



Universitatea Politehnica Timișoara
Facultatea de Construcții

Departamentul de Construcții Metalice și Mecanica Construcțiilor

**CERCETĂRI PRIVIND SUDAREA ELECTRICĂ PRIN
PRESIUNE ÎN PUNCTE ÎN CURENT CONTINUU A
TABLELOR ZINCATE, CU IMPLEMENTARE LA
REALIZAREA SUBANSAMBLELOR DE TIPUL
GRINZILOR DIN ELEMENTE UȘOARE**

AUTORI:

Prof. Dr. Ing. Daniel-Viorel Ungureanu

Ș.L. Dr. Ing. Mircea Burcă

Ș.L. Dr. Ing. Ioan Both

TIMIȘOARA
2018

1. Sudarea electrică prin presiune în puncte

Sudarea electrică prin presiune în puncte face parte din categoria procedeelelor de sudare prin presiune a tablelor subțiri, sub 3 mm, prin suprapunere. În această categorie intra următoarele trei procedee de sudare:

- sudarea electrică prin presiune în puncte;
- sudarea electrică prin presiune în relief (cu bosaje);
- sudarea electrică prin presiune în linie.

1.1. Principiul sudării electrice prin presiune în puncte - SPP

Constă în realizarea unei îmbinări sudate între suprafețele în contact a două sau mai multe componente suprapuse în zonele prin care trece curentul de sudare. Schema de principiu a procedurii este prezentată în figura 1.1.

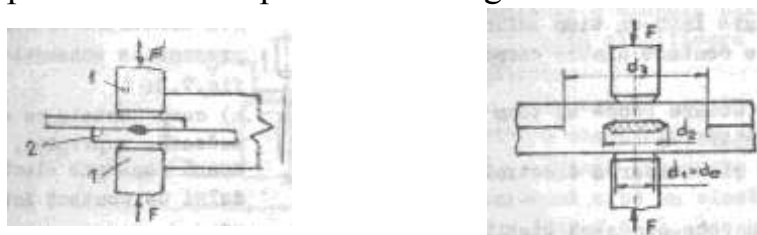


Figura 1.1. Schema de principiu la sudarea SPP

Componentele 2 sunt strânse cu forța de apăsare F între electrozii de contact 1 legați la secundarul sursei de sudare. Încălzirea componentelor în zona de trecere a curentului are loc prin efect Joule-Lenz. La început încălzirea maximă se obține la contactul componentelor apăsate de electrozii de contact datorită rezistenței de contact de valori ridicate și a răcirii intense promovate de electrozii de contact la contactul acestora cu suprafața componentelor. Rezistența de contact scade însă foarte repede până la anularea ei datorită încălzirii locale și acțiunii forței de apăsare ca urmare a creșterii secțiunii în zona de contact (înmuierea și aplatizarea asperităților suprafețelor). Prin încălzirea materialului are loc creșterea rezistivității electrice a materialului componentelor fapt ce intensifică efectul Joule-Lenz prin creșterea rezistenței. Prin urmare componentele se încălzesc în continuare. Pentru oțeluri obișnuite rezistivitatea crește de zece ori în apropierea nucleului topit față de valoarea ei la temperatura ambiantă.

Când temperatura în zona de contact atinge o anumită valoare încep să se formeze grăunți cristalini comuni prin apropierea la distanțe interatomice a suprafețelor componentelor. Dacă curentul se întrerupe în acest stadiu se obține o îmbinare slabă datorită grăunților grosolani din care este format nucleul și datorită prezenței impurităților. Dacă curentul nu se întrerupe rezultă un nucleu topit cu diametrul d_2 , care este înconjurat în planul de contact de un inel d_3 de grăunți cristalini comuni formați prin sudarea în stare solidă sub acțiunea forței de apăsare, figura 1.1.

După formarea nucleului topit se întrerupe curentul, metalul se solidifică și se obține punctul sudat având o structură dendritică în zona centrală.

Sucesiunea fazelor de sudare SPP este prezentată în figura 1.2.

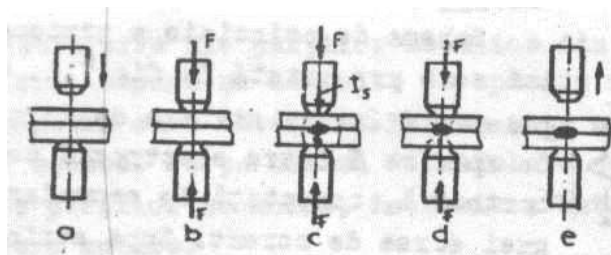


Figura 1.2. Succesiunea fazelor la sudarea SPP

- componentele suprapuse se așează deasupra electrodului de contact inferior;
- strângerea componentelor prin coborârea electrodului de contact superior prin aplicarea forței de apăsare F în scopul asigurării unui contact electric bun;
- conectarea curentului de sudare, încălzirea și formarea nucleului topit prin efect Joule-Lenz în zona de contact dintre componente;
- întreruperea curentului de sudare (după un timp foarte scurt) și menținerea forței de apăsare;
- anularea forței de apăsare și retragerea electrodului superior.

Caracteristicile mecanice ale punctului sudat sunt influențate de însușirile metalului din nucleul topit și ZIT precum și de dimensiunile nucleului topit.

Clasificarea sudării SPP:

- după poziția electrozilor:
 - sudarea SPP directă (figura 1.1), la care electrozii de contact sunt plasați de o parte și de alta a componentelor;
 - sudarea SPP indirectă, figura 1.2, la care electrozii de contact sunt plasați de aceeași parte a componentelor; aceasta se poate realiza folosind un singur electrod de contact (fig.1.2a) sau doi electrozi de contact plasați pe o singură parte (fig. 1.2b)

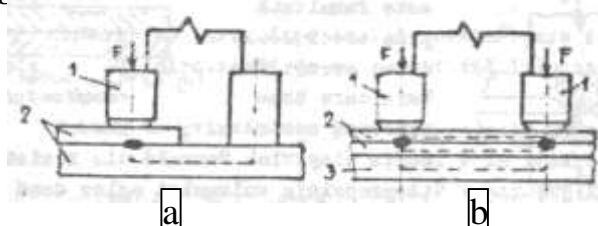


Figura 1.2. Sudarea SPP indirectă: 1-electrozi de contact; 2-componente; 3-placă de cupru

- după numărul de puncte realizate:
 - sudarea în puncte individuale prin realizarea unui singur punct;
 - sudarea în puncte duble, la care pentru realizarea fiecărui punct se utilizează câte un electrod de contact și un electrod comun sub formă de placă (fig. 1.2b). Această variantă se folosește la sudarea componentelor de maxim 1,5 ... 2 mm grosime. Dacă componenta inferioară are o grosime de 2 ... 3 ori mai mare decât cea superioară se poate renunța la placa de cupru.

- Sudarea în puncte multiple, când se utilizează mai mulți electrozi de contact, realizându-se două sau mai multe puncte simultan sau într-o secvență controlată automat.

1.2. Condițiile de formare a îmbinării sudate

Condiția necesară și suficientă de formare a îmbinării sudate la sudarea SPP este ca în zona de contact dintre componente să se formeze un strat de metal topit. Procesul poate fi împărțit în trei etape principale, fig. 1.3.

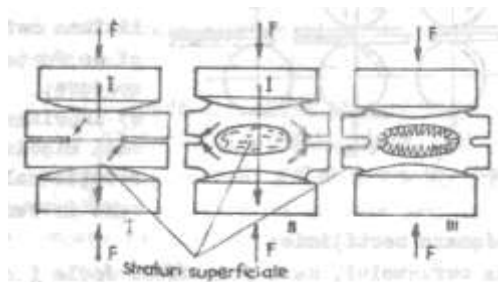


Figura 1.3. Etapele formării sudurii la sudarea SPP

- I. În prima etapă metalul componentelor, în zona de contact realizată prin apăsarea electrozilor de contact cu forța F , se încălzește și se dilată sub acțiunea căldurii obținute prin efect Joule-Lenz la trecerea curentului de sudare prin rezistența de contact și prin rezistența proprie a componentelor.
- II. În etapa a doua suprafața de contact dintre componente crește în continuare ca efect al aplatizării asperităților și sub acțiunea căldurii are loc formarea unui nucleu de metal topit de o anumită dimensiune în funcție de grosimea componentelor. Straturile superficiale de oxizi și impurități de pe suprafața componentelor în contact se amestecă cu metalul topit. Metalul se dilată în continuare și suferă deformări plastice.
- III. În etapa a treia, prin deconectarea curentului, metalul nucleului topit se răcește și recrystalizează prin solidificare.

Forța de apăsare are rolul de realizare a unui contact metalic local între componente și de creare în jurul nucleului topit a unei zone de contact intim între suprafețele componentelor care să împiedice expulzările de metal lichid și accesul aerului din mediul înconjurător, evitând oxidarea băii metalice a nucleului.

Deformările plastice ale metalului datorate încălzirii au un rol important pentru ruperea și desprinderea stratului de oxizi de pe suprafața componentelor. Stratul superficial de oxizi și impurități are de obicei o temperatură de topire mai mare decât a metalului de bază (cu excepția oxizilor de fier) și doar se dizolvă în nucleul topit. Îndepărtarea oxizilor din baie are loc sub acțiunea forțelor electrodinamice care acționează asupra băii metalice și care produce o puternică agitație a metalului topit conducând la omogenizarea nucleului.

Forțele electrodinamice au valori maxime la marginile nucleului scăzând spre interior pentru ca la mijlocul acestuia să devină nule. Sub acțiunea acestor forțe în baie metalică ia naștere o presiune variabilă după o lege parabolică a cărei valoare maximă se obține în mijlocul nucleului topit și care scade la zero înspre exteriorul acestuia. Agitația băii conduce la amestecarea metalului topit, la ruperea peliculei de oxizi din

baie și în același timp, sub acțiunea forțelor orientate favorabil, la împingerea spre extremitățile băii a elementelor nefuzibile din aceasta (oxizi, impurități, etc.).

