

## SUDAREA ELECTRICĂ PRIN PRESIUNE

### 1 Probleme generale

*Sudarea* este operația de îmbinare nedemontabilă a două sau mai multe piese sub influența căldurii. Totalitatea operațiilor tehnologice necesare realizării acestei îmbinări constituie *procedeul de sudare* al cărui rezultat este *sudura* propriu-zisă.

Procedeele de sudare a pieselor metalice se pot împărți în două mari grupe și anume: *procedee de sudare prin presiune* (deformare plastică) și *procedee de sudare prin topire*. În ambele cazuri este necesară o energie termică furnizată din exterior (arzătoare cu flacără, arc electric, reacții chimice exoterme etc.) pentru a se asigura interpătrunderea rețelelor cristaline ale materialelor de îmbinat.

La sudarea prin presiune, deformarea rețelei cristaline conduce la o creștere a energiei potențiale a atomilor și pentru a reveni la o stare energetică stabilă se impune transformarea acestei energii în energie cinetică. Conversia energiei este favorizată de mărirea mobilității atomilor, adică de încălzirea pieselor care se sudează. Din această cauză, deformarea plastică este însoțită de trecerea curentului electric prin zona de contact dintre piese, rezultând o cantitate de căldură prin efect Joule-Lenz.

Încălzirea se recomandă a se face înaintea și în timpul deformării, deoarece creșterea temperaturii în zona de contact reduce efortul de compresiune, măbind în același timp rezistența mecanică a îmbinării.

Efortul de compresiune aplicat din exterior servește la:

- aducerea pieselor în contact intim și realizarea deformării plastice necesare;
- înlăturarea stratului superficial de impurități;
- obținerea unei îmbinări compacte, fără goluri și cu tensiuni mecanice reduse;
- eliminarea metalului topit dintre piesele de sudat, la procedeele la care topirea are loc în spații deschise.

În funcție de temperatura maximă atinsă de zonele în care are loc sudarea, distingem:

- sudarea la rece;
- sudarea la cald în stare solidă (prin rezistență);
- sudarea la cald cu topire (prin scântei).

Sudarea la rece are loc la o temperatură a zonei de contact mai mică decât cea de recristalizare, iar sudarea la cald în stare solidă are loc la temperaturi cuprinse între cea de recristalizare și cea de topire. Dacă temperatura suprafețelor în contact este mai mare decât cea de topire, atunci ne situăm în cel de al treilea caz când apar scântei în zona îmbinării.

Sudarea prin presiune, în funcție de procedeul de lucru ales, poate fi: *cap la cap*, *prin puncte*, *în linie*, *cu energie înmagazinată*, *cu ultrasunete*, etc.

### 2 Sudarea cap la cap

Sudarea cap la cap se realizează la cald în stare solidă sau cu topire. În primul caz, capetele pieselor bine prelucrate sunt aduse în contact și li se aplică un efort de apăsare. Apoi, se conectează sursa de alimentare cu energie electrică și, după atingerea stării plastice a capetelor aflate în contact intim, se mărește efortul de apăsare, ceea ce are ca rezultat refularea metalului și deci, sudarea pieselor. Îmbinarea obținută conține impurități de la suprafețele limitrofe și oxizii formați în timpul încălzirii.

Procedeul descris fiind destul de costisitor (se prelucrează mecanic suprafețele în contact) se utilizează numai la îmbinarea barelor cu diametre sub 20mm sau a țevilor cu diametre mici și pereți groși.

Sudarea cap la cap cu topire se poate executa în mai multe variante, dar cea mai des întâlnită este cea cu topire intermediară în trei stadii succesive (fig.11.1) și anume: preîncălzirea (1), topirea (2) și refularea (3).

