dificultăţile sudării MCM constau în:

a. diferenţa mare dintre temperatura de topire a elementelor de armare (care poate atinge uneori 2500°C) şi cea a matricei (de ordinul 600 - 1700°C);

b. conductibilitatea termică şi căldura specifică diferite ale componentelor, ceea ce duce la o diferenţă între câmpurile termice şi condiţiile de cristalizare a componentelor;

c. rezistenţa mecanică a MCM, spre deosebire de cea a materialelor tradiţionale depinde de continuitatea fibrelor. Dacă la îmbinarea MCM se produce distrugerea acestei continuităţi, aceasta este greu de compensat;

d. diferenţele mari între coeficientul dilatării termice a matricei şi cel al elementelor de armare, ceea ce determină apariţia tensiunilor termice ridicate;

e. chiar în cazul în care la metoda de sudare aleasă temperatura MCM este sub temperatura de topire a matricei, durata acţiunii căldurii poate fi destul de mare; de aceea componentele MCM intră între ele în interacţiune chimică şi metalul îşi pierde parţial proprietăţile de rezistenţă;

f. problemele complexe ce apar în cazul proceselor de întindere pe suprafaţă şi înmuiere a matricei la sudarea MCM armate cu fibre. Se impune rezolvarea unor aspecte esenţiale, cum ar fi asigurarea răspândirii uniforme a fazei lichide a matricei şi a obţinerii unei suduri cu forma geometrică şi dimensiunile stabilite, dar şi garantarea îmbibării complete a straturilor de fibre, pentru evitarea discontinuităţii acestora;

g. implicaţiile fenomenului de difuzie ce are loc la interfaţa fibră-matrice, favorizate de câmpurile termice proprii procesului de sudare;

h. stabilirea parametrilor de sudare optimi, fapt ce impune, în cazuri speciale, apelarea la modele matematice, ca puncte de pornire, rezolvabile de cele mai multe ori doar prin metode numerice, respectiv la softuri performante;

i. probleme legate de reacţiile chimice dintre armături şi matrice în timpul topirii şi resolidificării;

j. necesitatea monitorizării transferului de căldură şi a dinamicii procesului de sudare;

k. faptul că nu pot exista nişte scheme clare pentru rezolvarea problemelor de sudare propriu-zisă, pentru fiecare caz în parte de MCM, impunându-se luarea unor măsuri diferenţiate, de la caz la caz .

5.PULVERIZARE TERMICA

5.1 Aspecte generale

Pulverizarea termică (PT) este un procedeu conex sudării, utilizat în scopul asigurării (realizării) unor acoperiri de protecţie, recondiţionării unor componente, pentru generarea unor forme, respectiv din considerente estetice.

Conform SR EN 657: 1997, PT cuprinde toate procedeele, prin care MA pentru pulverizare sunt aduse în stare plastică, în interiorul sau exteriorul aparatelor de pulverizare şi apoi sunt pulverizate pe suprafaţa MB, pregătit în acest scop. Se subliniază că suprafaţa MB nu trebuie să ajungă în stare topită şi că pentru obţinerea proprietăţilor specifice ale straturilor, acestea pot fi tratate termic sau colmatate .

Proprietăţile tipice ale straturilor pulverizate (conform SR EN 657:1999) sunt:

- Rezistenţă la aderenţă la tracţiune R_H (determinată conform SR EN 582: 1995)
- Duritate (determinată prin metoda Vickers ISO 6507-1:1982 şi ISO 6507-2:1983), respectiv pentru straturile foarte moi se poate utiliza încercarea de duritate superficială Rockwell (ISO 6508:1986)
- Rezistenţă la coroziune
- Rezistenţă la forfecare
- Rezistenţă la uzare
- Izolare termică şi electrică
- Conductivitate termică şi electrică
- Rezistenţă la abraziune
- Tenacitate superficială
- Rezistenţă la şoc termic
- Permeabilitate .

- **Procedee de pulverizare termică. Clasificare şi definire**

Există numeroase variante de procedee de PT. Clasificarea lor se face funcţie de diferite criterii:

a. Tipul materialului pulverizat
- pulverizare cu sârmă
- pulverizare cu vergele
- pulverizare cu coardă flexibilă
- pulverizare cu pulbere
- pulverizare cu baie topită

b. Modul de execuţie
- pulverizare manuală
- pulverizare mecanizată
- pulverizare automată

c. Purtătorul de energie

- **Materiale de adaos**

Materialele de adaos (MA) folosite la PT pot fi sub formă de pulberi (pulberi ceramice, pulberi metalice, sârme .Astfel, pulberile ceramice, pentru acoperiri prin PT, executate cu flacără oxiacetilenică sau jet de plasmă, în scopul asigurării rezistenţei la abraziune, la frecare metal pe metal, la şocuri termice şi la solicitări .

- **Pregătirea suprafeţelor pentru pulverizare termică**

Pregătirea componentelor, în vederea aplicării acoperirilor prin PT, este aceeaşi, atât pentru recondiţionarea pieselor uzate, fabricarea de piese noi, cât şi acoperiri prin pulverizare, în scop anticoroziv sau decorativ.

Acoperirea prin PT trebuie efectuată la un interval de maximum 4 ore, după pregătirea suprafeţei, iar în cazul unei atmosfere umede sau saline, după maximum 2 ore. Prin pregătirea suprafeţei, se înţelege aducerea

suprafeţei, care urmează a fi acoperită, într-o stare curată, care să permită o bună aderare a metalului depus . Metodele de pregătire ale suprafeţelor sau combinaţiile de metode în vederea acoperirii se stabilesc în funcţie de specificul piesei, grosimea materialului depus şi strea iniţială a suprafeţelor.

Pregătirea suprafeţelor se realizează prin: degresare, sablare, aşchiere, asperizare mecanică .

- DEGRESAREA – Degresarea suprafeţelor urmăreşte îndepărtarea substanţelor grase şi bituminoase de pe suprafaţa, care urmează a fi acoperită, de pe suprafeţele vecine acesteia, din orificiile şi canalele de ungere.

Degresarea se execută înaintea sablării şi se poate face chimic cu ajutorul solvenţilor (acetonă, tricloretilenă) prin spălare sau imersie sau termic prin încălzirea suprafeţelor, la o temperatură mai mare decât temperatura de volatilizare a substanţelor grase.

- SABLAREA – Sablarea este procedeul de pregătire a suprafeţelor, prin care se urmăreşte a se aduce suprafaţa într-o stare curată, cu rugozitate corespunzătoare, care să asigure o bună aderenţă a materialului depus pe MB.

Toate materialele folosite la sablare trebuie să fie curate şi uscate. Nu se vor folosi materiale, care au fost anterior folosite la alte lucrări de curăţire ale suprafeţelor.

Materialele folosite la sablare sunt:

- electrocorindon normal şi carbură de siliciu. Ele au comportarea cea mai bună în procesul de sablare, în vederea acoperirii, deoarece au o duritate mare, iar granulele de abraziv prezintă muchii ascuţite;
- granule de fontă, ce se caracterizează prin timp de folosire îndelungat. Nu se recomandă să se folosească pentru sablarea pieselor din metale neferoase, deoarece apar fenomene de coroziune;
- nisip cuarţos, care trebuie să prezinte granule cu muchii ascuţite.

După executarea sablării, suprafaţa se suflă cu jet de aer, pentru a îndepărta urmele de praf. Gradul de curăţire al suprafeţei sablate se controlează vizual urmărind ca suprafaţa să aibă aspect mat, uniform; pot fi prezente puncte strălucitoare.

Rugozitatea suprafeţei sablate, Ra, se recomandă să fie cuprinsă între 6 şi 12 μm .

- AŞCHIEREA- Aşchierea este metoda de pregătire a suprafeţelor, prin care se asigură o rugozitate mai mare ca în cazul sablării, dar nu se recomandă a se folosi la piesele solicitate la oboseală (ex. arbori cotiţi).

Pregătirea suprafeţelor prin aşchiere se realizează prin strunjire sau rabotare.

Acestea se execută fără mediu de răcire, pentru a evita contaminarea suprafeţei cu substanţe grase sau umiditate.

ASPERIZAREA ELECTRICĂ – Pregătirea suprafeţelor prin metoda asperizării electrice constă în aplicarea unui electrod de nichel, legat la o sursă de curent pulsat, pe suprafaţa de pregătit, legată la celălalt pol al sursei de curent. În urma stabilirii AE între electrodul de nichel şi suprafaţa piesei apar mici cratere, care asigură rugozitatea necesară aderării materialului depus la MB. Metoda se aplică la piesele cu pereţi groşi, solicitate static şi cu duritate mare (STAS 11684/2-83).

De menţionat că aderenţa, în procesul de metalizare termică, este un fenomen deosebit de complex. În succesiunea fazelor de formare a unui strat metalizat se întâlnesc următoarele tipuri de aderenţe: aderenţă mecanică, aderenţă metalurgică, aderenţă superficială, aderenţă fizică, aderenţă difuzivă.

Factorii, care influenţează aderenţa], pot fi grupaţi în:

- factori de proces – materialul substratului, tipul de aliaj utilizat la metalizare, temperatura particulelor din jetul de metalizare, mediul în care se desfăşoară procesul de metalizare, cantitatea de oxizi din stratul metalizat
- factori tehnologici în legătură cu procesul – pregătirea suprafeţei substratului, preîncălzirea substratului, tratamente ulterioare procesului de metalizare

În acest context SR EN 582:1995 prezintă condiţiile impuse pentru realizarea rezistenţei la aderenţă la tracţiune, a acoperirilor reale, realizate prin PT.

Parte integrantă a sistemului de asigurare a calităţii, pentru atelierele de pulverizare, verificarea de acceptare a echipamentelor pentru PT, este destinată furnizării dovezii privind aptitudinea echipamentului de a produce acoperiri prin pulverizare, de calitate uniformă, conform SR EN 1395:1999. Echipamentul pentru PT trebuie să fie în conformitate cu specificaţiile de securitate, care se aplică. Instalarea sa se face, astfel încât procesul de pulverizare să nu fie afectat de alte echipamente de producţie sau de condiţiile de mediu. În SR EN 1395:1999 sunt date principiile verificării de acceptare, pe tipuri de echipamente.

- Recondiţionarea componentelor prin PT

Procedeele de recondiţionare ale pieselor prin PT, prezintă faţă de alte procedee de recondiţionare, următoarele avantaje:

- după aplicarea PT, nu vor apărea tensiuni interne sau deformaţii, deoarece piesa suferă o încălzire redusă 120-150ºC;
- se pot realiza straturi oricât de groase, luându-se doar măsuri pentru evitarea tensiunilor şi fisurilor, ce pot apărea după metalizări prelungite;
- stratul obţinut este poros, permiţând înmagazinarea lubrifiantului, micşorând în acest fel frecarea la piesele în mişcare;
- se pot obţine pseudo-aliaje din metalele, care nu se pot alia în stare topită, cum ar fi plumbul şi aluminiul;
- faţă de acoperirile metalice în baia de metal lichid, se evită decarburarea sau alternarea metalului din baie, prin apariţia de compuşi intermetalici.