1.3. Sursele termice la sudarea electrică prin presiune în puncte, SPP

Cantitatea de căldură necesară formării punctului sudat se obține prin efect Joule-Lenz conform relației:

$$Q = \int_0^t I^2(t) \cdot R(t) \cdot dt \quad (1.1)$$

unde: $R(t)$ – rezistența totală a circuitului electric dintre electrozii de contact, variabilă în timp;

Rezistența totală a circuitului electric dintre electrozii de contact este formată dintr-o sumă de rezistențe, figura 1.4, calculată cu expresia:

$$R = R_c' + 2R_c'' + 2R_p \quad (1.2)$$

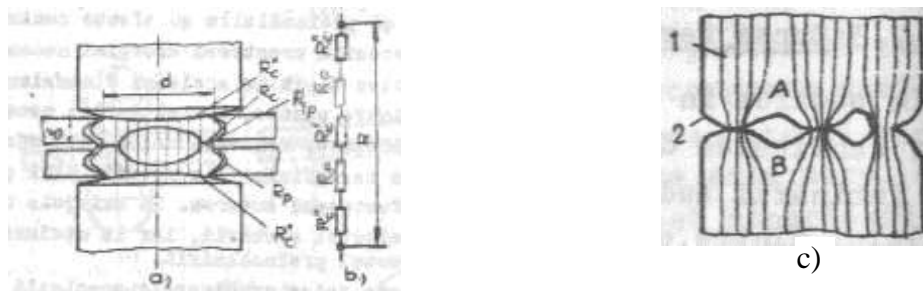


Figura 1.4. Surse termice; a. localizarea rezistențelor; b. circuitul electric echivalent; c. schema contactului electric (1-linii de curent; 2-stratul superficial)

unde:

- R_c' – rezistența de contact dintre componente;
- R_c'' – rezistența de contact dintre componente și electrozii de contact;
- R_p – rezistența volumului de material cuprins între electrozi, de formă cilindrică cu baza egală cu diametrul vârfului electrozilor și înălțimea egală cu grosimea componentelor.

Componentele rezistenței totale se modifică continuu pe durata ciclului de sudare. Analiza acestor rezistențe la rece respectiv la încălzirea materialului se va face în cele ce urmează.

1.3.1. Rezistența de contact dintre componente R_c'

Analiza se face pornind de la figura 1.4.c. Datorită rugozității suprafețelor componentelor contactul la rece al acestora se face prin intermediul microasperităților suprafețelor de contact acoperite cu straturi superficiale de oxizi. Aceasta determină scăderea secțiunii efective de contact dintre suprafețele componentelor, reducerea conductibilității electrice, respectiv aglomerarea liniilor de curent în punctele de contact. Valoarea rezistenței de contact R_c' depinde de următorii factori: natura materialului componentelor (duritate, rezistență mecanică), starea suprafețelor, forța de apăsare și modul ei de aplicare (static sau dinamic), temperatura la locul de contact.

Valoarea rezistenței de contact dintre componente R_c' la rece, se poate stabili cu relația (asemănătoare cu relația de calcul de la sudarea prin presiune cap la cap):

$$R_c = r_c \cdot F^{-k} \quad (1.3)$$

Prezența oxizilor, ruginii și a altor impurități pe suprafața componentelor determină creșterea rezistenței de contact în funcție de tipul oxizilor, grosimea acestora, etc.. Rezistența de contact R_c' crește o dată cu scăderea rugozității dacă celelalte condiții rămân constante. Aceasta deoarece în cazul rugozităților mari pelicula de oxizi se rupe și se dislocă mai ușor datorită presiunilor mai mari exercitate asupra fiecărui punct de contact (microasperitate). Influența stării suprafețelor asupra rezistenței de contact R_c' se poate observa din următoarele exemple stabilite în anumite condiții date de lucru:

- pentru suprafețe polizate și lustruite: $100\mu\Omega$;
- pentru suprafețe prelucrate prin așchiere (strunjire): $120\mu\Omega$;
- pentru suprafețe ruginite: $80000\mu\Omega$;

Creșterea forței de apăsare conduce la creșterea suprafeței de contact prin deformațiile plastice ale microasperităților și tocirea acestora, straturile superficiale de oxizi se rup, ceea ce determină scăderea rezistenței de contact.

La încălzirea componentelor deformarea plastică a microasperităților și ruperea straturilor superficiale de oxizi are loc mult mai ușor ceea ce determină scăderea rapidă a rezistenței de contact R_c' . Pentru fiecare material există o temperatură critică și o forță de apăsare la care valoarea rezistențelor de contact scade la zero, adică $R_{tot} = R_p$. Cu cât forța de apăsare este mai mare cu atât este mai mică temperatura critică. De exemplu pentru oțel cu puțin carbon temperatura critică este de 600°C , iar pentru aluminiu această temperatură este în jur de 350°C . Scăderea rezistențelor de contact se desfășoară într-un timp foarte scurt, a zecea sau a suta parte din timpul de sudare (de exemplu pentru componente cu grosimea de $0,5 \dots 1 \text{ mm}$ scăderea se produce în $1 \dots 3 \text{ ms}$).

Rezistența de contact R_c' la temperatura ambiantă este **net superioară** ca valoare față de celelalte două componente, așa cum se poate vedea și din figura 1.5. Se observă că rezistența R_c' are valoarea cea mai mare și că rezistența R_p are valoarea cea mai mică.

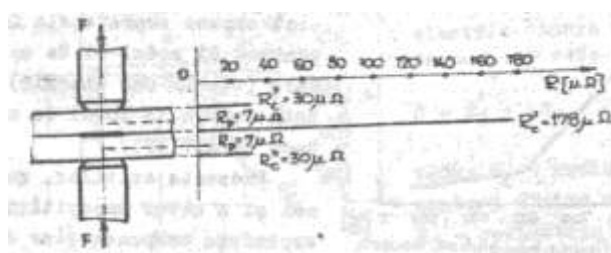


Figura 1.5. Ponderea rezistențelor la table din oțel carbon decapate ($F_{ap} = 500 \text{ daN}$, $s = 1 \text{ mm}$)

Alte măsurători efectuate pentru determinarea ponderii rezistențelor de contact R_c' și R_c'' au condus la următoarele concluzii:

- ✓ valorile pentru rezistențele R_c'' sunt mult mai mici decât cele corespunzătoare rezistenței R_c' ;
- ✓ valorile rezistenței R_c' și R_c'' scad cu creșterea forței de apăsare (prin aplatizarea asperităților și creșterea suprafețelor de contact);
- ✓ valorile rezistenței R_c' și R_c'' sunt mai mici la sudarea cu electrozi sferici decât la cei tronconici;

- ✓ valorile rezistenței R_c' și R_c'' sunt mai mici la sudarea oțelurilor cu puțin carbon, comparativ cu oțelul inoxidabil austenitic (datorită caracteristicilor mecanice mai mari ale celui din urmă aplatizarea microasperităților este mai dificilă).

1.3.2. Rezistența de contact dintre componente și electrozii de contact R_c''

Rezistențele de contact electrozi-componente R_c'' sunt mult mai mici decât rezistența de contact dintre componente R_c' datorită materialului electrozilor (aliaj de cupru) și datorită unei concentrații de presiune bine delimitată. Rezistența de contact R_c'' nu are rol în formarea punctului de sudură. Încălzirile în aceste zone sunt mici și datorită materialului electrozilor (bun conducător de căldură), și datorită răcirii forțate cu apă a acestora. De fapt căldura dezvoltată în zona de contact electrozi-componente poate conduce la diferite defecte în îmbinarea sudată. De aceea înainte de sudare suprafețele componentelor trebuie curățate astfel încât rezistențele de contact electrozi-componente să fie cât mai mici și constante pe durata procesului de sudare.

1.3.3. Rezistența volumului de material dintre electrozii de contact R_p

Rezistența volumului de material dintre electrozii de contact R_p străbătut de curentul de sudare se poate calcula prin mai multe modalități. Dacă se presupune că suprafața reală de contact dintre componente A este egală cu suprafața de contact electrozilor $A_e = \pi d_e^2/4$, adică $d_e = d_c' = d_c''$, rezistența R_p se poate scrie:

$$R_p = n_p \cdot R_e \quad (1.4)$$

unde:

- R_e – rezistența electrică a cilindrului de metal de diametru d_e și înălțime 2δ , calculată cu relația:

$$R_e = \rho \cdot \frac{2\delta}{\frac{\pi \cdot d_e^2}{4}} \quad (1.5)$$

- n_p – coeficient al rezistenței electrice a componentelor, calculat cu relația:

$$n_p = \frac{R_p}{R_e} \quad (1.6)$$

- ρ – rezistivitatea electrică a materialului componentelor la temperatura mediului ambiant;

- δ – grosimea componentelor;

- d_e, d_c', d_c'' – diametrul electrozilor, diametrul de contact dintre componente, diametrul de contact electrozi-componente.

Datorită diametrului relativ mic al electrozilor de contact comparativ cu dimensiunile componentelor, are loc dispersia liniilor de curent în materialul componentelor dincolo de diametrul electrozilor, figura 1.6. De aceea $R_p < R_e$, și deci $n_p < 1$. Dispersia curentului electric și prin urmare valoarea coeficientului n_p depind de raportul d_e/δ .

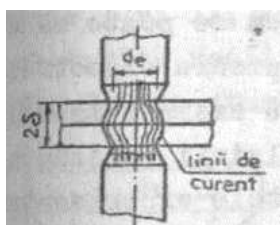


Figura 1.6. Dispersia liniilor de curent

O dată cu creșterea grosimii componentelor (pentru $d_e = \text{constant}$) diferența dintre rezistența R_p respectiv R_e scade, cu alte cuvinte coeficientul n_p tinde spre valoarea 1 și invers.

Valoarea rezistivității depinde de metalul componentelor, tabelul 1.1, de eventualul tratament termomecanic la care a fost supus, de temperatura componentelor.

Tabelul 1.1. Proprietățile termofizice ale unor materiale metalice

Material	ρ ($\mu\Omega$ cm)	λ J/cms $^\circ$ C	a cm 2 /s	c J/gr $^\circ$ C	γ gr/cm 3	T_{top} $^\circ$ C
Cupru	1,75	3,58	1,05	0,38	8,9	1083
Bronz	8,0	1,08	0,33	0,38	8,5	905
Aluminiu	2,8	2,04	0,73	0,88	2,7	658
Aliaje de Al	AlCu4Mg2	7,3	0,50	0,83	2,8	633
	AlMg6	7,1	1,04	0,45	2,78	620
Oțel nealiat	13	0,63	0,15	0,46	7,8	1530
Oțel inoxidabil	75	0,163	0,05	0,46	7,86	1440

Oțelurile aliate și înalt aliate se caracterizează prin valori mari ale rezistivității. Influența temperaturii asupra rezistivității este dată de relația:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha_\rho \cdot T) \quad (1.7)$$

Prin urmare rezistivitatea electrică crește mult cu creșterea temperaturii. Coeficientul α_ρ are valoarea $\alpha_\rho = 0,004^\circ\text{C}^{-1}$ pentru metale pure, respectiv $\alpha_\rho = 0,001 \dots 0,002^\circ\text{C}^{-1}$ pentru aliaje, iar la temperaturi critice ca de exemplu la temperatura de topire valoarea lui α_ρ crește de 1,5 ... 2 ori.

Diametrul suprafeței reale de contact d_k se apreciază cu ajutorul relației:

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot R_m^*}} \quad (1.8)$$

unde:

- R_m^* – rezistența mecanică (la compresiune) a metalului componentelor la temperatura mediului ambiant; pentru oțeluri $R_m^* = 1000\text{MPa}$, iar pentru aluminiu $R_m^* = 250\text{MPa}$.
- F – forța de apăsare.