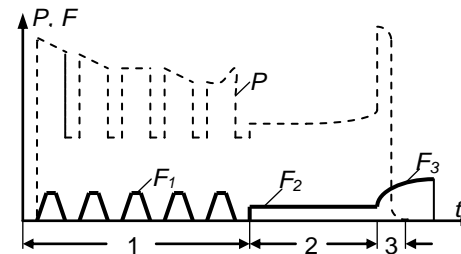


Fig.11.1 Stadiile sudării cap la cap cu topire intermediară

Preîncălzirea are loc prin aducerea în contact și prin presarea pieselor, ca și la sudarea în stare solidă. Datorită presiunii  $p$  de valoare ridicată, rezistența de contact este mică și apare un curent intens încât preîncălzirea se face fără topire.

Treptat capetele pieselor se încălzesc, iar proeminențele în contact ating temperatura de topire și apar punți de metal lichid între acestea.

O astfel de punte (fig.11.2) este supusă la următoarele eforturi:

- *tensiunea superficială*  $F_{\sigma}$  care tinde să mărească diametrul  $d$  punții de metal lichid;
- *forța de contracție*  $F_c$  generată de efectul de atracție dintre căile elementare de curent parcurse în același sens de curentul de sudare;
- *forța electrodinamică de atracție*  $F_a$  dintre două bucle vecine;
- *forța datorată efectului de buclă*  $F_b$  al curentului electric ce tinde să mărească conturul circuitului electric.

La creșterea curentului, forțele de atracție și (mai ales) contracție devin preponderente, secțiunea punții scade și în cele din urmă se atinge temperatura de

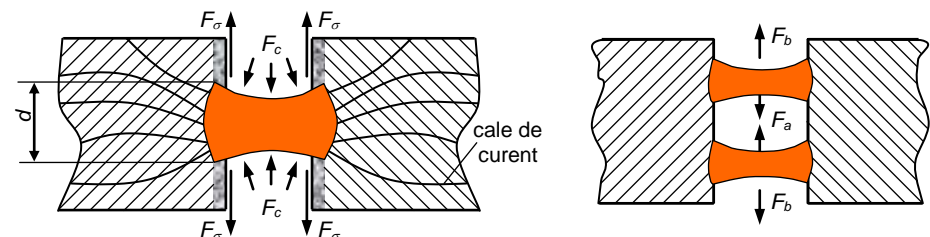


Fig.11.2 Forțe de acțiune asupra punților de metal lichid

vaporizare a metalului. Vaporii de metal, inclusiv gazele formate, ating o presiune capabilă să învingă tensiunea superficială și are loc o împrăștiere a metalului sub formă de scântei.

Printr-o apropiere continuă a pieselor se formează noi punți de metal topit și începe cea de a doua fază, *topirea*, caracterizată printr-o ploaie continuă de scântei. În acest timp zona incandescentă se extinde tot mai mult până ce cuprinde întreaga suprafață frontală a pieselor. Când capetele sunt suficient de încălzite se trece la cea de a treia etapă, *refularea*, aplicându-se o presiune suficientă pentru a avea loc sudarea.

### 3 Sudarea prin puncte

Sudarea prin puncte înlocuiește nituirea și se aplică la îmbinarea, prin suprapunere, a tablelor sau sârmelor metalice. Cele două piese sunt aduse în contact și în zona îmbinării se aplică un efort de compresiune prin intermediul a doi electrozi cilindrici, care sunt conectați la secundarul unui transformator de forță.

Strângerea electrozilor se poate face mecanic, pneumatic sau hidraulic. Prin acest procedeu se pot suda o gamă largă de materiale sub formă de table sau sârme, de diferite dimensiuni, din diferite tipuri de oțel sau din materiale metalice neferoase. În funcție de natura și dimensiunile materialului se aleg: dimensiunile electrozilor, curentul de lucru și timpul de sudare.

Sudura este de calitate atunci când nucleul central al zonei ce se sudează (punctul de sudare) atinge temperatura de topire (fig.11.3). Diametrul acestui punct  $d_n$  este aproximativ egal cu diametrul de sprijin al electrodului și se determină cu:

$$d_e \cong d_n \cong 2 \cdot g + 1 \dots 3 \text{ [mm]} \quad (11.1)$$

în care  $g$  este grosimea materialului de sudat, [mm].