Dintre dezavantajele procedeelor de recondiţionare prin pulverizare se menţionează:

- stratul metalizat are o rezistenţă redusă la solicitarea de încovoiere şi tracţiune, asemănătoare cu cea a fontei obişnuite;
- rezilienţa stratului este redusă, neprelucrându-se prin metalizare piese, care lucrează la şocuri;
- în straturile metalizate nu se pot executa filete sau canale, iar prelucrarea prin burghiere se execută cu atenţie, pentru a nu se exfolia metalul de adaos, la ieşirea burghiului;
- piesele metalizate prin pulverizare nu pot fi prelucrate prin deformare plastică;
- este necesară o instalaţie de ventilaţie eficientă, deoarece operaţia de metalizare prin pulverizare este însoţită de degajarea unor cantităţi mari de praf metalic şi gaze nocive .

Sunt prezentate rezultatele experimentale în domeniul acoperirilor termice prin pulverizarea în jet de plasmă a unor materiale ceramice utilizate la fabricaţia implanturilor protezelor chirurgicale .

S-au utilizat ca materiale pulverizante, materiale metalice şi materiale ceramice pentru a compara caracteristicilor straturilor depuse

În tabelul 1 şi 2 sunt prezentate pulberile utilizate pentru fiecare probă, fiind prezentate compoziţia chimică şi granulaţia pulberilor .

Tabelul.1 Caracteristici ale pulberilor

Nr. probă	**Tip pulbere**	Compoziţia chimică [%vol.]	Granulaţie [□ m]
1	Titan	99,9	125 - 45
2	Oxid de aluminiu	97%Al_2O_3, 2%TiO_2, 0,5%SiO_2, 0,5%Fe_2O_3	45 - 5
3	Oxid de zirconiu	92%ZrO_2, 8%Y_2O_3	75 - 15

Table 2 Valorile capacităţii de curgere a pulberilor [16]

Tipul pulberii	Timp de curgere a 20 cm^3 [s]	Unghiul de taluz natural
Titan	64	39°
Oxid de aluminiu	Nu curge	–
Oxid de zirconiu	37	32°

Capacitatea necorespunzătoare de curgere a pulberii de oxid de aluminiu se poate explica prin granulaţia mică a acesteia, aşa cum se poate observa şi din tabelul.1, respectiv datorită densităţii relativ redusă a acesteia (4.2 g /cm^3). Ca şi gaz plasmagen respectiv de transport, s-a utilizat un amestec argon-hidrogen (Ar + 6,5% H_2). Se execută depuneri pe probe de titan (Ti_6Al_4V) având dimensiunile: 20x10x2 mm. Depunerile s-au executat manual prin pulverizare în jet de plasmă. Stratul depus s-a executat prin mai multe treceri succesive. Grosimea stratului depus este 0,10...0,20 mm.

Parametrii regimurilor de lucru sunt prezentaţi în tabelul 3.

Tabelul.3 Detaliere parametrii de lucru la PT

Nr. probă	Tip pulbere	U_a V	I_p A	Q_p l/h	Q_{tr} l/h	M_p cm^3/min	d_p mm
1	Ti	70	400	2200	300	18	8
2	Al_2O_3	72	500	2200	300	13	5-10
3	ZrO_2	74	500	2200	300	15	5-10

Unde: U_a – tensiunea arcului de plasmă
I_p – intensitatea curentului arcului de plasmă
Q_p – debitul de gaz plasmagen
Q_{tr} – debitul de gaz de transport
M_p – debitul de pulbere
d_p – distanţa de pulverizare

Probele realizate în cadrul programului experimental se analizează din punct de vedere macroscopic pentru a determina aspectul general respectiv microscopic.

Întrucât nu s-au observat dificultăţi de curgere a pulberilor în timpul pulverizării termice s-au creat premisele obţinerii unor rezultate repetabile .

Porozitatea straturilor a fost analizată şi măsurată prin analiză numerică, pe imagini scanate în secţiunea transversală a straturilor (figura.4) .

Tabelul.4.Porozitatea calculată prin analiză numerică

Tip pulbere	Ti	Al_2O_3	ZrO_2
Nr. Probă	1	2	3
Porozitate [%]	5,9	8,0	15,2

Cele mai ridicate valori, o au straturile de oxid de zirconiu, care datorită temperaturilor de topire ridicate, precum şi granulaţiei mai grosiere conţin un grad mai mare de particule netopite sau parţial topite.

Valori reduse ale porozităţii prezintă pulberile de oxid de aluminiu. Aceasta poate fi pusă pe seama granulaţiei fine şi topirii mult mai rapide a pulberilor în jet. Cea mai redusă porozitate o au straturile de titan, datorită temperaturii scăzute de topire a pulberilor de titan.

Încercarea la aderenţă prin tracţiune a straturilor se efectuează în conformitate cu SR EN 582 – 1995.

Tabelul.5 prezintă valorile aderenţei, pentru toate probele examinate respectiv valorile medii ale acestora, cu indicarea observaţiilor privind modul de rupere al straturilor . Aşa cum se poate observa, aderenţa straturilor ceramice pe substrat de titan, fără strat tampon, sub relativ scăzute.

Tabelul.5 Valori ale aderenţei straturilor

Număr probă		Tip strat	Tensiunea de rupere (MPa)		Observaţii
1.	1	Ti	17,0	17,2	10% în strat, 90% la interfaţă
	2		17,3		5% în strat, 95% la interfaţă
	3		17,2		5% în strat, 95% la interfaţă
2.	1	Al_2O_3	11,9	11,9	45% în strat, 55% la interfaţă
	2		11,5		55% în strat, 45% la interfaţă
	3		12,4		65% în strat, 35% la interfaţă
3.	1	ZrO_2	7,1	7,1	80% în strat, 20% la interfaţă
	2		7,0		85% în strat, 15% la interfaţă
	3		7,2		90% în strat, 10% la interfaţă

Schema instalaţiei de pulverizare în jet de plasmă este prezentată în figura.1 .

Fig.1 Instalaţia de pulverizare în jet de plasmă

Instalaţia de pulverizare în jet de plasmă cu pulberi, IPP 800, are în componenţă următoarele subansambluri: sursa de curent, pupitrul de comandă, pistoletul de pulverizare manual, pistoletul de pulverizare automat, dozatorul de pulbere, instalaţia de răcire, echipamentul de sablare.

Principalele caracteristici tehnice ale instalaţiei sunt:

- tensiunea de alimentare: 3x380V
- puterea aparentă: 100KVA
- tensiunea de mers în gol: 130V
- domeniul de reglare a curentului: 150-800A
- curentul maxim al sursei (DA 60%): 800A
- caracteristica externă a sursei: abrupt coborâtoare
- debit gaz plasmagen (la p=3bar): 50l/min
- debit gaz transport: 5l/min
- debit apă de răcire pistolet: 15l/min
- presiunea apei de răcire pistolet: min. 11bar
- volumul buncărului la dozatorul de pulbere: 2000 cm^3
- domeniul de reglare al debitului de pulbere: 5-50cm^3/min.

6. RECONDITIONARE FONTE

6.1 Proprietăţi fonte

Fonta are o mare utilizare ca material de bază pentru batiuri de maşini unelte, blocuri şi motoare navale, utilaje metalurgice ş.a., având în vedere proprietăţile sale foarte bune de turnare, rezistenţă ridicată la uzură, prelucrabilitate bună şi preţ de cost scăzut. Pe lângă aceste avantaje, prezintă şi o serie de neajunsuri legate de lipsa aproape totală a plasticităţii şi rezistenţa mecanică scăzută .

Fontele sunt aliaje fier–carbon cu 2,5%≤C≤ 4,5% având şi elemente însoţitoare (S, P, Si, Mn), iar uneori şi elemente de aliere (Ni, Cr, W).Ele se clasifică astfel:

- După modul în care se află carbonul, fontele se clasifică în trei grupe: fonte cenuşii(carbonul, este liber şi apare în structură sub formă de lamele); fonte albe (carbonul este legat în cementită şi/sau ledeburită); fonte pestriţe (amestec de fontă cenuşie cu fontă albă).

- După formarea carbonului liber, fontele cenuşii se clasifică în:
  - fonte cu grafit lamelar - SR EN 1561-99,
  - fonte cu grafit nodular - SR EN 1563-99,
  - fonte cu grafit în cuiburi - SR EN 1562-99.

- După aspectul ruperii:
  - fonte cenuşii - ISO R 185-61,
  - fonte pestriţe - ISO R 5922-81,
  - fonte albe - BS 4944-1986.

Nodulizarea carbonului liber se poate face introducând magneziu sau prealiaje ale acestuia în formă lichidă. Carbonul liber sub formă grupată de cuiburi se obţine tratând termic fonte albe. Acest tratament se numeşte „maleabilizare” şi rezultatul este fonta maleabilă. După masa metalică de bază, fontele cenuşii pot fi: perlitice, feritoperlitice şi feritice. Solidificarea fontei lichide sub formă cenuşie sau albă depinde de viteza de răcire v_r : la v_r mare $\rightarrow$ fontă albă, iar la v_r mică $\rightarrow$ fontă cenuşie şi de raportul între elementele grafitizante şi elementele antigrafitizante din fonta lichidă. Grafitizanţii, în ordinea descrescătoare a intensităţilor lor: C – Si – Al – Ni – Co – Cu, iar antigrafitizanţii, în aceiaşi ordine sunt: S – V – Cr – Sn – Mo – Mn. În tabelul.1. sunt date compoziţiile chimice ale principalelor tipuri de fonte. De menţionat că sudarea fontelor este limitată la cele cenuşii lamelare, nodulare şi maleabile, fiind utilă însă la remanierea pieselor.