La temperatura mediului ambiant datorită valorii mari a mărimii R_m^* și datorită rugozității suprafețelor, suprafața reală de contact este relativ mică. În acest caz $A < A_e$ și prin urmare valoarea calculată pentru rezistența R_p cu ajutorul relației date mai sus poate fi mult mai mică decât valoarea adevărată, reală. Pe parcursul încălzirii rezistența componentelor poate diferi semnificativ de valoarea calculată datorită variației rezistivității și a diametrului d_k cu temperatura. O dată cu creșterea temperaturii materialului scade rezistența lui mecanică ($R_m^* = 200\text{MPa}$ la oțel), iar suprafața de

contact crește de 1,5 ... 2 ori. În același timp suprafața reală de contact A tinde spre valoarea lui A_c . La sfârșitul încălzirii se poate aprecia că $d_k=d_c=d_c'=d_c''$.

Variația rezistențelor din circuitul de sudare pe durata unui ciclu, datorită încălzirii locale prin efect Joule-Lenz, este prezentată în figura 1.7.

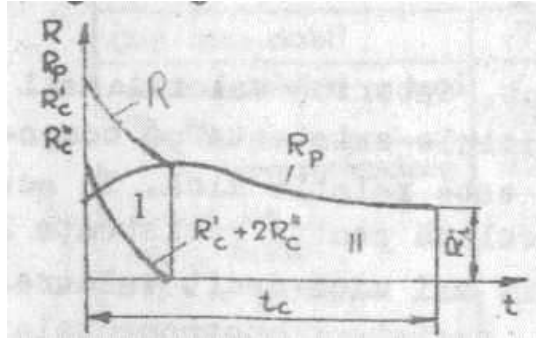


Figura 1.7. Variația rezistenței electrice pe parcursul sudării (R_i - rezistența la cald, t_c - timpul de curent)

Se observă că la începutul sudării rezistențele de contact R_c' , R_c'' scad foarte rapid, tinzând spre zero, iar rezistența componentelor R_p se mărește datorită creșterii rezistivității, etapa I. În etapa a II-a rezistența R_p scade ușor ca urmare a creșterii secțiunii nucleului. Pe durata ciclului de sudare rezistența totală R scade la nivelul inițial a lui R_p .

1.4. Efectul de șuntare a curentului de sudare

În cazul în care se realizează un singur punct sudat între cele două componente curentul de sudare din secundarul sursei va trece integral prin zona de contact a componentelor obținută prin apăsarea locală cu ajutorul electrozilor de contact. Dacă punctul sudat urmează altor puncte executate anterior, o parte din curentul din secundarul sursei de sudare se ramifică atât prin zona de contact de realizare a punctului curent cât și prin punctele sudate anterior. În urma ramificării curentul care trece prin punctul de contact al componentelor va fi mai mic decât în cazul execuției unui singur punct. Acest fenomen poartă denumirea de *efectul de șuntare a curentului*, specific sudării prin presiune prin suprapunere, și are o influență negativă asupra formării punctelor de sudare.

Repartizarea curentului între punctul în curs de sudare și celelalte puncte sudate depinde de impedanța circuitelor respective. În cazul cel mai simplu curentul se ramifică spre un singur punct sudat anterior, figura 1.8.

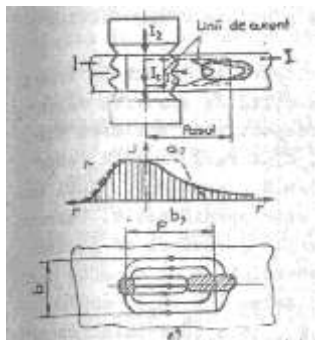


Figura 1.8. Schema șuntării curentului

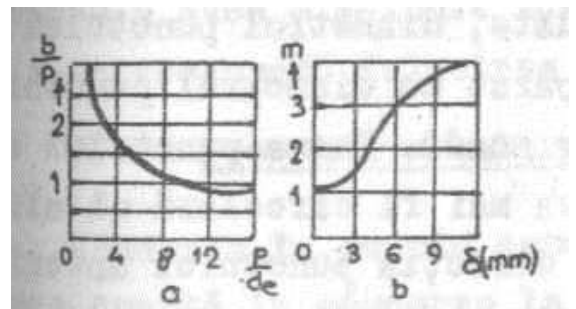


Figura 1.9. Diagrama de calcul a

coeficientului "m" și a lățimii "b"

Curentul I_2 dat de sursa de sudare se va ramifica în curentul de sudare I_s și curentul de șuntare I_{st} , conform relației:

$$I_2 = I_s + I_{st} \quad (1.9)$$

Curentul I_s trece direct de la un electrod la altul prin rezistențele $2R_p$ și R_c' . Curentul I_{st} trece prin componenta superioară, punctul sudat anterior și componenta inferioară. Impedanța circuitului ramificat va fi:

$$Z = \sqrt{(m \cdot R_{st})^2 + X_{st}^2} \quad (1.10)$$

unde:

- R_{st} – rezistența circuitului de șuntare;

- X_{st} – reactanța inductivă a circuitului de șuntare;

- m – coeficient ce ține seama de efectul pelicular al curentului alternativ.

Coeficientul “ m ” se poate determina cu ajutorul graficului din figura 1.9. La materiale magnetice coeficientul “ m ” crește proporțional cu grosimea componentelor. La componente din oțel cu grosimea sub 2 mm, precum și la materiale amagnetice se poate considera că “ m ” \approx 1.

Pentru calculul rezistenței R_{st} este necesară cunoașterea lățimii “ b ” a zonei de trecere a curentului de șuntare. Aceasta depinde atât de pasul dintre puncte “ p ” cât și de diametrul de trecere d_e și se determină din diagrama din figura 6.10. Deci:

$$R_{st} = \rho \cdot \frac{2 \cdot p}{b \cdot \delta} \quad (1.11)$$

Pentru calculul reactanței X_{st} se ține cont de geometria spațială a câmpului electric din componente, de frecvența curentului și de permeabilitatea magnetică a materialului. În calcule obișnuite se poate aproxima $X_{st} \approx m \times R_{st}$, și prin urmare:

$$Z_{st} \approx m \times R_{st} \quad (1.12)$$

Este evident că:

$$\frac{I_{st}}{I_s} = \frac{2R_p + R_c'}{Z_{st}} \quad (1.13)$$

de unde rezultă:

$$I_{st} = I_s \frac{2R_p + R_c'}{m \cdot R_{st}} \quad (1.14)$$

Din relațiile 1.12 și 1.15 rezultă că curentul de șuntare I_{st} este cu atât mai mare cu cât pasul “ p ” dintre puncte se micșorează respectiv cu cât grosimea componentelor δ și lățimea “ b ” cresc.

Deci șuntarea micșorează densitatea de curent prin zona de contact. Aceasta este însoțită de scăderea căldurii dezvoltate la locul de sudare respectiv de scăderea dimensiunilor punctului sudat. La rece, când rezistența R_c' este mare, valoarea raportului $(2R_p + R_c')/mR_{st}$ este mare, deci curentul de șuntare este semnificativ. Curentul I_{st} determină încălzirea circuitului de șuntare și a circuitului de sudare ceea ce determină pe de o parte creșterea lui R_{st} , iar pe de altă parte scăderea raportului $(2R_p + R_c')/mR_{st}$ și prin urmare curentul de șuntare scade.

Efectul șuntării este semnificativ când punctele sudate sunt apropiate ceea ce determină ca diametrul punctului sudat să fie mai mic decât al punctului anterior, iar forma punctului nu va mai

fi circulară ci se alungește în direcția punctului anterior. Efectul de șuntare crește la materialele grose cu rezistivitate electrică mică.

Totuși în practică la sudarea componentelor de grosimi egale, în puncte sau în linie, supracurentul necesar pentru compensarea efectului de șuntare nu depășește 15%.

Efectul de șuntare se micșorează dacă: forța de apăsare este mare, se sudează în regim dur, pasul de sudare este mai mare decât valoarea minimă la care șuntarea nu se mai manifestă, ordinea de sudare este corectă.

Efectul de șuntare este foarte important la sudarea în puncte dintr-o singură parte. Pentru a compensa acest aspect se recomandă folosirea unei plăci de cupru pe partea opusă apăsării electrozilor.

1.5. Parametrii tehnologici ai sudării în puncte SPP

Tehnologia de sudare SPP se stabilește în funcție de materialul componentelor (compoziția chimică, structura metalografică, caracteristicile mecanice și electrice, conductibilitatea termică, etc.), grosimea materialului și forma componentelor, starea suprafețelor, etc.. Tehnologia de sudare se poate determina pe cale teoretică, experimentală sau combinată și se poate da tabelar, grafic sau sub formă de nomograme.

Metodologiile de stabilire practică a tehnologiei de sudare pot fi:

- Execuția unor probe pentru diferite valori ale curentului de sudare menținând constante valorile timpului de curent și ale forței de apăsare, după alegerea sau stabilirea prealabilă a parametrilor tehnologici din literatura de specialitate în funcție de condițiile concrete date. Se determină apoi prin încercări de rupere ale probelor valoarea curentului pentru care rezistența punctului sudat este maximă.
- Execuția unor probe pentru diferite valori ale timpului de curent menținând constante curentul de sudare și forța de apăsare, pentru unele valori ale parametrilor tehnologici stabiliți anterior din literatura de specialitate în funcție de condițiile concrete de sudare. Pe baza rezultatelor încercărilor mecanice ale punctelor sudate se stabilește valoarea timpului de curent pentru care se obține o forță de rupere maximă a punctului sudat.

Parametrii tehnologici ai sudării SPP sunt:

- curentul de sudare I_s ;
- timpul de curent t_c ;
- tipul electrozilor de contact;
- dimensiunile vârfului electrozilor;
- forța de apăsare asupra electrozilor F_{ap} ;
- lungimea de suprapunere a componentelor.

1.5.1. Curentul de sudare

Valoarea curentului de sudare corelată cu timpul de curent determină cantitatea de căldură înmagazinată în componente pentru ansamblul de rezistențe dat. Mărind timpul de curent se poate diminua curentul de sudare. Există însă un curent minim sub care sudarea nu mai este posibilă indiferent de timpul de sudare. Curentul minim corespunde unei valori pentru care căldura

degajată la trecerea lui este mai mare decât pierderile de căldură disipată în componente. În caz contrar temperatura componentelor se stabilizează la o temperatură inferioară temperaturii de topire indiferent de valoarea rezistenței de contact dintre componente.