Pentru a împiedica țâșnirea metalului topit din nucleul încălzit, este necesar ca acesta din urmă să fie înconjurat de un inel cu diametrul  $d_{in}$  în interiorul căruia tablele se ating etanș. Prin comprimare, electrozii produc în material imprimări cu adâncimea de:  $\Delta \approx (0,1 \dots 0,2) \cdot g \cdot 10^{-2} \text{ [m]}$  (11.2)

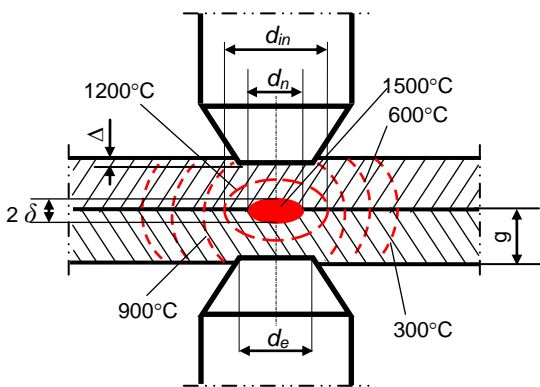


Fig.11.3 Câmpul de temperatură la îmbinarea sudată prin puncte

Examinând câmpul termic în stadiul final al sudării se constată că temperatura maximă se atinge în zona de contact a tablelor ( $\approx 1500^\circ\text{C}$ ), întrucât rezistența de contact este mai mare decât cea corespunzătoare zonelor electrod-piesă. Pentru a realiza o diferență mare de temperatură între zona de contact a tablelor și supra-fețele lor, electrozii se răcesc cu apă.

Viteza de transmitere a căldurii depinde de fluxul termic  $\Phi$  și din analiza curbelor de încălzire (fig.11.4-a) trasate pentru curenți de sudare diverși se observă că

temperatura de sudare  $\theta_s$  poate fi atinsă numai dacă fluxul termic mediu  $\Phi_{med}$  depășește o valoare minimă  $\Phi_{min}$ . Trebuie de precizat că fluxuri termice ridicate asigură viteze de încălzire mari, deci consumuri de energie electrică reduse pentru realizarea aceluiași punct de sudare.

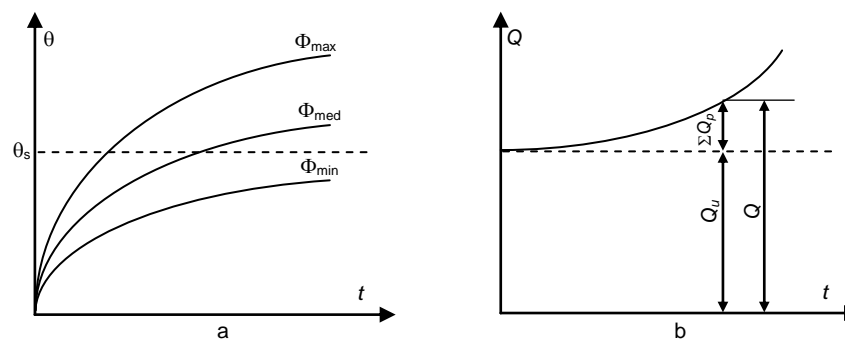


Fig.11.4 Curbe de încălzire la îmbinarea sudată prin puncte

Ecuția de bilanț termic la un proces de sudare prin puncte este de forma:

$$Q = Q_u + \sum Q_p, \text{ [J]} \quad (11.3)$$

unde:  $Q_u$  - cantitatea de căldură utilă, necesară încălzirii și topirii unui nucleu de metal cu diametru  $d_m$  și grosime  $2\delta$ .

$$\sum Q_p = Q_c + Q_r + Q_a - \text{pierderi de căldură;}$$

- $Q_c$  - pierderi de căldură prin conducție în materialul pieselor de sudat;
- $Q_r$  - pierderi de căldură prin convecție și radiație în mediul ambiant;
- $Q_a$  - pierderi de căldură prin electrozii răciți cu apă.

Pierderile de energie termică sunt direct proporționale cu durata ciclului de sudare (fig.11.4-b) și pentru timpi de acționare mici sunt neglijabile în raport cu căldura utilă.