Tabelul.1. Compoziţiile chimice

Tipuri de fonte	Compoziţia chimică, %				
	C	Si	Mn	S*)	P*)
Cenuşie	2 – 4	min. 1	max. 1	0,2	0,6
Maleabilă	2 – 3	0,9 – 1,8	0,25 –1,25	0,2	0,2
Nodulară	3,2 – 4	1,8 – 2,8	max. 0,8	0,03	0,1
Albă	2,5 – 4	0,4 – 1,6	0,3 – 0,8	0,15	0,4

*) S şi P sunt conţinuturile maxime

În realizarea operaţiilor de sudare şi recondiţionare prin sudare a fontelor apar, o serie de dificultăţi legate de particularităţile şi proprietăţile metalului, din care se menţionează :

- plasticitatea lor foarte redusă ce determină o accentuată înclinaţie spre fisurare;

- conductibilitatea termică este mai mică decât a oţelurilor şi deci
există pericolul de supraîncălzire în regiunea aplicării recondiţionării prin sudare;
- întrucât temperatura de topire a fontelor este mai joasă decât a
oţelurilor, picăturile, care vin de la metalul de adaos, au un conţinut mai redus de căldură şi apare pericolul să nu se topească MB (acest fenomen provoacă gravul defect al lipsei de topire, slăbind legătura sudurii cu MB);
- la temperatura critică de circa 788°C, fontele devin austenitice în
cursul încălzirii; după sudare, grafitul nu se precipită din cauza vitezelor mari de răcire şi rezultă fonta albă, sau în cel mai bun caz, pestriţă şi ca urmare duritatea mare a structurii face prelucrarea imposibilă şi favorizează fisurarea zonei;
- conducţia termică redusă şi plasticitatea mică generează tensiuni
mari în îmbinare, mărindu-se astfel pericolul de fisurare;
- din cauza fulgilor şi modulelor de grafit, legătura sudurii cu MB
se face numai pe 70 – 80 % din suprafaţa de contact, restul de 20 – 30 % fiind grafit, pe care nu aderă picăturile materialului de adaos .
- conţinutul ridicat de carbon conduce la apariţia structurilor dure în
condiţiile vitezelor obişnuite de răcire la sudare. Se obţin astfel zone cu duritate ridicată, greu sau imposibil de prelucrat pe cale mecanică, provocate de fenomenul de albire a fontei;
- variaţia temperaturii de încălzire în îmbinarea sudată, ca urmare a
ciclului termic, provoacă tensiuni interne, care pot produce cu uşurinţă fisuri din cauza plasticităţii foarte scăzute a fontei.Apariţia structurilor albe care au o densitate mai mare ca cele ale fontei cenuşii conduce la intensificarea tensiunilor şi a creşterii pericolului de fisurare,
- baia de zgură este foarte fluidă la sudarea fontei. Din acest motiv este
greu să se menţină şi să se formeze sudura, mai ales în poziţii dificile aşa cum este adesea cazul la fasonarea unor porţiuni rupte în procesul de reparaţie;
- fenomenele de oxidare şi reducere care au loc în timpul sudării
provoacă o cantitate mare de gaze în faza lichidă, care nu reuşesc să se elimine integral în procesul de cristalizare, provocând astfel pori în îmbinare;
- conţinutul ridicat de elemente însoţitoare şi în special de siliciu
provoacă oxizi greu fuzibili care împiedică uneori pătrunderea necesară a sudurii Dintre elementele care caracterizează în cea mai mare măsură procesul de sudare a fontei sunt compoziţia chimică (în special conţinutul de carbon şi siliciu) şi viteza de răcire.

În general viteza de răcire se reglează pe seama temperaturii de preîncălzire în vederea sudării, în funcţie de care posibilităţile de sudare a fontelor se împart în :

- sudarea la cald, atunci când temperatura de preîncălzire este de 500 ...600°C;
- sudarea la semicald, cu temperaturi de preîncălzire de până la 300 ...400°C;
- sudarea la rece a fontei.

6.2 Procedee de încărcare prin sudare

- Încărcarea cu flacără oxigaz (FO)

Procedeul FO (311) este folosit atât pentru sudare, cât şi pentru recondiţionare şi în acţiuni de mentenanţă.

Echipamentul de sudare conţine:

- generatorul de producere a acetilenei, prevăzut cu filtru chimic şi supapă de siguranţă hidraulică, furtunuri de admisie gaz, arzător de sudare, butelie de oxigen cu reductor, debitmetre, diverse accesorii.

Recondiţionarea prin sudare cu flacără oxiacetilenică a pieselor din fontă se execută cu preîncălzirea acestora în cuptoare, la temperaturi 600 - 650°C (culoare roşu închis). Pentru sudare piesa este aşezată la gura cuptorului, astfel încât suprafaţa de sudat să fie orizontală, restul piesei acoperindu-se cu o foaie de azbest. Dacă se recondiţionează fisuri sau crăpături, atunci la capetele acestora, la cel puţin 15 mm de extremitatea fisurii, se execută orificii de 3…5 mm pentru a împiedica fisurarea în continuare. Marginile crăpăturii se prelucrează prin dăltuire, polizare sau frezare, pe toată lungimea lor, plus 15…25 mm, formând o crestătură în formă de „U”, cu un unghi de 90…120°.

Ca material de adaos se foloseşte o vergea care are următoarea compoziţie chimică: 3…3,4% C, 4…4,5% Si, 0,2…0,4% P, 0,6…0,8% Mn şi maxim 0,66% S. Întrucât temperatura de topire a fontei este de 1200° C, deci este mai mică decât cea a oxizilor (1400° C), este necesar să se folosească fluxuri de sudare. Pentru fontă fluxul are în componenţă boraxul; amestecul format din 50% borax, 47% bicarbonat de sodiu şi 3% bioxid de siliciu; amestecul alcătuit din 56% borax, 22% bicarbonat de sodiu şi 22% carbonat de potasiu;

amestecul format din 80% sodă calcinată, 18% acid boric şi 2% bioxid de siliciu; După sudare piesa de recondiţionat este răcită lent. Atât preîncălzirea, cât şi răcirea lentă a piesei creează condiţii pentru ca materialul depus să se contracte uniform şi să prevină apariţia fisurilor. Răcirea lentă se realizează fie în cuptoare (piesa se răceşte odată cu cuptorul), fie prin învelirea ei în azbest.

- Încărcarea prin procedeul de sudare cu electrozi înveliţi (SE)

Procedeul de sudare/încărcare prin sudare cu electrozi înveliţi (SE-111), se desfăşoară prin menţinerea AE între electrodul învelit şi piesa de sudat/încărcat.

Sudarea SE se aplică mult, la recondiţionarea fontelor cenuşii. Ca material de adaos se utilizează electrozii MONEL (60% Ni şi 25% Cu) sau vergele din oţel cu înveliş bazic (EF –Fe). Avantajul utilizării electrozilor înveliţi EF – NiCu, EF – NiFe, EF – Ni cu vergea de Ni sau aliaj de Ni constă în faptul că sudura , în ZIT nu se fisurează. Electrozii EF –Fe produc o zonă de fontă albă de duritate mare favorabilă fisurării. Rezistenţele mecanice maxime ale cusăturii se obţin la folosirea electrozilor EF – NiFe (220HB).

Caracteristicile tehnice de bază şi indicaţiile de utilizare, pentru cele trei tipuri de electrozi amintiţi astfel:

- Tipul EF – NiFe

Electrozi cu vergea dintr-un aliaj NiFe .

Aceşti electrozi permit sudare la rece a pieselor din fontă cu conţinut ridicat de fosfor. Caracteristicile mecanice ridicate ale metalului depus permit sudarea pieselor mari şi a celor solicitate mecanic. În anumite cazuri, se admite şi sudarea cu o preîncălzire uniformă a piesei la aproximativ 200°C. Duritatea metalului depus este maxim 220 HB. Culoarea metalului depus diferă de cea a metalului de bază.

- Tipul EF – Ni

Electrozi cu vergea din Ni.

Aceşti electrozi se recomandă pentru sudarea la rece a pieselor din fontă de dimensiuni mici şi mijlocii. Conţinuturi mai ridicate în fosfor al metalului de bază limitează utilizarea acestui tip de electrod. Duritatea metalului depus este de 150 – 200 HB. Culoarea metalului depus diferă de cea a metalului de bază.

- Tipul EF – NiCu

Electrozi cu vergea dintr-un aliaj Ni – Cu (Monel).

Aceşti electrozi se recomandă pentru sudarea la rece a pieselor din fontă. Sensibilitatea metalului depus faţă de metaloizii din metalul de bază este mai mare ca la electrozii de tip Ni şi Ni – Fe. Duritatea metalului depus este de aproximativ de 140 HB. Se recomandă preîncălzirea joasă înainte de sudare. Culoarea metalului depus diferă de cea a metalului de bază.

În tabelul.2 sunt date tipurile de electrozi pentru sudarea fontei, cu indicarea producătorilor acestora .

La recondiţionarea prin sudare a fontelor este necesar ca sudurile să se execute cu curenţi reduşi (100…110 A, pentru diametre de electrozi de 3,2 mm); depunerile prin sudare pe perimetrul spărturii sau pe lungimea fisurii trebuie alternate în aşa fel, încât să nu se depăşească 50 mm depunere pe etapă (fig.1, a, b); intervalul dintre sudurile vecine să fie de minimum 10…15 mm; pregătirea fisurii , rupturii să fie executată prin prelucrare mecanică (fig.2 a, b); limita superioară a temperaturilor în zona influenţată termic să nu depăşească 70° C; să se utilizeze curent continuu cu polaritate directă (polul minus la electrod) .

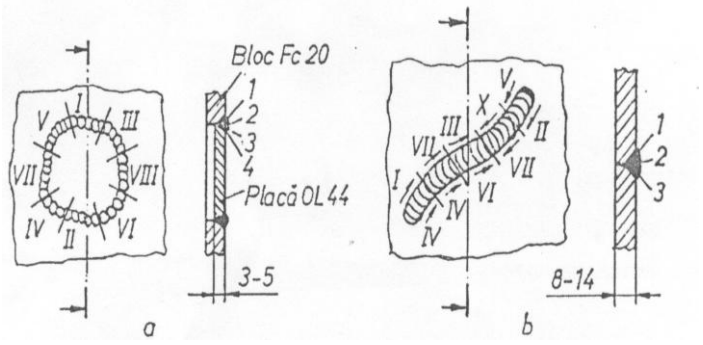


Figura 1 Încărcarea prin sudare a spărturilor şi crăpăturilor:

a – succesiunea fazelor de recondiţionare prin sudare a blocului spart (I-VIII – ordinea aplicării cordoanelor;1-4 ordinea depunerilor straturilor de îmbinare); b - succesiunea fazelor de recondiţionare prin încărcare cu arcul electric al blocului de cilindrii şi a carcaselor fisurate sau crăpate (I-X – ordinea de depunere a straturilor în fisura prelucrată mecanic)

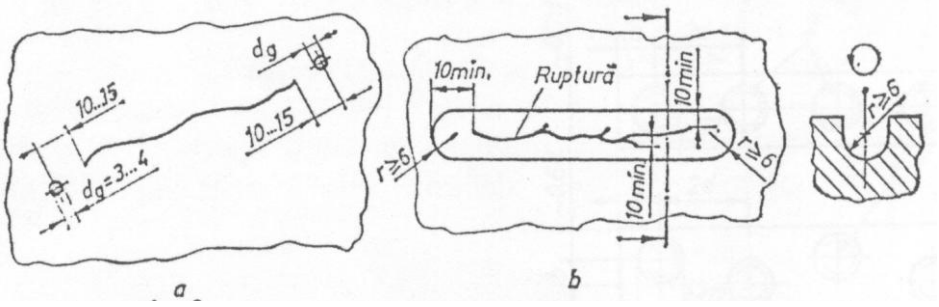


Figura 2 Pregătirea pieselor: a – a zonelor fisurate; b – a rupturilor

Echipamentul de sudare folosit este un convertitor de sudare, iar MA îl constituie electrozii pentru încărcare ElCr9Si. Duritatea nominală a metalului depus este de 45…50 HRC.O variantă de tehnologie de recondiţionare este următoarea: pregătirea piesei pentru încărcare, care constă din îndepărtarea oxizilor şi a impurităţilor de pe suprafeţele ce urmează a fi încărcate;

- uscarea electrozilor, înainte de încărcare, timp de două ore la temperatura de 250…300° C;
- preîncălzirea piesei la temperatura de 400° C;
- depunerea pe suprafeţele de recondiţionat, folosindu-se electrozi cu diametrul de 4 mm, valoarea curentului de sudare I_s = 140…170 A, tensiunea arcului U_a = 23…24 V, viteza de depunere v_d = 1,1-1,4 cm/min , temperatura piesei între două depuneri consecutive fiind de 250…300° C;
- răcirea lentă a piesei în nisip;
- controlul vizual sau cu lichide penetrante al piesei după încărcarea .
- rectificarea suprafeţelor încărcate.