Corelația curent-timp de sudare permite trasarea unor diagrame de sudabilitate, figura 1.10. Diagrama de sudabilitate are trei zone:

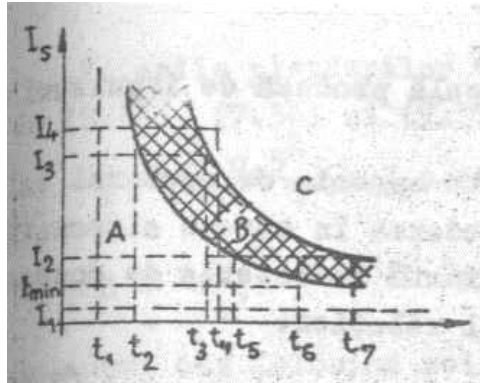


Figura 1.10. Diagrama de sudabilitate la sudarea SPP

- ✓ A – zonă de sudare în stare solidă, în care calitatea punctelor și rezistența acestora este redusă; formarea nucleului topit nu are loc oricât de lung ar fi timpul de curent deoarece căldura generată este disipată pe măsură ce se produce;
- ✓ B – zona optimă de sudare; lățimea zonei optime de sudare depinde de natura materialului componentelor;
- ✓ C – zonă cu proiecții de metal topit, chiar cu deteriorarea componentelor și a electrozilor; căldura dezvoltată este excesivă și apar proiecții de metal topit; dacă curentul și timpul cresc în continuare proiecțiile se amplifică arzându-se materialul componentelor, iar electrozii pot să ajungă în contact între ei deteriorându-se.

Pentru determinarea curentului de sudare se pot folosi diferite relații de calcul:

a. Cu ajutorul densității de curent “j”:

$$I_s = j \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \quad (1.15)$$

unde:

- j – densitatea de curent (A/mm²);
- d_e – diametrul electrodului (mm).

Pentru densitatea de curent se recomandă valorile:

- pentru oțel obișnuit:
 - regim dur: j = 120 ... 400 A/mm²;
 - regim moale: j = 80 ... 160 A/mm².
- pentru aluminiu: j = 1000 ... 1500 A/mm²;

b. Cu ajutorul corelațiilor statistice:

$$\text{- regim dur: } I_s = 5 + 4,2\delta; \quad (1.16)$$

$$\text{- regim moale: } I_s = 0,64 + 2,82\sqrt[3]{\delta}. \quad (1.17)$$

unde: δ - grosimea componentelor (mm), iar curentul rezultă în kA.

c. Cu ajutorul relației $I_s - t_c$:

$$I_s = k \cdot A \cdot \frac{1}{\sqrt{t_c}} \quad (1.18)$$

unde:

-k: -coeficient funcție de material, cu următoarele valori:

- pentru oțel obișnuit: $k = 1250 \text{ A/mm}^2$;
- pentru oțel inoxidabil: $k = 800 \dots 1000 \text{ A/mm}^2$;
- pentru aluminiu: $k = 4000 \dots 4500 \text{ A/mm}^2$;
- pentru aliaje de aluminiu: $k = 3000 \dots 4000 \text{ A/mm}^2$.

-A – secțiunea punctului sudat, mm^2 ;

- t_c – timpul de curent, exprimat în perioade (1 perioadă este egală cu 0,02 s).

Valoarea curentului de sudare depinde de tensiunea din secundarul transformatorului, de impedanța spirelor din secundarul transformatorului de sudare și de impedanța întregului circuit secundar exterior. Se poate aprecia că:

$$I_s = \frac{U_2}{\sqrt{R_e^2 + (\omega L_e)^2}} \quad (1.19)$$

unde:

- U_2 – tensiunea secundară a transformatorului de sudare;

- R_e – rezistența ohmică a circuitului secundar exterior;

- ωL_e – reactanța inductivă a circuitului secundar exterior;

- ω – pulsația tensiunii de la rețeaua de alimentare: $\omega = 2\pi f$;

-f – frecvența tensiunii de alimentare (obișnuit $f = 50 \text{ Hz}$).

Se observă deci că valoarea curentului depinde de caracteristicile proprii ale transformatorului de sudare (de obicei constante) și de caracteristicile circuitului exterior.

Rezistența porțiunilor din circuitul secundar exterior depinde de lungimea și secțiunea acestora, de materialul din care sunt executate și de frecvența tensiunii de alimentare (prin efectul pelicular).

Reactanța inductivă a circuitului secundar exterior, care formează o spirală, depinde de lungimea brațului superior și a celui inferior, de distanța dintre acestea și de masa magnetică introdusă între brațele mașinii prin însăși materialul componentelor care se sudează.

S-a constatat că odată cu creșterea suprafeței cuprinse între brațele instalației valoarea inițială a curentului de sudare, reglată la transformator, scade la electrozii de contact, figura 1.11. Rezultă că este necesar să se lucreze cu o suprafață minimă între brațele mașinii de sudat prin reglarea corespunzătoare a acestora și a electrozilor, după necesități, funcție de dimensiunile și configurația (forma) componentelor.

Variația curentului de sudare în funcție de mărimea secțiunii masei magnetice introduse între brațele instalației respectiv porțiunea din componente introdusă între brațe pentru obținerea punctului sudat în zona dorită, este ilustrată în figura 1.12. Se observă și în acest caz scăderea curentului de sudare o dată cu creșterea secțiunii de material introduse între brațele mașinii.

În practică sunt multe situații în care punctele sudate nu sunt dispuse la marginea componentelor ci mai în interiorul acestora. Pentru a ajunge cu electrozii în poziția dorită este

necesar ca o parte din componente să fie introduse între brațele mașinii de sudare. În acest caz pentru a se echilibra pierderile care apar este obligatoriu să se mărească corespunzător valoarea curentului de sudare. Prin urmare în practică pentru evitarea fenomenelor de mai sus se va evita pe cât posibil ca materialul componentelor să se afle între brațele mașinii.

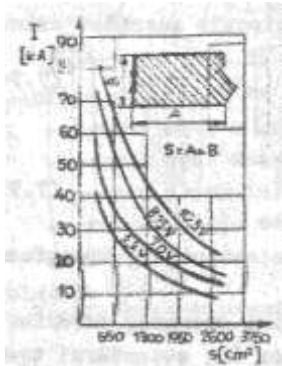


Figura 1.11. Influența suprafeței dintre brațele mașinii asupra curentului

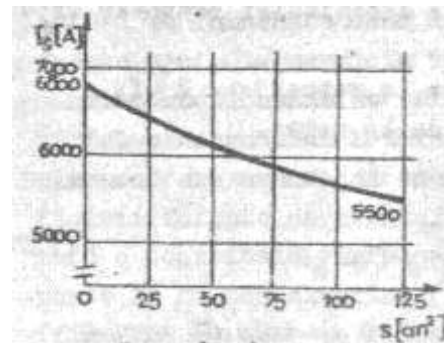


Figura 1.12. Influența secțiunii masei magnetice dintre brațele mașinii asupra curentului

Curentul de sudare influențează calitatea îmbinării sudate, aceasta fiind apreciată prin rezistența la rupere la forfecare a punctului sudat. Influența curentului se manifestă și asupra diametrului nucleului topit respectiv asupra adâncimii amprentei electrodului pe suprafața tablei. La început rezistența la forfecare a punctului sudat crește cu creșterea curentului atingând un maxim după care scade puțin, iar diametrul nucleului crește până la atingerea maximumului forței de forfecare după care rămâne practic constant. Valoarea optimă a curentului de sudare este definită de valoarea corespunzătoare maximumului forței de forfecare a punctului. Adâncimea amprentei crește rapid la depășirea valorii optime a curentului.

Trebuie precizat că în timpul sudării curentul poate avea variații aleatoare datorită următoarelor cauze: variația tensiunii rețelei, modificarea rezistenței și reactanței circuitului secundar exterior datorită încălzirii acestuia sau introducerii de material magnetic între brațele mașinii, variației rezistenței electrice a zonei cuprinse între electrozii de contact, ramificarea curentului prin efectul de șuntare.

1.5.2. Timpul de curent

Timpul de curent este în strânsă corelație cu curentul de sudare. În funcție de această corelație la sudarea SPP putem avea două tipuri de regimuri de sudare: regim dur respectiv regim moale.

- a. Regimul dur s-a generalizat datorită avantajelor pe care le are: productivitate mare (timp de sudare scurt de ordinul perioadelor), randament termic ridicat (pierderi mici de căldură), reproductibilitate ridicată a punctelor sudate (densitate de curent constantă). Densitatea de curent nu se modifică deoarece vârful electrozilor nu se uzează datorită încălzirii reduse a acestora.

Regimul dur se impune ca o necesitate în următoarele situații: sudarea materialelor cu conductibilitate termică ridicată, sudarea materialelor cu temperaturi de topire mult diferite, sudarea componentelor care impune localizarea precisă și redusă a căldurii introduse în componente.

b. Regimul moale determină următoarele aspecte:

- se încălzește un volum mai mare de material ceea ce conduce la amprente excesive pe suprafața componentelor respectiv la gradienti de temperatură mici și deci viteze de răcire mici;
- rezistența mecanică a punctelor sudate este inferioară celor sudate în regim dur;
- rezistența de contact dintre componente R_c are un rol mai puțin important la stabilirea câmpului termic datorită timpului de curent lung; prin urmare starea suprafețelor în contact influențează mai puțin calitatea punctului sudat, deci pregătirea componentelor este mai puțin pretențioasă;
- puterea absorbită de la rețea este mai mică decât la regim dur, însă energia necesară sudării crește datorită disipării mai mari de căldură în componente.

Folosirea regimului moale este indispensabilă: la sudarea oțelurilor nealiate cu conținut de carbon $> 0,3\%$, la sudarea unor oțeluri slab aliate sau aliate la care apare pericolul de călire, în cazul aliajelor cu pericol mare de fisurare, pentru componente cu rigiditate mare pentru ușurarea deformației plastice necesare realizării contactului dintre componente.

Din compararea dimensiunilor punctelor obținute cu cele două regimuri de sudare rezultă:

- ✓ diametrul punctului sudat în regim dur este mai mare decât a celui în regim moale, ceea ce explică rezistența mai mare a acestor puncte;
- ✓ pătrunderea punctului sudat în componente este mai mare la sudarea în regim moale decât în regim dur; prin urmare structura dendritică este mai consistentă ceea ce reduce rezistența mecanică a punctului respectiv plasticitatea acestuia; prin comparație pătrunderea punctului la regim dur este de aprox. 30% din grosime respectiv la regim moale atinge 50% din grosimea componentelor.

Timpul de curent influențează formarea nucleului topit și prin aceasta rezistența la forfecare a punctului sudat. La început rezistența la forfecare crește rapid cu creșterea lui t_c , după care atinge un maxim (valoarea optimă a timpului de curent), iar apoi scade ușor.