Timpul necesar sudării unui punct depinde de grosimea și proprietățile fizice ale materialului de sudat, de puterea mașinii de sudare și de efortul de compresiune. Orientativ, durata de sudare a unui punct se poate considera egală cu o secundă pentru fiecare milimetru grosime de tablă (din oțel slab aliat).

Din punct de vedere constructiv, utilajele destinate sudării prin presiune (mașinile de sudare) conțin o parte mecanică și una electrică. Partea mecanică (fig.11.5) servește la prinderea pieselor și asigură efortul de apăsare al electrozilor pe zona de îmbinare. Acționarea dispozitivelor de compresiune poate fi pneumatică, hidraulică sau manuală. Partea electrică are ca element principal un transformator de putere cu 4...12 trepte de reglaj pe primar, ceea ce asigură o plajă suficient de largă pentru curentul de sudare.

În cazul în care procedeu de sudare necesită timpi foarte exacti de acționare, cu un număr repetat de cicluri de funcționare, atunci între rețea și transformator se montează un contactor static sau cu tiristoare, comandat de un

releu electronic de timp.

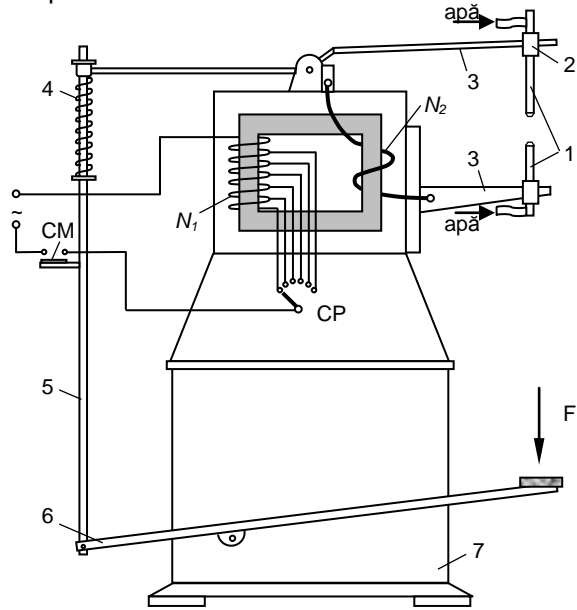


Fig.11.5 Mașină de sudat prin puncte

1- electrozi răciți cu apă; 2- portelectrozi; 3- console portelectrozi; 4- resort; 5, 6- sistem de pârghii; 7- batiu; F- efort de apăsare pe pedală (acționare manuală); CM- contact mobil; CP- comutator cu ploturi (de reglaj);  $N_1$ ,  $N_2$ - numărul de spire al înfășurărilor primară și secundară.

Gama de echipamente se întinde de la clești de sudare portabili de putere mică (sub 2 kVA) și mase sub 10 kg, până la mașini staționare de 630 kVA și mase de sute de kilograme. Sudarea prin presiune poate fi în totalitate automatizată. Electrozii pot fi fi plasați pe brațe robotizate, cu avantajul poziționării rapide și precise și a repetabilității foarte bune. De exemplu, sudarea robotizată a caroseriilor auto folosește procedeul sudării prin puncte.

#### 4 Caracteristicile electrice ale mașinilor de sudură prin presiune

Dacă se neglijează curentul de magnetizare și pierderile în fier, schema echivalentă a unui circuit de sudare este cea din fig.11.6 în care s-a notat cu:

$U_1$ ,  $I_1$  - tensiunea și curentul primar;

$U_1'$ ,  $I_2'$  - tensiunea și curentul secundar, raportat la primar;

$R_{sc}$ ,  $X_{sc}$  - parametrii de scurtcircuit ai transformatorului;

$R_s'$ ,  $X_s'$  - parametrii circuitului de sudare raportați la primar;

$r_s'$  - rezistența de sarcină (a sudurii) raportată la primar.