După recondiţionare , piesa are o duritate similară cu aceea a unei piese noi.

Există posibilitatea pregătirii marginilor prin crăiţuire cu electrod. Este însă recomandat ca această operaţie să se execute numai la grosimi mai mari ale pieselor ca şi în cazul când materialul de bază (fontă) a fost supusă în exploatarea unor agenţi chimici sau la temperaturi ridicate. În toate variantele, după crăiţuire este obligatorie curăţirea rostului pregătit prin polizare.

Pregătirea marginilor prin polizare cere timp de execuţie minim mai ales în cazul pieselor mari. În cazul în care se cer suduri etanşe se recomandă ca după polizare marginile să fie pilite pentru a se îndepărta eventualele resturi provenite din piatra de polizor .

O altă modalitate de pregătire, mai ales în cazul pieselor mici şi în toate cazurilor, când se cere executarea unor suduri etanşe , este pregătirea marginilor prin dăltuire. Dăltuirea este obligatorie şi în cazul unor fonte cu urme puternice de ulei sau arsuri, care se pun în evidenţă după sudarea primului strat prin porii existenţi. Astfel de cazuri apar frecvent la recondiţionarea prin sudare a fisurilor. În cazul unei calităţi necorespunzătoare a materialului de bază, în multe cazuri se impune dăltuirea repetată a primului strat în vederea realizării unui strat de legătură omogen, lipsit de pori .

În toate cazurile şi modalităţile de pregătire a marginilor este obligatorie rotunjirea muchiilor marginilor. Deoarece electrozii folosiţi la sudarea la rece a fontei au în toate cazurile caracteristici mecanice superioare materialului de bază, se recomandă pentru suduri etanşe, pregătirea să se facă maximum 2/3 din grosime, iar în cazul pereţilor subţiri să se facă pregătirea in U şi nu în V, iar în cazul pereţilor groşi în dublu U şi nu în X. În figura 3. se reprezintă această modalitate de pregătire.

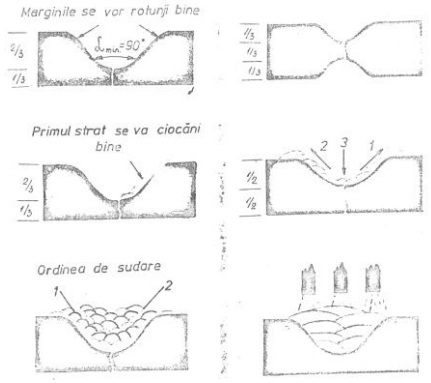


Figura 3 Moduri de pregătire a marginilor pieselor din fontă

Experienţa impune pentru depunerea primului strat să se folosească un electrod de nichel pur. În cazul unor suduri etanşe primul strat de sudare se va suda obligatoriu cu un electrod cu un curent de sudare de 45 A în rânduri subţiri cu supraînălţare mică. Pentru suduri etanşe, chiar şi în cazul folosirii electrozilor din nichel pur se recomandă ciocănirea sudurii realizate. În primul

rând trebuie realizată o placare a marginilor cu material de adaos şi numai după aceea să se realizeze restul sudurii aşa cum se prezintă în figura 3 în cazul în care se foloseşte un alt tip de electrod decât nichel curat, nu se recomandă ciocănirea primului strat.

Realizarea unor suduri etanşe la rece, constituie problema cea mai delicată a sudării fontelor. Numai o tehnică corectă poate rezolva corect problema deoarece nu materialul de adaos este hotărâtor în acest caz, (el are întotdeauna caracteristici mecanice superioare) ci mărimea critică a zonei influenţată termic şi tehnica de lucru. Mai contribuie de asemenea şi corectitudinea pregătirii materialului pentru sudare ca şi execuţia în sine. În cazul unor fisuri, este necesar ca extremităţile acestora să fie depistate şi oprite de a se putea propaga în timpul sudării prin realizarea unor găuri cu diametrul de 4…6 mm, sau prin realizarea sudurii transversale pe direcţia de propagare a fisurii care să depăşească axa fisurii cu 2…4 cm în dreapta şi în stânga aşa cum se prezintă în figura.4.

Se va suda de la mijlocul fisurii spre dreapta şi spre stânga alternativ după ordinea indicată în figura 4 în secvenţe scurte. Tehnica aceasta de sudare este valabilă pentru fisurile în pereţi compacţi ale unor organe de maşini sau carcase de motor în rest pentru fisuri care se propagă din margine dinspre exterior.

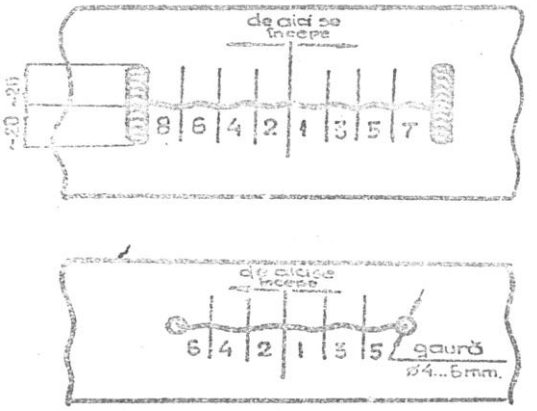


Figura 4 Ordine secvenţială de depunere

Se vor respecte în toate cazurile următoarele reguli generale:

a – în cazul pereţilor subţiri marginile se vor pregăti prin dăltuire, conform celor prezentate în figura.4.

b – extremităţile fisurilor trebuie delimitate prin găurire sau executarea unor suduri scurte perpendiculare pe cea de propagare a fisurii, în cazul în care una din depunerile de oprire se fisurează, înseamnă că tensiunile interne sunt puternice şi marginea fisurii şi trebuie oprită printr-o nouă sudură sau găurire.

c – se recomandă placarea marginilor pregătite printr-un strat subţire bine ciocănit

ϕ -2 mm (I_s = 45 A) maximum ϕ - 2,5 mm (I_s = 60 A).

În cazul pereţilor subţiri se recomandă realizarea unor suduri scurte de lungime maximă de zece ori diametrul electrodului. Ciocănirea are loc imediat încă în starea caldă a sudurii.

d – în cazul sudurilor etanşe primul strat trebuie să fie lipsit de pori şi în cazul apariţiei acestora ca efect al unei calităţi necorespunzătoare a MB, acest strat trebuie îndepărtat prin dăltuire. Dăltuirea dă întotdeauna o imagine clară a legăturii realizate.

e – îndepărtarea zgurii este importantă mai ales la suduri etanşe. Pentru aceasta se recomandă ca după fiecare dăltuire, să se îndepărteze resturile de zgură cu perii de sârmă până la luciu.

f – pentru cazul sudării în straturi multiple se recomandă o sudare combinată, adică straturi alternative din electrod de fontă şi electrod de nichel pur. Pentru toate tipurile de fontă primul strat se sudează cu un electrod de fontă. Se recomandă ca primul strat să fie sudat cu un electrod cu un diametru cât mai mic posibil, iar pentru straturile următoare diametrul electrodului poate fi mărit. Dacă se sudează în mai mult de patru straturi, atunci combinaţia se va realiza începând de la al treilea strat pentru a se realiza o omogenitate a materialului depus.

g – pentru a se obţine suduri de calitate ale fontei cenuşii se recomandă mărirea curentului de sudare cu aproximativ 30% faţă de valoarea normală. Se recomandă sudare în curent continuu cu polaritate directă sau curent alternativ. Electrodul se ţine în poziţie verticală, lungimea arcului fiind 3…4 mm .

- Sudarea cu plasmă (SP)

La sudarea SP (15) constrângerea arcului de către duza din Cu permite un arc columnar, insensibil la variaţiile lungimii, foarte stabil şi la curenţi mici (< 15A), cu o densitate de putere mare ($5x10^8$ W/m^2) .

Aplicarea procedeului SP se face la recondiţionarea cu acest procedeu a fontelor nealiate cu grafit sferoidal, cu caracteristici apropiate de cele ale oţelurilor carbon pentru turnătorie, din componenţa tubulaturilor (canalizărilor) .

Întrucât gazele plasmogene utilizate la SP sunt neutre sau reducătoare, ele nu oxidează magneziul, elementul esenţial ce asigură sferoidizarea grafitului. În cazul utilizării unui echipament de sudare obişnuit, regimul de sudare este dat în tabelul.3.

Tabelul.3 Condiţii de sudare

Virola	Diametrul	ϕ 150	ϕ 250	ϕ 500
	Grosimea	≠ 6…7	≠ 6…7	≠ 8…10
Temperatură de preîncălzire	° C	257 – 297	297	357 – 407
Curent de sudare	A	120	125	150
Tensiunea arcului	V	28 – 30	33	32
Viteza de sudare	cm /min	22	20	9
Debit gaz plasmagen	l / min	6	6,5	6
Debit gaz protecţie	l / min	12	12	15

S-a constatat că atunci când se lucrează fără MA, depunerile au aceeaşi compoziţie chimică cu MB, doar concentraţia de magneziu puţin redusă. După sudare, structura lor este ledeburitică. Prin menţinerea timp de 20…30 min. la temperatura de 977° C urmată de răcirea lentă (recoacere) grafitul devine sferoidal, cu nodul fini, repartizaţi regulat. Depunerile obţinute cu 20% MA constituit din oţel slab aliat cu mangan – siliciu, au o geometrie corectă (dublu bombată). Caracteristicile mecanice ale îmbinării lor după recoacere sunt comparabile cu cele ale metalului de bază .