1.5.3. *Tipul electrozilor de contact*

Electrozii de contact constituie partea activă a unei mașini de sudare prin presiune în puncte. Calitatea și tipul constructiv al acestora influențează în mare măsură calitatea punctului sudat. Rolul electrozilor este de a transmite curentul electric și forța de apăsare necesară realizării punctului sudat, dar și pentru a îndepărta o parte din căldura dezvoltată la locul de sudare. Corespunzător acestor funcții electrozii trebuie confecționați din anumite materiale și care să aibă anumite forme și dimensiuni.

Electrozii de contact se pot clasifica după mai multe criterii:

➤ a. După modul de execuție:

- electrozi masivi, dintr-o singură piesă;

- electrozi asamblați, cu cap amovibil.

Electrodul masiv are o construcție simplă, figura 1.13.a, fiind format din: suprafața activă a electrodului (1), corpul electrodului (2), coada de fixare în brațul portelectrod al mașinii (3).

Figura 1.13. Tipuri de electrozi de contact

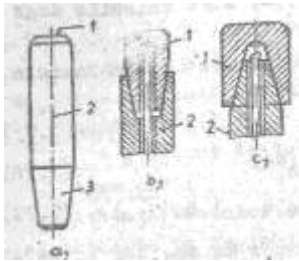
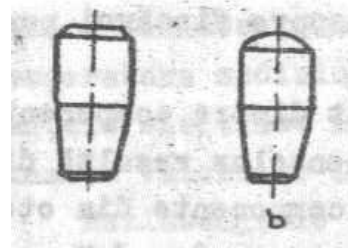


Figura 1.14. Forma suprafeței active



Dezavantajul principal al acestor electrozi constă în lipsa unei răcirii eficiente. Din acest motiv se confecționează din cupru electrolitic sau din aliaje de cupru, cu conductibilitate electrică și termică ridicată. Dacă în timpul sudării se încălzesc peste temperatura de recristalizare (de circa 200 °C pentru cupru și de circa 550 °C pentru aliaje), duritatea electrozilor scade rapid și sub influența presiunii vârful electrodului se deformează (se tocește), devenind inutilizabil. Din acest motiv acest tip de electrod se folosește doar la sudarea componentelor de grosimi foarte mici, funcționând în regim intermitent.

Electrodul asamblat, figura 1.13.b.c, se compune din vârful electrodului (1) fixat prin presare în corpul (2) prin intermediul unui ajustaj conic. Acest tip de electrod are avantajul unei durabilități mai ridicate datorită răcirii forțate respectiv avantajul uzurii doar a vârfului electrodului, interschimbabil.

➤ b. După formă, figura 8.3:

- electrozi drepecți, 1.15.a, b, c;
- electrozi îndoiți (curbați), 1.15.f;
- electrozi cotiți, 1.15.g, f.

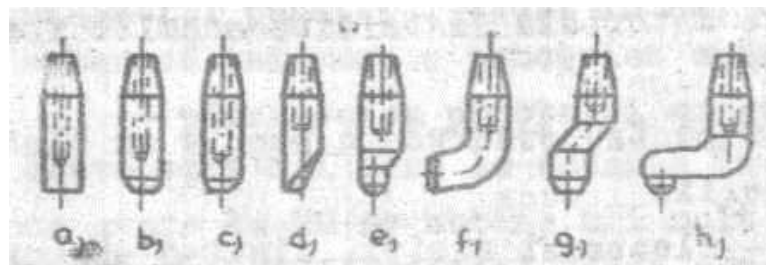


Figura 1.15. Forme constructive de electrozi de contact

Alegerea formei de electrod se face în funcție de geometria și configurația construcției sudate. Electrozii drepecți sunt cel mai des utilizați. Electrozii îndoiți sau cotiți se utilizează doar la sudarea în locuri greu accesibile.

➤ c. După forma suprafeței laterale a vârfului:

- electrozi cu cap cilindric, figura 1.15.a;
- electrozi cu cap conic, figura 1.15.b;

- electrozi cu cap bombat, figura 1.15.c;
- electrozi cu cap unghiular, figura 1.15.d.

➤ d. După forma suprafeței active a vârfului, figura 1.14:

- electrozi cu suprafață plană, 1.14.a;
- electrozi cu suprafață sferică, 1.14.b.

Suprafața activă plană se folosește obișnuit la sudarea oțelurilor cu puțin carbon. Suprafața sferică se recomandă la sudarea aliajelor ușoare sau a componentelor din oțel cu grosime mare.

De regulă electrozii de contact se răcesc forțat cu apă. Pentru aceasta sunt prevăzuți cu o gaură centrală prin care se introduce o țevă teșită la capăt (la o distanță de 1 .. 2 mm de fundul găurii), care dirijează apa de răcire cât mai aproape posibil de vârful electrodului, figura 8.4. Pentru o răcire eficientă se respectă condiția:

Unghiul α trebuie să fie $\leq 30^\circ$. La valori mai mari uzura și deformația vârfului electrozilor vor fi mai rapide. Diametrul “D” al electrodului depinde de valoarea curentului de sudare, de timpul de sudare, de cadența sudării (nr. de puncte/min), fiind direct proporționale cu acestea.

Materialul utilizat la confecționarea electrozilor trebuie să îndeplinească următoarele proprietăți:

- conductibilitate termică și electrică ridicată pentru ca electrodul să se încălzească cât mai puțin; în cazul utilizării aliajelor, conductivitatea relativă raportată la cupru trebuie să fie minim 0,7;
- duritate mare la temperaturi ridicate (circa 750°C); duritatea recomandată este 100 ... 160 HB;
- temperatură mare de recristalizare (minim 200 ... 250°C);
- tendința redusă de aliere cu materialul componentelor;

Pentru confecționarea electrozilor de contact se folosește cuprul dur sau aliaje de cupru cu crom, cadmiu, zirconiu, cobalt, beriliu. Prin aliere duritatea crește, însă conductivitatea electrică scade.

1.5.4. Dimensiunile vârfului electrozilor

Secțiunea și forma vârfului electrozilor influențează rezistența punctului sudat deoarece determină densitatea de curent din componente, presiunea exercitată asupra componentelor și condițiile de răcire a acestora.

S-a constatat experimental că mărimea punctului sudat depinde de grosimea componentelor. La componente de grosime redusă, indiferent de diametrul vârfului electrodului și curentul de sudare, diametrul punctului este limitat de valoarea dată de relația:

$$d_p \leq 1,3 \cdot d_e \quad (1.20)$$

La componente groase pentru a îndeplini relația (8.3) trebuie satisfăcută condiția:

$$S_e = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \geq (16...17) \Sigma \delta \quad (1.21)$$

unde:

- d_p –diametrul punctului sudat;
- d_e – diametrul vârfului electrodului;

- S_e – secțiunea vârfului electrodului;
- δ - grosimea componentelor.

Această condiție rezultă din tendința de disipare a liniilor de curent în zona de contact a componentelor în cazul componentelor groase ceea ce determină o densitate de curent mai mare în zona electrozilor de contact și nu la contactul componentelor, cu pericolul apariției a două nuclee topite distincte fără formarea punctului sudat.

Din condiția 1.21 rezultă diametrul minim al vârfului electrodului în funcție de grosimea componentelor:

$$d_{e\min} = 4,5 \cdot \sqrt{\delta} \quad (1.22)$$

Pentru determinarea diametrului electrodului la vârf se mai pot folosi și următoarele relații:

- pentru grosimi sub 3 mm și presiuni sub 120MPa;

$$d_e = 2\delta + 3 \quad (1.23)$$

- pentru grosimi peste 3 mm și presiuni sub 120MPa:

$$d_e = 5 \cdot \sqrt{\delta} \quad (1.24)$$

- corelații statistice:

- pentru regim dur: $d_{e\max} = 4,5 + 1,8\delta$ (1.25)

- pentru regim moale: $d_{e\min} = 5,8 + 0,7\delta$ (1.26)

Recomandări privind stabilirea diametrului vârfului electrodului în funcție de grosimea componentelor sunt date în tabelul 8.1.

Tabelul 1.2. Dimensiunea vârfului electrozilor de contact

δ (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8
d_e (mm) pentru electrozi tronconici	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	18,5
Raza de sfericitate a vârfului electrodului sferic (mm)	50	75	75	100	100	150	200	200

În timpul operației de sudare electrozii de contact se încălzesc și se deformează (se tocesc) sub acțiunea forței de apăsare mărindu-și astfel diametrul (suprafața de contact cu componentele). Prin creșterea suprafeței de contact densitatea de curent din componente respectiv rezistența componentelor $2R_p$ scad ceea ce duce în final la diminuarea diametrului punctului sudat și implicit a rezistenței mecanice a acestuia.

În cursul sudării poate să apară și oxidarea suprafețelor active ale electrozilor ceea ce provoacă creșterea rezistenței de contact dintre electrozi și componente R_c și deteriorarea din această cauză a vârfurilor electrozilor sau a suprafețelor componentelor.

Prin urmare când se constată că diametrul vârfului electrozilor crește mai mult de 15 ... 20% este necesară ajustarea (prelucrarea) acestora prin pilire sau strunjire.

În condiții normale de exploatare cu un electrod aliat se pot realiza 4000 ... 6000 de puncte sudate între două retușări. Îndepărtarea oxizilor de pe suprafața electrozilor se face cu hârtie abrazivă. La sudarea oțelurilor cu puțin carbon operația se face după 300 ... 500 de puncte sudate, iar la sudarea aliajelor de aluminiu după 30 ... 50 de puncte sudate.

În practica sudării SPP se utilizează în aceeași măsură atât electrozi plani cu vârf tronconic cât și electrozi sferici. Electrozii sferici au următoarele avantaje: contact mai bun, reglare mai

ușoară (alinierea electrozilor este mai puțin importantă), amprentă mai redusă (deci aspect mai bun al suprafeței componentelor), răcire mai bună a vârfului electrozilor, un domeniu mai larg de grosimi posibil de sudat cu un electrod dat.

1.5.5. Forța de apăsare

Forța de apăsare are un rol important în toate cele trei faze ale procesului de sudare: realizarea contactului componentelor, sudarea propriu-zisă și răcirea punctului sudat. Rolul forței în timpul ultimelor două faze s-a prezentat în C. 7, cap. 2.4. În faza de realizare a contactului componentelor forța de apăsare este limitată atât inferior cât și superior.

Limitarea inferioară este impusă de rezistența de contact dintre electrozi și componente R_c și de necesitatea învingerii rigidității componentelor. Forța de apăsare trebuie să fie mai mare decât limita inferioară pentru ca rezistența R_c să fie cât mai mică posibil. Se evită astfel deformarea și uzura electrozilor respectiv deteriorarea suprafețelor componentelor.

Din punctul de vedere al rezistenței de contact dintre componente R_c , forța de apăsare poate să fie oricât de mică pentru că astfel favorizează creșterea acestei rezistențe. La limită însă apare pericolul expulzării de material prin stropiri.