Randamentul electric al instalației devine:

$$\eta_e = \frac{r_s'}{r_s' + (R_{sc} + R_s')} \quad (11.4)$$

Valoarea acestuia este aproximativ  $\eta=0,4$  în cazul unei dimensionări precise

a utilajului de sudare, atunci când termenul  $R_{sc}+R_s'$  are o valoare apropiată de  $r_s'$ .

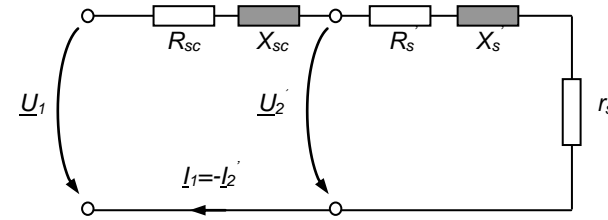


Fig.11.6 Schema echivalentă a circuitului de sudare

Randamentul electric depinde în mare măsură de tipul constructiv al mașinii, de modul de execuție și întreținere a circuitului de sudare, precum și de calificarea personalului de deservire. Astfel, mașinile destinate îmbinării pieselor de gabarit ridicat au randament scăzut datorită lungimii mari a circuitului de sudare (console și portelectrozi lungi).

În ceea ce privește factorul de putere, acesta se determină cu relația:

$$\cos \varphi_s = \frac{r_s' + R_s' + R_{sc}}{\sqrt{(r_s' + R_s' + R_{sc})^2 + (x_s' + x_{sc})^2}} = \frac{R_{ts}}{Z_{ts}} \quad (11.5)$$

și are valori cuprinse între 0,5...0,6 deoarece reactanța circuitului este preponderentă și nu poate fi micșorată prea mult din considerente constructive.

Valorile reduse ale randamentului și factorului de putere au dezavantajul unei supradimensionări a utilajului, căci puterea aparentă în primar este:

$$S_1 = P_2 / (\cos \varphi \cdot \eta_e) \quad (11.6)$$

unde  $P_2$  este puterea utilă necesară realizării unui punct de sudură determinată cu:

$$P_2 = r_s \cdot I_2^2 = r_s \cdot k_j^2 \cdot I_1^2 = \frac{r_s'}{Z_{ts}^2} \cdot U_1^2 \quad (1.7)$$

Raportul de transformare  $k_j$  pentru treapta de reglare  $j$  se determină din proba de mers în gol și are valoarea

$$k_j = \frac{U_{10}}{U_{20j}} = \frac{w_{1j}}{w_2} \quad (11.8)$$

iar dacă se păstrează tensiunea de alimentare constantă, se poate modifica puterea utilă prin reglarea raportului de transformare.

La alimentarea unităților de mare putere, care în general sunt monofazate, pot apărea asimetrii ale curenților și tensiunilor în sistemul de alimentare. De aceea se recomandă fie funcționarea simultană a trei mașini (la aproximativ același curent de sudare), fie simetrizarea sarcinii cu dispozitive speciale (Steinmetz, etc.) în cazul conectării unei singure unități.

## 5 Desfășurarea aplicației

Se vor examina și schița părțile mecanice ale mașinii de sudare prin puncte aflată în laborator.

Se va explica schema electrică de funcționare (fig.11.7) a mașinii de sudare. Transformatorul de sudare  $TS$  poate fi conectat la rețea fie prin intermediul contactorului electromagnetice  $K$ , fie prin contactorul static cu tiristoare  $CS$ , cu sau fără temporizare la deconectare. Temporizarea este asigurată prin releul de timp electronic  $RT$ .

Se determină, din proba de mers în gol, tensiunile  $U_{10j}$  și  $U_{20j}$  și se calculează rapoartele de transformare  $k_j$  pentru fiecare treaptă de reglaj;

Se determină, pentru fiecare treaptă de reglaj, din proba de mers în sarcină, mărimile  $U_{1s}$ ,  $I_{1s}$ ,  $P_{1s}$  și se calculează:

$$\text{- impedanța totală de sarcină: } Z_{ts} = U_{1s} / I_{1s} \quad (11.9)$$

$$\text{- rezistența totală de sarcină: } R_{ts} = r'_s + R'_s + R'_{sc} = P_{1s} / I_{1s}^2 \quad (11.10)$$

$$\text{- impedanța totală de sarcină: } Z_{ts} = \sqrt{R_{ts}^2 + X_{ts}^2} \quad (11.11)$$