- Sudarea MIG

La sudarea MIG (131) dacă se folosesc sârme din oţel nealiat cu puţin carbon, gazul de protecţie va fi amestecul: 75% Ar + 25% CO_2 . Pentru aceleaşi materiale de bază de recondiţionat, în cazul sârmelor din aliaje neferoase (Ni) se recomandă argon sau amestecul: 50% Ar + 50% He.

Literatura de specialitate indică şi cazul utilizării sârmelor tubulare la recondiţionarea fontelor, reglementând utilizarea acestora pentru sudarea semimecanizată şi mecanizată.

Mecanizarea operaţiilor de sudare, respectiv introducerea unor tehnologii performante conduce la importante reduceri ale costurilor de producţie (cca. 20% doar la reduceri ale consumului de materiale de adaos), ridicarea nivelului calitativ, cât şi la creşterea productivităţii lucrărilor de sudare.

Pe plan internaţional, datorită dezvoltării şi promovării în ultimii ani a unor sârme pline şi tubulare înalt aliate cu Ni cu diametru mic, s-au putut cerceta şi implementa tehnologii performante de sudare şi recondiţionare mecanizată în mediu de gaze sau amestecuri de gaze protectoare (MIG/MAG, WIG).

În vederea realizării scopului propus, s-au executat mai multe variante tehnologice de depuneri MIG/MAG pe plăci de fontă cenuşie. Depunerile au fost realizate într-un singur strat, apoi au fost lăsate să se răcească în aer liniştit, fără curenţi de aer. Compoziţia chimică a plăcilor de probă este prezentată în tabelul.4

Tabelul.4 Compoziţia chimică a metalului de bază (MB)

Locul determinării	Compoziţia chimică, [%]							
	C	**Mn**	**Si**	**Mo**	**Cr**	**S**	**P**	**Fe**
MB	3,25	0,56	2,38	0,01	0,04	0,082	0,119	rest

Analiza metalografică a plăcilor de probă a pus în evidenţă structuri de ferită şi perlită (F 70 / P 30), grafit lamelar, eutectic fosforos, specifice fontelor cenuşii; izolat s-au constatat cuiburi de grafit care pot avea efecte nefavorabile la sudare, ca amorse de microfisuri.

Din multitudinea de sârme de sudare şi gaze de protecţie utilizabile la sudarea MIG/MAG, s-au ales pentru experimentări trei tipuri de cupluri sârmă – gaz de protecţie, şi anume:

- SNiFe-C1 (ISO 1071-01) – I1 (SR EN 439-93);
- SNiFe-C1 (ISO 1071-01) – M.2.1 (SR EN 439-93);
- SNiFe-C1 (ISO 1071-01) – C1 (SR EN 439-93).

Sârma şi gazele de protecţie utilizate sunt prezentate în tabelul.5.

Tabelul 5. Cuplurile sârmă – gaz utilizate la experimentări

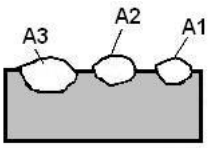
Sârmă de sudare marcă/tip	Compoziţia chimică, [%]	Gaz de protecţie marcă/tip	Compoziţia chimică, [%]
LNM Ni-Fe / SNiFe-C1 ∅1,2 mm	Ni = 57 C = 0,70 Mn = 0,8 Si = 0,1 Fe = rest	Argon – I1	Ar = 100
		Corgon 18 – M.2.1	Ar = 82 CO_2 = 18
		Dioxid de carbon – C1	CO_2 = 100

Utilizarea la sudarea MIG/MAG a fontelor cenuşii a unei sârme în combinaţia nichel şi fier prezintă următoarele avantaje, comparativ cu sudarea cu sârmă de nichel:

- creşte rezistenţa şi ductilitatea depunerii;
- reduce coeficientul de dilatare termică a depunerii;
- conduce la acceptarea unui nivel mai ridicat de fosfor în materialul de bază.

Pentru experimentările de sudare s-a utilizat un echipament MIG/MAG. Pistoletul s-a montat pe un tractor ce se deplasează pe un ghidaj de rulare pentru a obţine valori stabile şi reproductibile ale parametrilor măsuraţi .

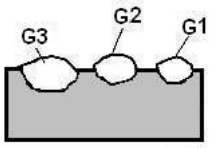
În vederea executării probelor sudate cu diferite cupluri sârmă – gaz de protecţie, plăcile de probă au fost preîncălzite la 100-120^{0}C. Preîncălzirea s-a efectuat cu flacără oxigaz, iar verificarea temperaturii s-a făcut cu crete termocrom. Pe fiecare placă de probă s-au depus, cu câte un cuplu sârmă – gaz, trei rânduri de sudură cu regimuri tehnologice diferite, conform fişelor tehnologice cu parametrii de sudare nr. 1 (Argon), tabelul 7.6, nr. 2 (Corgon 18) tabelul 7.., nr. 3 (CO_2) tabelul 8 .

Tabelul 6.																			
FIŞA TEHNOLOGICĂ nr. 1																			
Procedeul de sudare					Materiale de sudare						Metalul de bază					Tipul îmbinării		depunere	
MIG/MAG mecanizat					Sârma	Marca	LNM NiFe				Produs	Placă fontă				Forma rostului		-	
						Norma	EN 440-1994				Marca	Fontă cenuşie 150				Poziţia de sudare		orizontal	
					Gaz de protecţie	Marca	Argon				Norma	ISO R 185/61							
						Norma	SR EN 439-93												
Marcaj depunere	Grosimea tabelei [mm]	Dimensiunile depunerii [mm]			Nr. trecerii	Debit de gaz, Q_1 [l/min]	Diametru sârmă electrod, ∅ [mm]	Curent de sudare, I_s [A]			Viteza de avans, v_{as} [m/min]	Tensiunea arcului, U_a [V]	Lungimea liberă, L [mm]							
		b	h	p															

A1	40	5,2	4,4	0,7	1	15	1,2	72-74	2,1-2,2	23,9-24,8	16-17
A2	40	6,2	4,3	0,9	1	15	1,2	92-93	2,9-3,0	25,9-26,7	17-18
A3	40	8,5	4,2	1,3	1	15	1,2	125-129	3,7-3,8	29,5-29,9	19-20

1. Natura curentului: CC^{+}.
2. Fiecare rând de sudură va fi curăţat prin ciocănire şi cu peria de sârmă.
3. Rândurile de sudură se realizează după curăţire prin polizare a MB.
4. Temperatură de preîncălzire: 100 – 120^{0}C.
5. Fiecare depunere va fi detensionată după sudare prin ciocănire cu ciocanul de sudură timp de 5 minute.

Tabelul .7																	
FIŞA TEHNOLOGICĂ nr. 2																	
Procedeul de sudare									Materiale de sudare					Metalul de bază		Tipul îmbinării	depunere
MIG/MAG mecanizat									Sârma	Marca	LNM NiFe			Produs	Placă fontă	Forma rostului	-
										Norma	EN 440-1994			Marca	Fontă cenuşie 150	Poziţia de sudare	orizontal
									Gaz de protecţie	Marca	Corgon 18			Norma	ISO R 185/61		
										Norma	SR EN 439-93						
Marcaj depunere	Grosimea tabelei [mm]	Dimensiunile depunerii [mm]			Nr. trecerii	Debit de gaz, Q_1 [l/min]	Diametru sârmă electrod, ∅ [mm]	Curent de sudare, I_s [A]	Viteza de avans, v_{as} [m/min]	Tensiunea arcului, U_a [V]	Lungimea liberă, L [mm]						
		b	h	p													
G1	40	8,1	1,6	2,3	1	12-13	1,2	80-82	2,1-2,2	26,1-26,5	16-17						
G2	40	11,3	1,3	2,3	1	12-13	1,2	99-100	2,8-3,0	27,1-27,2	17-18						
G3	40	11,3	1,4	2,6	1	12-13	1,2	128-132	4,0-4,1	29,1-29,3	19-20						

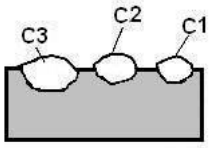


1. Natura curentului: CC^{+}.
2. Fiecare rând de sudură va fi curăţat prin ciocănire şi cu peria de sârmă.
3. Rândurile de sudură se realizează după curăţire prin polizare a MB.
4. Temperatură de preîncălzire: 100 – 120^{0}C.
5. Fiecare depunere va fi detensionată după sudare prin ciocănire cu ciocanul de sudură timp de 5 minute.

Tabelul.8.				
FIŞA TEHNOLOGICĂ nr. 3				
Procedeul de sudare	Materiale de sudare	Metalul de bază	Tipul îmbinării	depunere

MIG/MAG mecanizat					Sârma	Marca	LNM NiFe	Produs	Placă fontă	Forma rostului	-
						Norma	EN 440-1994	Marca	Fontă cenuşie 150	Poziţia de sudare	orizontal
					Gaz de protecţie	Marca	CO_2	Norma	ISO R 185/61		
						Norma	SR EN 439-93				

Marca j depunere	Grosimea tabelei [mm]	Dimensiunile depunerii [mm]			Nr. trecerii	Debit de gaz, Q_1 [l/min]	Diametru sârmă electrod, ∅ [mm]	Curent de sudare, I_s [A]	Viteza de avans, v_{as} [m/min]	Tensiunea arcului, U_a [V]	Lungimea liberă, L [mm]
		b	h	p							
C1	40	7,3	1,4	1,3	1	15	1,2	85-95	3,1-3,2	31,0-32,3	16-17
C2	40	8,3	2,2	1,7	1	15	1,2	103-108	3,6-3,7	32,8-33,0	17-18
C3	40	8,5	1,8	1,9	1	15	1,2	112-118	3,9-4,0	37,3-40,9	19-20



1. Natura curentului: CC^+.
2. Fiecare rând de sudură va fi curăţat prin ciocănire şi cu peria de sârmă.
3. Rândurile de sudură se realizează după curăţire prin polizare a MB.
4. Temperatură de preîncălzire: 100 – 120^{0}C.
5. Fiecare depunere va fi detensionată după sudare prin ciocănire cu ciocanul de sudură timp de 5 minute.

După sudare, probele cu depunerile prin sudură au fost lăsate să se răcească timp de 24 de ore; după acest interval de timp s-a efectuat o examinare vizuală şi cu lichide penetrante a depunerilor .

În urma examinărilor au fost decelaţi pori izolaţi – indicaţii admise, care se încadrează conform SR EN 1289 în nivelul de acceptare 3 la depunerile G1, G2 şi G3, în nivelul de acceptare 2 la depunerile C1 şi C3 şi nivelul de acceptare 1 la depunerile A1, A2, A3 şi C2. La craterele de închidere a sudurilor C1, C2, C3 şi G2 s-au constatat pori ca urmare a disfuncţionalităţii în alimentarea cu gaz de protecţie la finalizarea sudurilor.

De remarcat că, toate depunerile cu cuplul sârmă - argon au asigurat un nivel de acceptare maxim - 1. Deasemenea, se remarcă prezenţa unor defecte de tipul golurilor în probele sudate în dioxid de carbon şi Corgon 18, defecte în limite acceptabile.