Limita superioară este impusă de necesitatea asigurării unei rezistențe de contact între componente R_c suficiente și de necesitatea asigurării unei localizări corecte a trecerii curentului prin componente.

Valoarea forței de apăsare se stabilește în funcție de natura materialului componentelor (caracteristicile mecanice), de valorile rezistenței de contact, de grosimea componentelor, de starea suprafețelor, de densitatea de curent, de diametrul vârfului electrodului.

Pentru calculul forței de apăsare se poate folosi relația:

$$F_{ap} = p \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \quad (1.27)$$

unde: p – presiunea de apăsare (MPa).

Presiunea de contact trebuie să fie cu atât mai mare cu cât densitatea de curent este mai mare pentru a se evita expulzările de material din nucleul topit. Valorile recomandate pentru presiune sunt:

- ✓ pentru oțel cu puțin carbon: $p = 70 \dots 120$ MPa;
- ✓ pentru oțel inoxidabil de tip 18/8 (austenitic): $p = 130 \dots 150$ MPa;
- ✓ pentru aluminiu și aliajele sale: $p = 80 \dots 250$ MPa.

Obs. Valori mari se iau o dată cu creșterea grosimii componentelor. Deoarece temperatura în zona de contact a electrodului cu componenta scade mai repede, stratul mai gros de metal solid ce înconjoară nucleul topit în curs de solidificare îngreunează deformația plastică pentru realizarea acesteia fiind necesară o presiune mai mare.

Pentru calculul forței de apăsare se pot utiliza și relații statistice:

$$\text{- pentru regim dur: } F = (9 + 6,4\delta)^2 \quad (1.28)$$

$$\text{- pentru regim moale: } F = 5,5 + 44,5 \sqrt{\delta} \quad (1.29)$$

unde: δ se introduce în (mm), iar F rezultă în (daN);

Creșterea forței de apăsare determină o micșorare a diametrului nucleului topit deoarece scăderea rezistenței de contact R_c' conduce la o reducere a cantității de căldură degajate la sudare. Acest lucru conduce la concluzia că și rezistența la forfecare a punctului sudat scade o dată cu creșterea forței de apăsare.

La sudarea în regim dur extinderea zonei încălzite este mai mică, prin urmare deformația necesară sudării se realizează mai greu motiv pentru care forța de apăsare se ia de 1,5 ... 2 ori mai mare decât la sudarea cu regim moale.

Dacă ciclul de sudare este cu forță de apăsare variabilă se recomandă ca în faza de forjare aceasta să fie de circa 2 ... 3 ori mai mare decât în faza de formare a nucleului topit.

1.5.6. Lungimea de suprapunere a componentelor

Suprafețele componentelor trebuie să fie suprapuse pe o lungime mai mare decât o anumită valoare minimă care depinde de grosimea acestora. În caz contrar apar împrôșcări de metal topit și o supraîncălzire a materialului în zona punctului sudat. Recomandări pentru lungimea de suprapunere minimă sunt prezentate în literatura de specialitate. Pentru calcul pot fi folosite și corelații statistice:

$$\text{- pentru regim dur: } L_{s \min} = 0,5 + 12,1 \sqrt{\delta} \quad [\text{mm}] \quad (1.30)$$

$$\text{- pentru regim moale: } L_{s \min} = 1 + 14,4 \sqrt{\delta} \quad [\text{mm}] \quad (1.31)$$

Lungimea de suprapunere nu se limitează tehnologic superior decât din motive de economie de material.

1.5.7. Relația dintre diametrul punctului sudat și parametrii regimului tehnologic de sudare

Diametrul punctului sudat este în funcție de diametrul vârfului electrozilor d_e și de grosimea componentelor δ . Diametrul punctului sudat este legat de diametrul electrodului prin relația:

$$d_p = (0,9 \dots 1,3)d_e \quad (1.32)$$

Raportul d_p/d_e poate fi cu atât mai mare cu cât tablele sunt mai groase și regimul de sudare mai moale.

Modul de creștere a punctului depinde de grosimea componentelor. Astfel la table subțiri ($\delta \leq 3$ mm) diametrul maxim al punctului crește foarte rapid o dată cu creșterea timpului de curent după care se stabilizează, creșterea fiind nesemnificativă chiar pentru valori mari ale timpului de curent, iar la table groase ($\delta > 3$ mm) diametrul maxim al punctului are o creștere mai lentă după care se stabilizează indiferent de valoare timpului de curent. Timpul de curent se alege astfel încât să ia valori superioare cotului curbei peste care diametrul punctului se stabilizează, figura 1.16. Se diminuează astfel fluctuațiile în diametrul punctului respectiv rezistența acestuia.

Capacitatea unei mașini de sudare SPP se apreciază nu numai prin valoarea curentului maxim pe care îl debitează ci și prin forța de apăsare maximă pe care o poate exercita.

Diametrul punctului sudat este influențat și de forța de apăsare. Dacă I_s , t_c și d_e sunt constanți diametrul punctului sudat scade cu creșterea forței, figura 1.17.

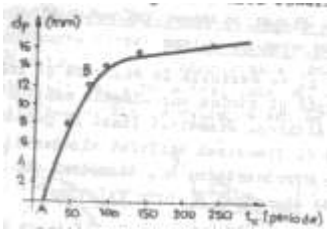


Figura 1.16. Variația diametrului funcție de timpul de curent pentru table groase

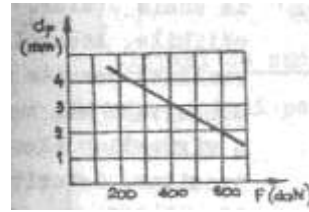


Figura 1.17. Influența forței de apăsare asupra diametrului punctului sudat

Este evident că un punct corect cu un diametru dat se poate obține cu mai multe regimuri de sudare. Ori de câte ori este posibil însă se va opta pentru regimul dur datorită avantajelor pe care acesta le conferă la sudare.

1.6. Cicluri de sudare SPP

Ciclurile de sudare sunt definite de modul de variație a curentului de sudare și a forței de apăsare în timpul sudării.

La toate ciclurile curentul de sudare se conectează după ce forța de apăsare a atins o anumită valoare prescrisă. În caz contrar dacă electrozii de contact se află sub tensiune în momentul în care ating suprafața componentelor sau dacă forța nu are încă o valoare suficientă, datorită rezistențelor de contact mari, pot să apară supraîncălziri locale care deteriorează suprafețele componentelor sau ale electrozilor. Supraîncălzirile locale pot să apară și dacă forța de apăsare se întrerupe înainte de deconectarea curentului. Fenomenul este însoțit în general de expulzări de material topit sub formă de stropi.

1.6.1. Cicluri de sudare cu forță de apăsare constantă

Ciclurile de sudare cu forță de apăsare constantă sunt prezentate în figura 1.18.

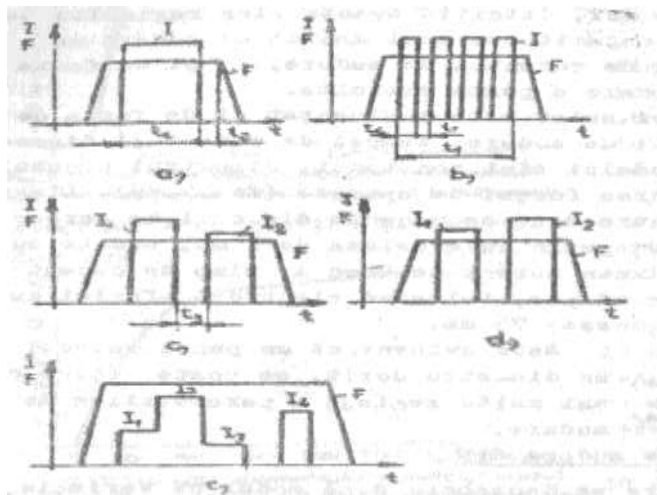


Figura 1.18. Cicluri de sudare cu forță de apăsare constantă

- a) Sudarea cu un singur impuls de curent, figura 1.18.a. Reprezintă cea mai simplă variantă. Se aplică la sudarea oțelurilor cu puțin carbon și cu grosimi de până la 4 ... 6 mm. Timpul t_2 este important deoarece componentele se răcesc sub acțiunea forței de apăsare. Valoarea lui t_2 este între 5 ... 50 perioade în funcție de grosimea componentelor fiind direct proporțională cu aceasta (de exemplu, 5 per. pentru grosimea de 1 mm, respectiv 50 per. pentru grosimea de 5 mm).
- b) Sudarea cu impulsuri de curent, figura 1.18.b. Se folosește la sudarea oțelurilor cu puțin carbon cu grosimea componentelor de peste 5 mm sau când suprafața componentelor nu este suficient de netedă și contactul dintre acestea este dificil de realizat, precum și la unele oțeluri călibile. Această variantă permite o conservare mai bună a vârfului electrozilor datorită timpului de pauză “ t_r ” în care electrozii și componentele răcesc zona de contact electrozi-componente. În unele aplicații amplitudinea impulsului poate să varieze în funcție de necesitățile tehnologice.
- c) Sudarea cu tratament termic, figura 1.18.c. Se folosește la sudarea oțelurilor călibile cu grosimea sub 4 ... 6 mm pentru a se evita tendința de durificare și fragilizare a îmbinării sudate. Impulsul I_1 (curentul de sudare) realizează punctul sudat, iar impulsul I_2 efectuează tratamentul termic în scopul micșorării vitezei de răcire. Amplitudinea, durata și decalarea sa în timp “ t_3 ” se aleg în funcție de grosimea și caracteristicile materialului (compoziție chimică, structură, etc.).
- d) Sudarea cu preîncălzire, figura 1.18.d. Se folosește când configurația geometrică a componentelor sau rigiditatea acestora nu permit obținerea unui contact electric bun între ele. Impulsul de curent I_1 , cu valoare inferioară impulsului I_2 (curentul de sudare), realizează o preîncălzire a materialului ceea ce permite o deformare locală mai ușoară a componentelor și determină totodată obținerea unui nucleu topit de dimensiuni mai mari. Acest ciclu este utilizabil și la sudarea unor oțeluri călibile deoarece preîncălzirea conduce la reducerea gradientului de temperatură deci și a vitezei de răcire.
- e) Sudarea cu impuls variabil și tratament termic, figura 1.18.e. Se utilizează la sudarea componentelor groase din oțel greu sudabil cu mult carbon sau din oțel înalt aliat. În prima etapă I_1 realizează o preîncălzire, I_2 (curentul de sudare) formează nucleul topit, I_3 reduce viteza de răcire a nucleului topit, iar în etapa a doua curentul I_4 efectuează tratamentul termic al punctului sudat.