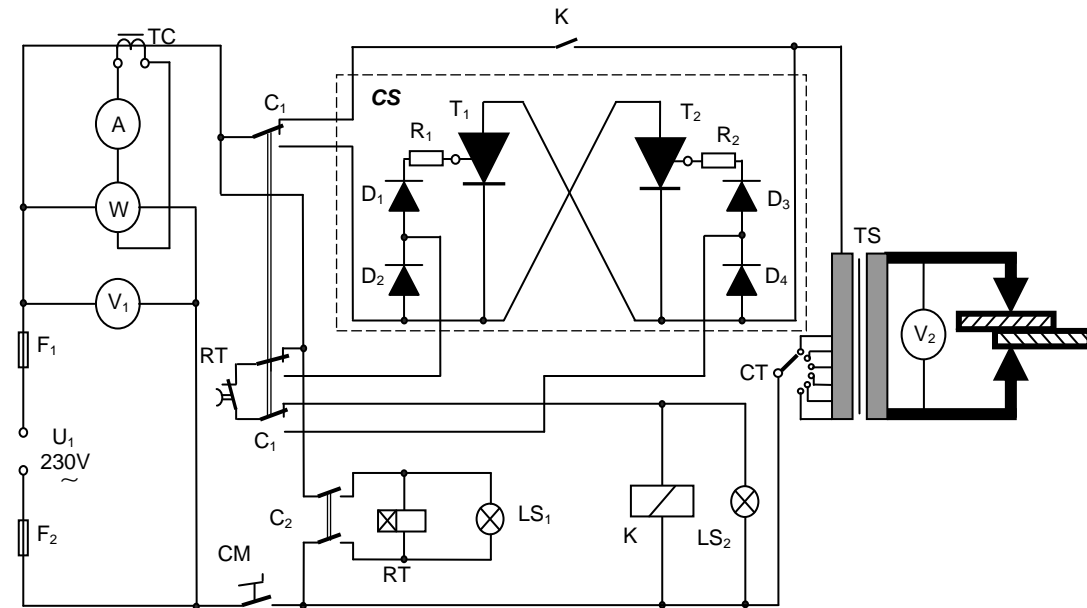
Se determină, pentru fiecare treaptă de reglaj, din proba de scurtcircuit (electrozii aduși în contact direct) mărimile  $U_{1sc}$ ,  $I_{1sc}$ ,  $P_{1sc}$  și se calculează rezistența de scurtcircuit a mașinii precum și rezistența sudurii raportate la primar:

$$R_{tsc} = P_{1sc} / I_{1sc}^2 \quad r'_s = R_{ts} - R_{tsc} \quad (11.12)$$

Se determină randamentul electric și factorul de putere pe fiecare treaptă de tensiune cu:

$$\eta_e = r'_s / R_{ts} \quad \cos \varphi_s = R_{ts} / Z_{ts} \quad (11.13)$$

Se trasează curbele de variație ale principalilor parametri electrici în funcție de raportul de transformare  $k_j$ .



**Fig.11.7** Schema electrică a mașinii de sudat prin puncte

$F_1$ ,  $F_2$  – siguranțe fuzibile;  $C_1$  – comutator pentru selecție contactor electromagnetice  $K$  sau contactor static  $CS$  (pentru situația din figură: este selectat contactorul  $K$ );  $C_2$  – comutator conectare releu de timp (pentru situația din figură: nu se folosește temporizarea deconectării  $TS$ );  $RT$  – releu electronic de timp;  $T_1$ ,  $T_2$  – tiristoare;  $D_1 \dots D_4$  – diode;  $LS_1$ ,  $LS_2$  – lămpi de semnalizare;  $A$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $W$  – aparate de măsură;  $TC$  – transformator de curent;  $TS$  – transformator de sudare (cu circuitul secundar realizat din 1-2 spire din bară de cupru);  $CM$  – contact mobil pedală.