În vederea analizei structurale metalografice au fost prelevate probe din toate cele nouă depuneri. La analiza microscopică s-au efectuat investigaţii structurale asupra zonei influenţate termic. Rezultatele examinărilor conform SR EN 1321-2001 sunt prezentate în tabelul.9.

Tabelul 9. Aspectul microscopic al zonelor influenţate termic

Varianta	**Constituenţi**
A1	Perlită, ferită aciculară, bainită
A2	Perlită, ferită aciculară, bainită
A3	Perlită, ferită aciculară, eutectic ledeburitic
G1	Perlită, ferită aciculară, eutectic ledeburitic
G2	Perlită, ferită aciculară, eutectic ledeburitic
G3	Perlită, ferită aciculară, eutectic ledeburitic
C1	Perlită, ferită aciculară, bainită

C2	Perlită, ferită aciculară, eutectic ledeburitic
C3	Perlită, ferită aciculară, bainită

Măsurătorile de duritate pe toate cele nouă depuneri au fost efectuate prin metoda Brinell HB1/10, pe metalul de bază, în zona influenţată termic şi pe metalul depus.

Analiza rezultatelor obţinute în urma experimentărilor cu trei cupluri sârmă - gaz de protecţie, şi anume: SNiFe-C1-argon; SNiFe-C1-Corgon18; SNiFe-C1-CO_2, utilizându-se trei regimuri tehnologice pentru fiecare, a arătat că la sudarea în argon s-au obţinut suduri fără defecte (fisuri, goluri) pe o plajă mai largă a regimului tehnologic.

Dimensiunile sudurilor variază semnificativ la schimbarea gazului de protecţie, pătrunderile fiind de cca. trei ori mai mici la sudarea în argon faţă de CO_2, iar înălţimile de 3,5 ori mai mari.

Din punct de vedere al durităţii în zonele influenţate termic, se constată variaţii destul de mari, durităţile cele mai favorabile obţinându-se la sudarea în CO_2 cu regimul tehnologic nr. 3, dar cu o stropire ridicată. Regimurile tehnologice utilizate asigură o durificare structurală mai puţin accentuată la sudarea în CO_2 şi mai accentuată la sudarea în argon sau Corgon 18, corelată cu microstructurile decelate.

Regimul de sudare trebuie astfel stabilit încât să asigure o participare minimă a metalului de bază iar vitezele de răcire să nu provoace formarea defectelor şi apariţia zonelor dure sau tensiuni puternice.

7. ECHIPAMENTE ŞI TEHNOLOGII DE SUDARE PRIN PRESIUNE

7.1. Calculul tehnologiei de sudare electrica prin presiune cap la cap in stare solida - SSS

Se va stabili tehnologia de sudare conform modelului prezentat in tabel pentru material dat un diametru dat al barelor.

Nr. crt.	*Parametrul tehnologic*	*Unitatea de măsură*	*Relaţii de calcul*	*Exemplu de calcul*	
				Regim moale	*Regim dur*
1.	Metalul de bază:	Definirea metalului de bază		Alegerea regimului	
	OL 37.2				
	OLC 45				
2.	Diametrul **d** (bare) Grosimea **s** ; lăţimea **b** (platbenzi) Aria secţiunii **A**	*(mm)* *(mm^2)*	d = $A = \pi \cdot d^2/4$ s = ; b = ; $A = b \cdot s$		
3.	Curentul de sudare $\mathbf{I_s}$ (R.M. – regim moale) (R.D. – regim dur)	*(A)*	$I_s = j \cdot A$ unde: $j = 20\text{-}50 A/mm^2$; R.M. $j = 50\text{-}100 A/mm^2$; R.D. sau: $j = 100/\sqrt{t_c}$		
4.	Timpul de curent $\mathbf{t_c}$ (Timpul de sudare $\mathbf{t_s}$)	*(s)*	$t_c\ (t_s) = (100/j)^2$ $t_c = 0{,}5 – 15$ s		
5.	Forţa de apăsare $\mathbf{F_{ap}}$ (Forţa de încălzire)	*(daN)*	$F_{ap} = p_{ap} \cdot A = p_{ap} \cdot (\pi \cdot d^2/4)$ unde: $p_{ap} = 1 ... 1{,}5\ daN/mm^2$		
	Forţa de refulare $\mathbf{F_{ref}}$	*(daN)*	$F_{ref} = p_{ref} \cdot A$ $= p_{ref} \cdot (\pi \cdot d^2/4)$ unde: $-p_{ref} = 1{,}5...3{,}0\ daN/mm^2$ (regim moale) $-p_{ref} = 3{,}5...5{,}0\ daN/mm^2$ (regim dur)		
6.	Forţa de strângere în bacuri $\mathbf{F_{str.\ bac.}}$	*(daN)*	$F_{str.\ bac.} = (1{,}5 ... 2{,}0)F_{ref}$ $F_{str.\ bac.} > F_{ref}$		

7.	Scurtarea la refulare: - scurtarea totală $\mathbf{s_{ref.t.}}$ - scurtarea sub curent $\mathbf{s_{ref.\,c.}}$ - scurtarea fără curent $\mathbf{s_{ref.\,f.\,c.}}$	*(mm)*	$s_{ref.t.}$ = (0,15 ... 0,35)d (bare) $s_{ref.t.}$ = (0,8 ... 1,5)s (platbenzi) $s_{ref.t.} = s_{ref.c.} + s_{ref.f.c.}$		
			$s_{ref.c.}$ = (0,3 ... 0,35)s_{ref}		
			$s_{ref.f.c.} = s_{ref.t.} - s_{ref.c.}$		
8.	Lungimea capătului liber **l**	*(mm)*	l = (0,5 ... 1,0)d sau : $l = 0{,}6\sqrt{A}$		
Obs. Valorile parametrilor de sudare de calcul de mai sus sunt valabile pentru oţel					

7. 2. Calculul tehnologieri de sudare electrica prin presiune în puncte

Se va stabili tehnologia de sudare prin presiune in puncte conform modelului prezentat in tabel pentru un material dat si o grosime data a tablelor

Nr. crt.	Parametrul tehnologic de calcul	Unitatea de măsură	Relaţii de calcul	Observaţii (Valori de calcul)	Exemplu de calcul	
1.	Metalul de bază	Definirea metalului de bază			Regim dur	Regim moale
	OL 37.2					
	OLC 45					
	Tablă zincată					
	Oţel INOX A.					
	Aluminiu					
	Cupru					
2.	Grosimea tablei(lor) : $S_1 + S_2$	*(mm)*				
3.	Stabilirea clasei de calitate (execuţie)	Se face în funcţie de: importanţa construcţiei, mărimea şi natura solicitărilor, condiţiile de exploatare, condiţiile de execuţie şi control - conform STAS 11244/				
4.	Alegerea tipului electrodului	Simbolizare : (cf. SR ISO 5182/1993)				
5.	Stabilirea diametrului la vârf al electrodului $\mathbf{d_e}$	*(mm)*	$d_e = 2s + 4$ (1) $d_e = 2s + 3$ (2) $d_e = 2s + 3$ (3) $d_e = 2s + 2$ (4) $d_e = 5\sqrt{s}$ (5.1) $d_e = 2s + (2...4)$ (5.2) $A_e = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4}$ (6)	Valabil pentru oţeluri cu C = 0,22...0,25% (Conform STAS 11244/79) Clasa de execuţie I : Relaţia (1) – pentru s = 0,5...3mm Relaţia (2) – pentru s = 3,5...6mm Clasa de execuţie II, III : Relaţia (3) – pentru s = 0,5...3mm Relaţia (4) – pentru s = 3,5...6mm Relaţii generale (5.1; 5.2)		
6.	Curentul de sudare $\mathbf{I_s}$	*(A)*	$I_s = j \times A_e$ (7) $I_s = k \cdot A_p \cdot \frac{1}{\sqrt{t_s}}$ (8) $I_s = 6500 \times s$ (9) Obs.	(7) ; (8) ; j – densitatea de curent (A/mm^2) - regim moale: j = (80… 160) A/mm^2 - otel carbon - regim dur: j = (200… 400) A/mm^2, - otel carbon j = (1000… 1500) A/mm^2 - pentru Al		

			$A_p \cong A_e$	Relaţia (9) t_s – se introduce in perioade k = 1250 A/mm^2 - oţel carbon k = (800…1000) A/mm^2 - INOX 18/8 k = (4000… 4500) A/mm^2 - Al k = (3000… 4000) A/mm^2 - aliaje Al		
7.	Timpul de sudare (curent) **t_s (t_c)**	*(s); (p)*	t_s = (0,1… 0,2) s (10) t_s = (0,8… 1,0) s (11) sau : $t_s = \left(\frac{k \cdot A_p}{I_s}\right)^2$ (12)	(10) Sudarea cu regim dur, R.D. (11) Sudarea cu regim moale, R.M. (12) Verificarea corelaţiei **I_s – t_s** (vezi relaţia (8)		
8.	Forţa de apăsare (forjare) **F_j**	*(daN)*	$F = p \cdot A_e = p \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4}$ (13) F = (50… 250) δ (14) $F_{R.D.}$ =(1,5…2,0)$F_{R.M.}$ 15	p = (7… 12) daN/mm^2 – oţel carbon p = (13… 15) daN/mm^2 – oţel INOX 18/ 8 p = (8… 25) daN/mm^2 – Al + alj. $F_{R.D.}$ – forţa de apăsare în regim dur $F_{R.M.}$ – forţa de apăsare în regim moale (14) – Relaţie empirică		
9.	Diametrul punctului **d_p (d_n)** (minim)	*(mm)*	d_p = 2s + 3 (16) d_p = 2s + 2 (17) d_p = (0,8 ... 1,1) d_e (18) $d_{pmin} = 4\sqrt{s}$ (19) **Recomandare :** **$d_p \leq d_e$** (20)	Relaţia (16) – Clasa de execuţie I Relaţia (17) – Clasa de execuţie II, III (Conform STAS 11244/79) Relaţia (20) – se impune pentru evitarea împroscărilor de material prin stropi respectiv pentru obţinerea unei amprente minime.		
10.	Inălţimea (gros.) punctului **h_p (h_n)**	*(mm)*	55 ... 80% din grosimea totală a tablelor de sudat (valori minime pentru clasa I)			
11.	Adâncimea maximă a amprentei **a**	*(mm)*	0,1 s_{min} –clasa de calitate I 0,2 s_{min} – clasa de calitate II, III.			
Aprecierea calităţii punctului sudat: Metode de control:						

- Control vizual;
- Incercarea la forfecare, conform STAS 7932/
- Incercarea la îndoire, conform STAS 7932/
- Examinare macroscopică, conform STAS 10952/2-

Clasa de calitate I: nu se admit fisuri în nucleu şi nu se admit expulzări de metal între suprafeţele componentelor.