1.6.2. Cicluri de sudare cu forță de apăsare variabilă

Aceste cicluri permit mărirea efectului presiunii asupra nucleului topit. Prin creșterea forței nucleul topit se forjează ceea ce îmbunătățește calitatea metalurgică a punctului sudat și îi crește rezistența mecanică. În figura 1.19 sunt prezentate aceste cicluri de sudare.

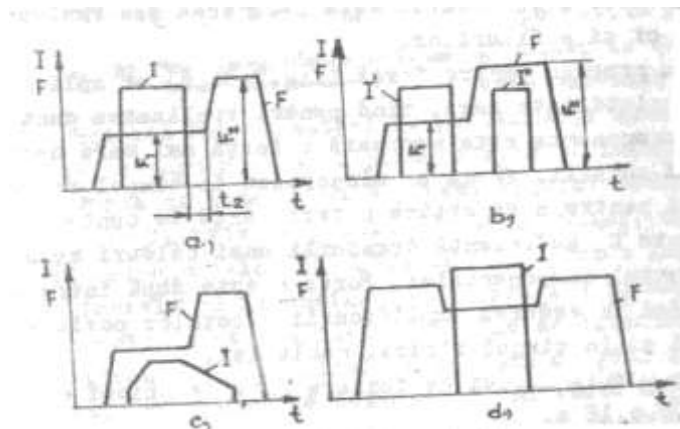


Figura 1.19. Cicluri de sudare cu forță de apăsare variabilă

- Sudarea cu un singur impuls constant de curent, figura 1.19.a. Se utilizează la sudarea oțelurilor cu puțin carbon cu grosimea de peste 6 mm sau la îmbinări nepretențioase din aliaje ușoare cu grosimea de 1 ... 1,5 mm. Stabilirea corectă a timpului “ t_2 ” este importantă deoarece dacă este prea scurt creșterea forței poate provoca expulzarea metalului topit din nucleu, iar dacă este prea lung nucleul se solidifică și creșterea forței devine inutilă pentru că rezistența lui la deformare plastică a crescut.
- Sudarea cu răcire dirijată a nucleului topit, figura 1.19.b. Se folosește pentru sudarea componentelor din oțeluri călibile cu grosimea peste 4 .. 6 mm. La aceste componente nu este suficient impulsul I_2 (vezi figura 8.7.c) ci datorită grosimii lor forța trebuie majorată în vederea evitării defectelor de tipul porilor, retasurilor, fisurilor. Impulsul I' se aplică înainte ca temperatura nucleului să fi scăzut sub temperatura de topire. Amplitudinea și durata impulsului I' se aleg astfel încât să nu rezulte o creștere a temperaturii ci doar o micșorare a vitezei de răcire a nucleului topit.
- Sudarea cu impuls variabil de curent, figura 1.19.c. Se folosește la sudarea aliajelor neferoase, oțeluri aliate sau table placate. În acest mod se sudează piese importante din aliaje de aluminiu cu grosimea de max. 2 mm. Curentul crește la acest ciclu după un program stabilit. Avantajul creșterii continue a curentului constă în evitarea formării de puncte de sudură între electrozii de contact și suprafața componentelor. Avantajul micșorării continue a curentului este reducerea sau evitarea formării porilor sau fisurilor.
- Sudarea cu program pentru forța de apăsare, figura 1.19.d. Se aplică la componente cu rigiditate mare, când pentru realizarea contactului dintre componente este necesară o forță mai mare decât forța necesară sudării. Forța se micșorează în timpul conectării curentului pentru a se obține o rezistență de contact între componente R_c suficient de ridicată pentru degajarea cantității de căldură necesare topirii nucleului. Forța crește după întreruperea curentului în

vederea amplificării efectelor pozitive ale forței de forjare. Durata menținerii forței de forjare este de obicei cuprinsă între 0,02 ... 0,18 s.

Observație. În funcție de necesitățile tehnologice și de posibilitățile echipamentului de sudare se pot imagina și alte cicluri de sudare în puncte.

1.7. Defectele îmbinărilor sudate prin presiune prin suprapunere.

Cauze și remedii.

Cauzele principale ale defectelor la sudarea în puncte, relief și linie sunt determinate de alegerea necorespunzătoare a parametrilor de sudare. Defectele scad rezistența și siguranța în exploatare a îmbinării sudate.

Defectele îmbinărilor sudate prin suprapunere se pot încadra în mai multe grupe:

- abaterea dimensiunilor punctului sudat față de dimensiunile prescrise sau chiar inexistența unui punct topit comun (lipsă de legătură);
- expulzarea de metal lichid la contactul electrod-componente sau la contactul dintre componente;
- discontinuitatea punctului sudat sau a zonei de îmbinare a acestuia (fisuri, retasuri, porozități);
- alierea materialului componentelor cu materialul electrozilor;
- amprente lăsate de electrozi pe suprafața componentelor;
- schimbarea structurii punctului sudat și a zonei influențate termomecanic.

1.7.1. Defectele de legătură. Se pot întâlni în mai multe forme, figura 1.20.

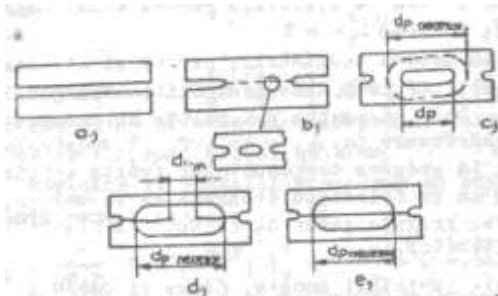


Figura 1.20. Defectele dimensionale ale îmbinărilor sudate prin suprapunere

Cea mai dezavantajoasă este sudarea componentelor în stare solidă, figura 1.20.b, când punctul sudat lipsește, iar suprafața îmbinării este discontinuă. Microlegăturile metalice se formează în zona microasperităților unde condițiile de deformare plastică sunt avantajoase. Acest tip de îmbinare are un aspect discontinuu. Analizând vizual îmbinarea, din punctul de vedere al amprentei electrozilor, deseori nu poate fi deosebită de un punct sudat corespunzător. Rezistența acestei îmbinări la tracțiune este bună, dar caracteristicile la încercări de desprindere, la solicitări variabile respectiv la variații de temperatură sunt reduse.

Un alt tip de defect este abaterea dimensiunilor punctului sudat de la dimensiunile prescrise, figura 1.20.c.

Un caz particular de defect îl constituie dimensiunea mică a punctului sudat sau lipsa completă a unui punct comun. Acest ultim caz este întâlnit la sudarea unor componente acoperite cu straturi greu fuzibile, cum ar fi stratul de oxizi ai metalelor termorefractare sau stratul

superficial de oxid de aluminiu, figura 1.20.d, e. Scăderea dimensiunilor punctului sudat determină scăderea ariei secțiunii și a rezistenței mecanice a punctului.

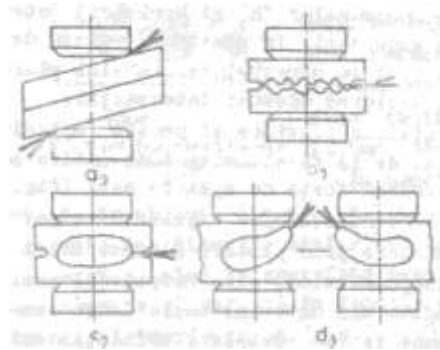
Cauzele principale ale apariției defectelor sunt utilizarea unor parametri tehnologici de sudare necorespunzători (curent de sudare prea mic, forță de apăsare prea mare, etc.), efectul de șuntare, starea suprafețelor componentelor, etc. Dacă nu se formează un nucleu topit comun, atunci materialul nucleului nu se omogenizează suficient și drept urmare incluziunile din nucleu nu sunt împinse spre marginile nucleului.

Acest tip de defecte se pot preîntâmpina prin ajustarea parametrilor regimului de sudare (mai ales curentul de sudare și forța de apăsare), prin controlul stării suprafețelor componentelor și prin calitatea fixării componentelor (suprapuneri, alinieri etc.).

1.7.2. Expulzarea de metal. Este unul din defectele cele mai frecvente ale îmbinărilor sudate prin presiune prin suprapunere. Expulzările scad timpul de viață al electrozilor și ușurează formarea fisurilor interne care foarte des se propagă până la suprafața componentelor. Expulzările pot fi *externe* (din zona de contact electrod-componentă) sau *interne* (din zona de contact dintre componente), figura 1.21.

Cauza principală a expulzărilor externe este de obicei supraîncălzirea zonei de contact electrod-componentă, dar ele mai pot fi cauzate de curentul ridicat de sudare, montarea înclinată a electrozilor (a), pregătirea necorespunzătoare a suprafeței componentelor și a suprafeței electrozilor, curentul de șuntare la sudarea dintr-o parte (d), etc.

Figura 1.21. Expulzarea metalului topit



Expulzările interne se pot forma la începutul sau la sfârșitul sudării. Expulzările de la începutul procesului de sudare (b), mai ales la sudarea metalelor plastice, se întâlnesc rar. Ele se produc până la topirea nucleului și sunt de obicei urmarea supraîncălzirii zonei de contact dintre componente.

Expulzările de la sfârșitul procesului de sudare (c) sunt determinate de interstițiile din zona de închidere a nucleului topit. În cazul unui proces de sudare desfășurat în condiții normale interstițiul format între componente se umple cu o viteză determinată cu metal plastic în mișcare blocându-se căile de ieșire ale metalului lichid. Este necesară o corelare între vitezele de încălzire și de deformare plastică, iar dacă această corelare nu are loc sudarea se încheie cu expulzări de metal.

Posibilitatea expulzării crește cu creșterea diametrului nucleului topit și a diametrului urmei electrodului în componente respectiv cu creșterea dimensiunilor suprafeței de contact; aceasta

deoarece cresc forțele determinante ale expulzărilor de metal scăzând astfel valoarea presiunii interne. Tendința spre expulzare a unui aliaj poate fi exprimată prin diametrul critic al punctului sudat $d_{p,cr}$. Acesta este determinat de un regim dat de sudare (F, t_c) când pentru o creștere a curentului de sudare nu au intervenit încă expulzări de metal. Diametrul $d_{p,cr}$ depinde doar într-o măsură mică de grosimea componentelor.

Tendința spre expulzări în procesul de sudare este dependentă de parametrii regimului de sudare: timpul de curent, forța de apăsare, starea suprafețelor componentelor, precum și de rezistența mecanică a metalului într-un interval dat de temperatură [aproximativ $(0,5...0,7)T_{top}$]. Astfel, de exemplu aliajul AlMg₆ are tendință spre expulzare relativ mare deoarece rezistența lui mecanică este mare în intervalul de temperatură 350...400°C. Starea necorespunzătoare a suprafețelor electrozilor și componentelor (R_c' și R_c'' mari) determină mărirea tendinței de expulzări. În acest caz viteza de încălzire crește, interstițiul se mărește, iar metalul plastifiat nu are timp pentru umplerea acestor interstiții.