Se admite un por cu diametrul $d_p = 0,5s_{min} - 0,2$ mm, dar max. 2mm.

Clasele de calitate II: se admit fisuri în centrul nucleului, perpendiculare pe suprafaţa tablei cu lungimea de max. $0,2d_n$ şi pori a căror secţiune transversală totală nu depăşeşte 4% din secţiunea sudurii.

Clasa de calitate III: se admit fisuri în centrul nucleului, perpendiculare pe suprafaţa tablei cu lungimea de max. $0,3d_n$ şi pori a căror secţiune transversală totală nu depăşeşte 8% din secţiunea sudurii.

Pentru toate clasele: nu se admit puncte de sudură străpunse sau metal expulzat pe suprafaţa exterioară a tablei.

7. 3**. Calculul tehnologieri de sudare electrica prin presiune în linie - SPL**

Se va stabili tehnologia de sudare prin presiune in linie conform modelului prezentat mai jos pentru un material dat si o grosime data a tablelor

Elaborarea tehnologiei de sudare în linie SPL

Date iniţiale (de calcul) :
- metalul de bază : OL 37.2n ;
- grosimea tablei : 0,8 ; 1,0 ; 1,2 ; 1,5 ; 2,0 mm ;
- tipul sudurii : de etanşare.

Etape de calcul

1. *Pregătirea suprafeţei tablelor*. Sudarea SPL se face numai pe tablă decapată (nu se sudează tablă neagră în linie datorită suprafeţei oxidate a acesteia). Tabla trebuie să fie curată, fără oxizi, uleiuri, grăsimi, vopsele, etc. Se recomandă curăţirea prin degresare a tablei.
2. *Alegerea materialului rolelor, conform SR ISO 5182/93*
   - CuCr1 – pentru sudarea oţelului nealiat cu conţinut scăzut de C ;
   - Cu Cr Zr – pentru sudarea oţelului nealiat cu puţin carbon şi a tablelor acoperite ;
   - Cu-ETP – pentru sudarea aluminiului
3. *Stabilirea formei rolelor şi a dimensiunilor acestora, conform STAS 11253/85*
   - **<u>rolă teşită bilateral (tablă de oţel carbon obişnuită - neacoperită)</u>**
   - rolă bombată (tablă de oţel zincată, aluminiu)
   - rolă plată (tablă din oţel neacoperită la sudarea în linie prin strivire)
   - dimensiunile rolelor, conform STAS 11253/85 :
     - lăţimea de contact a rolei b : $b = 5\sqrt{s}$
     - lăţimea totală a rolei : $B \geq 2b$
     - diametrul rolei: D = **100**; 112; **125**; 140; **160**; 180; **200**; 224; **250**; 280; **315**. mm, conf. SR EN 20693/95
4. Stabilirea lăţimii cusăturii L_c : $L_c = 2 \times S + 1$= .....mm

   Verificarea condiţiei : $L_c < L_r$
5. Alegerea ciclogramei de sudare. Se propune c*iclul de sudare cu impulsuri de curent I_p, F_{ap} = ct., v_s = ct., figura 2a (motivaţie)*.
6. Stabilirea parametrilor tehnologici de sudare :

   6.1. Timpii de sudare:

   6.1.1. timpul de impuls t_i :1 ; 2 ; 3 ; 4 perioade ;

   6.1.2. timpul de pauză t_p: 1 ; 2 ; 3 ; 4 perioade;

   6.1.3. durata ciclului : $t_c = t_i + t_p$;

   6.1.4. frecvenţa impulsurilor de curent: $f = 1/t_c$ (pentru calcul t_c se introduce in secunde).

   Obs. Se recomandă de regulă ca $t_i \cong t_p$

   6.2. Viteza de sudare v_s:

$$v_s = \frac{5,1(s+1)}{t_c + t_p} \text{ (m/min)}$$

6.3. Curentul de sudare I_s (A)

$$I_s = 7500\sqrt{s+1} + 1600 \cdot s \cdot \sqrt{s+1} \cdot v_s$$

7. Numărul de puncte/minut :

$$n_p = 3000/(ti + tp)$$

8. Pasul maxim pentru o sudură etanşă :

$$p = \frac{v_s(t_i + t_p)}{3} \text{ (mm)}$$

Obs.: în relaţiile 6.2, 7 respectiv 8, t_i; t_p se introduc în perioade;

9. Forţa de apăsare F_{ap} (daN)

$$F_{ap} = (1{,}1 \ldots 1{,}3)\, F_{ap\ puncte}$$

$$F_{ap\ puncte} = p \times A_p = p \times \frac{\pi \cdot d_p^2}{4};$$

unde: $d_{pmin} = 4\sqrt{s}$ *, respectiv p = 7 ... 12 daN/mm²*

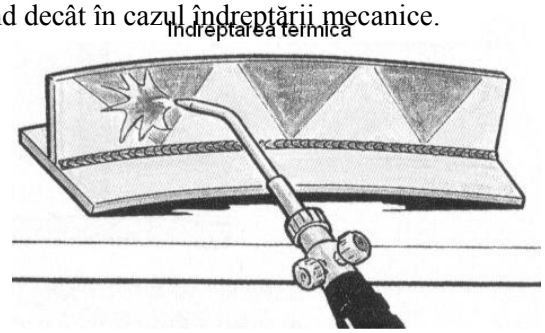
8. TEHNOLOGII DE SUDARE PRIN TOPIRE

8.1. Înlăturarea deformaţiilor la sudare

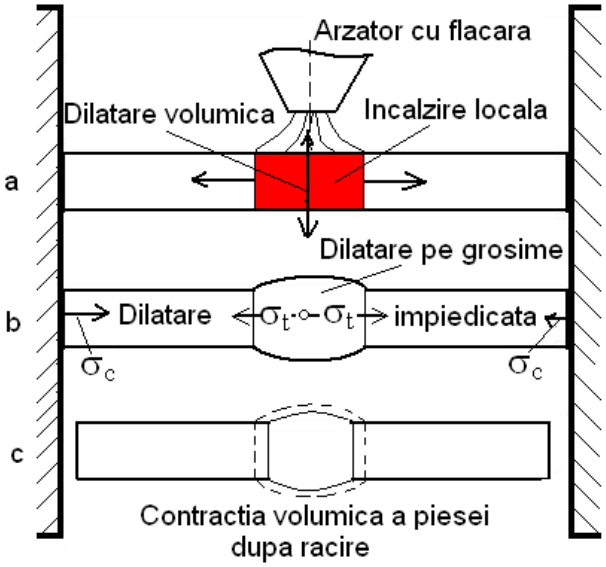
Deformaţiile produse la sudare pot fi înlăturate prin două metode:

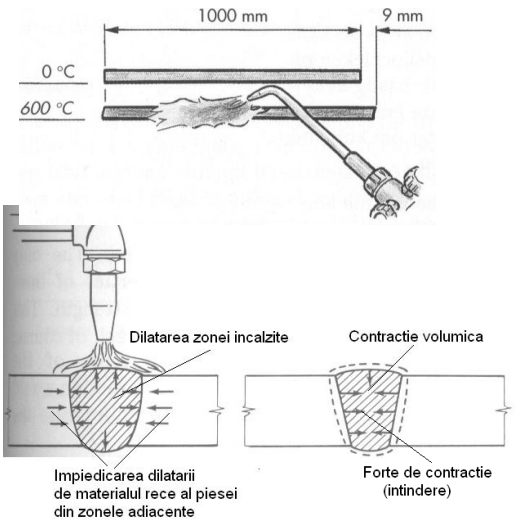
a. <u>îndreptarea mecanică</u> prin ciocănire sau vălţuire (trecerea componentelor printre cilindrii unui valţ); este o metodă relativ simplă, dar are dezavantajul pericolului de fragilizare prin ecruisarea materialului, respectiv pericolul de fisurare;

b. <u>îndreptarea termică</u> (îndreptarea locală cu flacără de gaze) este metoda cea mai uzitată pentru îndreptarea piselor deformate la sudare. Metoda este pe de o parte simplă, iar pe de altă parte metalul de bază este supus unui "tratament" mult mai blând decât în cazul îndreptării mecanice.



<u>Principiul metodei</u> constă în încălzirea locală limitată strict la o zonă în care dilatarea liberă a materialului este împiedicată prin intermediul unor bacuri (a).





Încălzirea produce în materialul care nu se poate dilata o solicitare de compresiune, (b), ceea ce determină apariţia unei dilatări locale pe grosimea materialului în zona încălzită (bombarea materialului). Prin răcire are loc o contracţie a materialului care aduce piesa la forma dorită sub acţiounea forţelor de contracţie care apar în material, (c). În zonele încălzite se produce, datorită dilataţiei împiedicate în faza de încălzire, o scurtare a piesei.

În realitate la îndreptarea cu flacără împiedicarea dilatării locale a materialului în zona încălzită este produsă de materialul de bază rece din zonele învecinate, ceea ce conduce la apariţia unor deformaţii locale nesemnificative ale materialului în această zonă. Forţele de compresiune care apar ulterior la răcire zonei încălzite local aduc piesa la forma dorită.

Etapele îndreptării cu flacără se desfăşoara în următoarea succesiune:

1. identificarea zonelor care au suferit deformaţii respectiv a locului unde se impune aplicarea încălzirii locale, prin urmare stabilirea locului în care trebuie scurtată piesa prin contracţia acesteia;
2. stabilirea cauzelor care au produs deformarea piesei, de obicei încălzirea neuniformă inerentă procesului de sudare;
3. analiza necesităţii de impunere a împiedicării dilatării piesei la încălzire prin mijloace exterioare precum fixarea în dispozitiv, cu şuruburi, cu cabluri, prin bridare, etc. De multe ori acest lucru se obţine natural, fără o intervenţie din exterior, din greutatea proprie a piesei, configuraţia piesei, rigidizarea proprie, etc.
4. încălzirea locală a materialului în domeniul deformării plastice, la temperaturi cuprinse între 550-700ºC (în cazul oţelului), încălzire caracterizată printr-o culoare roşie închisă, de cireaşă coaptă. Pentru obţinerea unui efect maxim, încălzirea locală trebuie să fie cât mai concentrată şi efectuată cât mai rapid pentru evitarea disipării căldurii din zona încălzită în material ceea ce conduce la scăderea eficienţei procedeului sau la obţinerea unor deformaţii nedorite ale piesei în ansamblul ei. Aceste deziderate se obţin prin folosirea pentru încălzirea materialului a flăcării oxiacetilenice care se caracterizează prin cea mai pernică şi mai concentrată flacără oxigaz. În funcţie de aplicaţia reală respectiv de tipul deformaţiei şi gradul de mărime a acesteia *încălzirea locală poate fi* ***punctiformă*** *(circulară),* ***liniară*** (dreptunghiulară*) sau* ***triunghiulară*** *(în formă de pană).* De asemenea o importanţă deosebită pentru eficienţa metodei o are alegerea corectă a mărimii arzătorului flăcării oxiacetilenice. Această alegere se face în funcţie de natura metalului de bază (conductibilitatea termică) şi de grosimea acestuia. La piese din oţel nealiat sau slab aliat cu puţin carbon există următoarea recomandare: până la grosimi de material de 3 mm este adecvată folosirea arzătorului recomandat şi pentru sudarea cu flacără a grosimii respective, iar la grosimi mai mari mărimea arzătorului corespunde celui destinat la sudarea grosimilor de material de 2,0-2,5 ori mai mari decât grosimea tablei care se îndreaptă (*ex. pentru s=10mm, rezultă grosimea de calcul* s_1 *= (2-2,5)xs=20-25mm, ceea ce corespunde mărimii nr. 7 a arzătorului destinat sudării tablelor cu grosmea de 20-30mm; identificarea mărimii arzătorului se face uşor prin numărul respectiv grosimea de material, pentru care este recomandat la sudare, poansonate pe arzător*).
5. contracţia materialului în faza de răcire şi aprecierea vizulă sau cu şabloane a gradului de îndreptare;
6. reluarea operaţiilor dacă rezultatele obţinute nu sunt cele scontate.

8.2. Sudarea la rece a fontelor

Comportarea la sudare

Sudarea fontelor este o problema dificila.

Probleme care apar la sudare :

1) Tendinta de calire si de precipitare a fontelor albe la racirea de la sudare ceea ce conduce la durificarea si fragilizarea puternica a structurii sudate si in final la pericolul fisurarii acesteia. Acest lucru este favorizat si de plasticitatea aproape inexistenta a fontei. Precipitarea fontei albe este accentuata la sudare si de oxidarea puternica a Si din baia metalica care este elementul grafitizant cel mai important al C.

2) Plasticitatea foarte redusa a fontelor care determina o tendinta crescuta spre fisurare.

3) Intervalul de cristalizare mic al fontelor si absorbtia unor cantitati mari de gaze in stare topita conduce la favorizarea aparitiei porilor.

4) Fluiditatea foarte mare a fontelor în stare lichida face dificila sudarea lor in alte pozitii, prin urmare fontele se sudeaza numai in pozitie orizontala sau in jgheab.

Metode de sudare a fontelor :

In functie de temperatura de sudare exista doua metode de sudare a fontelor:

-Sudarea la cald (cu preincalzire) ;

-sudarea la rece (fara preincalzire).

Recomandari tehnologice la sudarea la rece:

- materialul der adaos utilizateste pe baza de Ni sau Ni pur cu continut de Ni de cel putin 50% **la sudarea la rece**. Utilizarea acestor materiale ofera doua avantaje la sudare:
-Ni asigura plasticitate imbinarii sudate reducând pericolul fisurarii (tensiuni interne reduse)
-impiedica difuzia C din MB in cusatura, fenomen care are doua efecte negative si anume:
- saracirea MB in C si crearea premiselor de precipitare a cementitei in ZIT si fragilizarea acesteia cu pericolul fisurarii sub actiunea tensiunilor interne ;
- prin difuzia C in cusatura are loc pericolul precipitarii unor constituenti duri si fragili de tipul carburilor. Proprietatile Ni de blocare a difuziei C in cusatura se foloseste in practica la placarea suprafetei rostului inainte de sudare.
Ex. de marci de electrozi pentru sudarea la rece a fontei : EF-NiS, EF NiFeB, EF NiCu (monel).
-sudarea se face cu randuri subtiri si scurte 30-50 mm lungime ;
-depunerea randurilor se face alternativ in diferite zone ale rostului urmarind o incalzire cât mai redusa si uniforma a pieselor ;
-temperatura intre treceri 60-100C ;
-sudarea se face cu energie liniara redusa : de-cat mai mici, fara pendulare, Is redusi(mai mici ca la electrozii pt. OL la acelasi diametru) ;
-dupa fiecare depunere se recomanda ciocanirea cusaturii cu ciocan cu varf rotunjit; prin ciocanire are loc deformarea plastica locala care conduce la diminuarea tensiunilor interne prin relaxarea acestora ; deformatiile se produc usor deoarece materialul cusaturii are plasticitate foarte ridicata si în plus este cald.
Observatie : tensiunile interne introduse de materialul pe baza de Ni sunt mari datorita diferentei dintre coeficientii de dilatare liniara a MA fata de MB.
-se va suda dinspre zonele cu rigiditate mare spre zonele cu rigiditate mica asigurand mobilitatea;
-dupa fiecare trecere cusatura se va curati si se va verifica vizual. Daca sunt fisuri e obligatoriu indepartarea lor prin polizare.
Ex. de recondiţionare a unei fisuri :
1. evidenţierea extinderii fisurii prin control vizula, cu lupa, cu lichide penetrante ;
2. limitarea vârfurilor fisurii prin găurire pentru a împiedica propagarea acesteia în timpul prelucrării sau sudării, $d_{gaură}$ =3-5 mm ;
3. escavarea fisurii prin polizare, aschiere, dăltuire (nu prin crăiţuire arc-aer) ;
4. sudarea propriu-zisă cu respectarea recomandărilor tehnologice de mai sus ;
5. umplerea găurilor de capăt ;
6. controlul final, vizual sau cu lichide penetrante.

8.3. Sudarea aluminiului si aliajelor sale

Proprietatile mult diferite ale aluminiului fata de ale otelului face ca sudarea aluminiului sa fie mult mai diferita decat sudarea otelurilor. Daca se cunosc problemele care apar la sudarea aluminiului atunci aceasta se face relativ usor.
Probleme care apar la sudarea aluminiului
1. Aviditatea mare fata de oxigen.
Datorita acestei aviditati pe suprafata aluminiului se formeaza natural o pelicula de Al_2O_3 care este benefica din punct de vedere al proprietatilor asigurand rezistenta la oxidare a aluminiului si aliajelor sale pentru ca Al_2O_3 este compact si aderent si are o structura amorfa. Sudarea impune sa se faca in conditii de protectie deosebita la patrunderea gazelor în arcul electric respectiv pelicula de Al_2O_3 sa se indeparteze de pe suprafata componentelor inainte de sudare.
2. Conductibilitatea termica ridicata
Conductibilitatea termica ridicata determina disiparea rapida a caldurii arcului electric de la locul sudarii in componente facand dificila topirea materialului de baza.
Compensarea pierderilor de caldura prin conductie termica se face prin surse de putere mare (plasma, fascicol de electroni, respectiv prin preincalzirea componentelor inainte de sudare la temperaturi cuprinse intre 100 – 200 ^oC in functie de procedeul de sudare si de grosimea componentelor sudate.
3. Coeficientul de dilatare mare
Coeficientul de dilatare mare al aluminiului conduce la inducerea unor tensiuni in timpul sudarii sau imediat dupa sudare, de aceea se impune evitarea sudarii in dispozitive si rigidizarea componentelor la sudare trebuind sa se asigure o mobilitate mare. Acest pericol este cu atat mai mare in cazul sudarii fara material de adaus cand are loc in axa imbinarii sudare pe toata lungimea cusaturii.
4. Capacitate mare de dizolvare in stare topita a gazelor si in special a H_2

La solidificare solubilitatea H tinde la 0 (0.05 cm^3 / 100 gr material depus fata de otel care poate dizolva 8 cm^3 / 100 gr material dizolvat. Acest lucru duce la formarea porilor, pericol accentuatsi de viteza de solidificare mare a baii. Practic in cazul sudarii aluminiului prin topire este imposibila obtinerea unei cusaturi sudate fara pori. Calitatea respectiv volumul acestora se limiteaza in functie de cerintele clasei de calitate.

5. Aliajele aluminiului deformate plastic la rece sau aliajele calibile isi pierd efectul de ecruisare in imbinarea sudata si in ZIT ca urmare a caldurii introduse la sudare, ceea ce determina reducerea caracteristicilor mecanice ale imbinarii fata de cele ale materialului de baza. Rezistenta imbinarii sudate poate ajunge chiar pana la 50 % din rezistenta materialului de baza, aspect de care trebuie tinut cont la proiectarea imbinarilor sudate. Cresterea caracteristicilor sudate se poate face prin ciocanire cu un ciocan cu varf rotunjit la aliajele deformabile, respectiv la aplicarea tratamentului post sudare la aliajele calibile. Prin ciocanire se poate ajunge la 0.8 – 0.9 % din rezistenta materialului de baza. Prin urmare tehnologul sudor trebuie sa stie intodeauna tipul aliajului pe care-l sudeaza, calibil sau necalibil in functie de tehnologia de sudare.

*6. Aliajele de Al + Mn + Si + Cu care prezinta eute*ctici au o mare susceptibilitate la cald. Pentru reducerea acestei tendinte este necesar alegerea corecta a materialului de adaus, astfel incat intervalul de solidificare al metalului depus sa fie sub 50 ^oC

Recomandari tehnologice

Sudarea aluminiului se face prin procedeele de sudare WIG, MIG, fascicul de electroni si din ce in ce mai rar SE. Procedeul MIG in curent pulsat si WIG in CA asigura cea mai buna calitate a imbinarii sudate in conditii de costuri scazute.

Sudarea WIG

Protectia arcului se face in general cu argon 100 % cu puritate foarte mare (mai mare decat 99.9 %), tipurile A si B din STAS pentru evitarea oxidarii baii metalice si a electrodului de W supraancalzit. La sudare pot fi folosite si amestecuri de gaze Ar + He.

Prin introducerea in argon a unei cantitati mici de O_2 sub 0.03% se realizeaza imbunatatirea arcului electric de pe insulele mici de Al_2O_3 formate pe suprafata baii metalice.

Daca de foloseste Ar + He are loc cresterea puterii arcului electric datorita cresterii Ua care are un grad de ionizare mare (He = 24.5 V fata de Ar = 15.7 V) Aceasta duce la cresterii productivitatii prin cresterea patrunderii si a vitezei de sudare. Se reduc defectele prin lipsa porilor ca urmare a cresterii temperaturii baii si a intervalului de solidificare astfel rezultand o imbinare mai sigura dar mai scumpa datorita costului ridicat al He. Procentul de He se limiteaza la 70% deoarece He fiind mai usor decat aerul are tendinta de a se ridica creand probleme cu asigurarea protectiei baii.

Deasemenea la utilizarea amestecului de Ar + He apar dificultati de amorsare datorita gradului de ionizare mai mare al He.

Instalatiile mai noi de WIG permit amorsarea cu Ar dupa care trece automat in Ar + He.

Este posibila si utilizarea de He pur pentru suduri mecanizate a aluminiului prin pozitionarea capului de sudare la o distanta de 0.5 mm fata de componente putandu-se suda si in CC^-. Debitul gazului este mai mare ca la otel cu 5 – 15 l / min la Ar respectiv mai mare la amestecuri.