Pentru ușurarea deformațiilor plastice și pentru împiedicarea expulzărilor de metal de la finele etapei de sudare se recomandă regimuri moi folosind forțe de apăsare mari. În afară de aceasta, tendința spre expulzare se poate micșora prin placări ale suprafeței componentelor, prin dispunerea unui adaos din material moale între componente (de exemplu aluminiu la sudarea unor aliaje de aluminiu) sau prin sudarea cu curenți a căror valoare să crească progresiv. Alegerea parametrilor de sudare (de exemplu F și t_c) se impune să se facă în așa fel încât variația acestora în limitele admise (creșterea curentului I_s și scăderea forței F) să nu determine depășirea diametrului critic $d_{p,cr}$. Dacă $d_{p,cr} \geq (1,2...1,3) d_{p,necesar}$, atunci sigur că modificarea parametrilor regimului nu cauzează expulzări la sfârșitul procesului de sudare.

1.7.3. Fisurile, porozitățile și retasurile. Iau naștere la cristalizarea metalului și la răcirea lui. La sudarea în puncte, relief și linie, câmpul termic este destul de neomogen. În metalul în curs de răcire iau naștere tensiuni de întindere. Metalele sunt sensibile la asemenea tensiuni tinzând spre fisurare.

La sudarea prin presiune se observă fisurări la cald mai ales în intervalul de temperatură de fragilizare la cald, unde plasticitatea aliajului este minimă. Fisurarea metalului în acest caz este de tipul celei intercrystaline. Limita superioară a intervalului de fragilizare la cald este apropiată de temperatura lichidus, iar valoarea acesteia pentru oțelurile carbon este de 1200...1300°C. De obicei cu creșterea căldurii latente de cristalizare crește și intervalul fragilizării la cald, iar aliajele au o tendință de fisurare mai ridicată.

În punctul sudat fisurile se inițiază de obicei din centrul punctului înspre exteriorul acestuia (pe direcția axei r) și înspre electrozi (în direcția axei z) pînă la suprafața componentelor. Natura fisurilor depinde și variază în funcție de locul lor de producere în câmpul termic creat, figura 1.22.

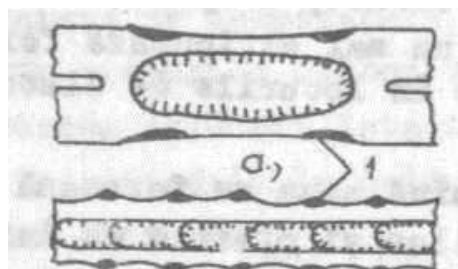
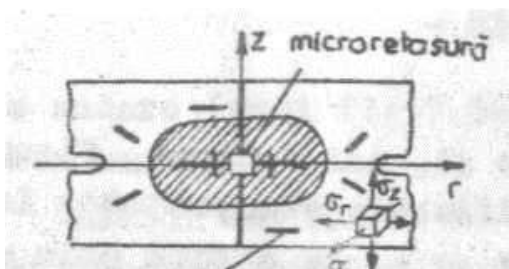


Figura 1.22. Formarea fisurilor și microretasurilor la sudarea SPP

Disponerea fisurilor în zona închisă se face sub un anumit unghi față de suprafața componentelor. Aceasta se explică prin direcția tensiunilor normale de tracțiune. În apropierea electrozilor gradientul de temperatură fiind mic valorile lui σ_z vor fi cele mai mari, iar pentru cazul unei forțe de apăsare insuficiente se vor forma fisuri paralele cu suprafața componentelor.

Se poate observa scăderea bruscă a densității metalului topit în cazul expulzărilor la sfârșitul procesului de sudare, care apar datorită unei forțe de apăsare relativ mici. În zona mijlocului punctului sudat se pot observa retasuri datorate lipsei de metal de cristalizare. Forța de apăsare deseori nu este suficientă pentru deformarea plastică respectiv pentru înlăturarea golurilor ce apar în punctul sudat (retasuri, pori).

Rolul gazelor (de exemplu al hidrogenului) în formarea porilor este relativ mic ca urmare a presiunii ridicate din metalul topit (câteva mii de atmosfere) și ca urmare a vitezei mari de răcire. De aceea gazele rămân de obicei, în stare dizolvată în materialul punctului sudat. Conținutul mare de umiditate al stratului superficial poate fi sursă de hidrogen și de aceea în cazul unei forțe de apăsare mici în punctul topit se formează pori dispersați. În afară de aceasta la încălziri repetate ale îmbinării sudate respectiv la încălzirea aceluiași punct sudat unde nu mai acționează forța de apăsare, în urma difuziei gazelor în locurile de discontinuitate se formează retasuri.

Defectele interne precizate până acum se formează în afara zonelor de concentrare a tensiunilor și practic nu influențează rezistența statică și dinamică (la oboseală) a punctului sudat. Tensiunile interne însemnate și fisurile propagate spre suprafață scad semnificativ etanșeitatea îmbinării. Preîntâmpinarea defectelor se poate obține prin realizarea inițială a unei stări de tensiune sau eventual de compresiune spațială. Aceasta se poate realiza prin mărirea de 2...3 ori a forței de apăsare și în plus prin prevederea după deconectarea curentului a unei forțe de forjare în intervalul tendinței de fisurare la cald.

Deseori se pot evita fisurile și porozitățile dacă prin intermediul ciclului de sudare ales (preîncălzire sau tratament termic postsudare) micșorăm viteza de răcire.

1.7.4. Alierea materialului componentelor. Alierea materialului componentelor cu materialul electrozilor se mai numește impurificare superficială.

Este interesantă urmărirea procesului de aliere între componente solide (table și electrozi de contact) prin prisma îmbinării formate. Formarea contactului fizic, activarea atomilor și formarea legăturilor metalice sunt rezultatele deformării plastice care are loc la interfața electrod de contact-componetă. Legăturile metalice se formează în zonele de tensiune tangențială maximă. Astfel, de exemplu la sudarea în puncte această zonă are formă inelară situându-se pe suprafața exterioară a amprentei electrodului, figura 1.23. Inelul corespunde zonei de tensiune de contact

*Figura 1.23. Impurificarea superficială
a. sudarea SPP; b. sudarea SPL*

maximă dintre electrod și componentă. La sudarea în linie materialul puternic deformat se dispune în urma rotelor de sudare unde impurificarea metalului este maximă.

Difuzia metalelor se desfășoară în zonele legăturilor metalice. Cu toate că metalele la temperatură ridicată sunt în contact timpuri scurți (de obicei sub o secundă), iau naștere totuși procese de difuzie. Acestea sunt legate de faptul că simultan cu procesele de formare a soluției solide se desfășoară și procese de difuzie eterogene care au loc cu viteze foarte mari conducând la formarea unor compuși cum ar fi: CuAl_2 , Mg_2Cu , etc.

Tendința de aliere se poate observa mai ales la aliajele de aluminiu și magneziu și la straturile protectoare ușor fuzibile ale oțelurilor. În zonele de contact a componentelor cu electrozii se formează faze lichide. De exemplu, temperatura de topire a eutecticului $\alpha\text{-Mg}_2\text{Cu}$ este 450°C . Prezența fazei lichide accelerează procesul de difuzie. Gradul de aliere depinde și de proprietățile straturilor superficiale. Astfel, straturile poroase care conțin o mare cantitate de umiditate sau care conțin hidrooxizi termic instabili (aliaje de aluminiu și magneziu) tind la încălzire să elimine umiditatea determinând oxidarea metalelor și creșterea temperaturii la suprafața de contact.

Alierea electrozilor și componentelor are un caracter progresiv. După sudarea primului punct materialul provenit din procesul de aliere superficială este în cantitate foarte mică. Pentru următoarele puncte sudate – în zona de contact cu electrodul – suprafața de aliere crește în lățime și adâncime și astfel se modifică simțitor proprietățile fizico-chimice ale metalului depus pe suprafața electrozilor. Printre altele, scade conductibilitatea termică și electrică a metalului, scăzând astfel transferul de căldură înspre electrozi, mărindu-se în același timp temperatura în zonele de contact. Urmările acestui proces conduc la topirea până și a metalelor cu conductibilitate termică ridicată, sudarea fiind însoțită de expulzări de material.

Materialul depus pe componente micșorează mult protecția îmbinării împotriva coroziunii, mai ales pentru aliajele active din punct de vedere chimic sensibile la coroziune cum sunt aliajele de aluminiu și magneziu, dacă intră în contact cu elemente mai electropozitive (cupru).

După perioade de timp bine stabilite suprafața de contact a electrozilor cu componentele trebuie curățată de materialul rezultat în urma alierii; pentru cazul sudării în puncte a aliajelor de magneziu aceasta se face după 15...20 de puncte, iar pentru cazul sudării în linie după circa 15...20 de rotații a rotelor electrod.

La sudarea aliajelor de magneziu și aluminiu se poate observa un fenomen specific: autocurățirea electrozilor. Atunci când suprafața frontală a electrodului este puternic impurificată de metalul depus (după circa 30 de puncte sudate), între electrod și componentă ia naștere o "îmbinare" metalică rezistentă. La ridicarea electrodului această îmbinare se rupe, iar materialul depus pe electrozi se sudează în mare parte pe suprafața componentei, astfel curățându-se suprafața electrodului. Acest fapt este evidențiat și de analiza chimică care demonstrează că suprafața punctului sudat următor prezintă o concentrație în cupru mai mică.

Nivelul de aliere poate fi micșorat dacă temperatura la contactul electrozilor cu componentele este mică, timpul de contact scăzut, adică dacă se sudează în regim dur. În afara celor de mai sus este necesară urmărirea periodică a calității suprafeței de contact a electrozilor și răcirea puternică a acestora. O metodă nouă este considerată utilizarea în zona de contact electrod-

componentă a unor lubrefianți (unsori, uleiuri). Se îngreunează astfel formarea legăturilor fizice, iar legătura metalică dintre electrod și componentă nu se mai realizează.

1.7.5. Amprenta. Este definită ca urma lăsată de către electrozi pe suprafața componentelor ca urmare a deformațiilor plastice și a încălzirii locale a componentelor. Prin urmare amprenta poate fi o denivelare și/sau o decolorare a suprafeței componentelor. Amprenta lăsată de electrozi pe suprafața componentelor nu trebuie să depășească în adâncime 15...20% din grosimea unei componente. Se apreciază că până la această adâncime rezistența mecanică a îmbinării sudate nu este afectată. Cauzele care pot conduce la amprente excesive pe suprafețele componentelor sunt: electrozi de contact prea ascuțiți, forțe de apăsare prea mari, supraîncălziri locale.

1.7.6. Modificarea structurii punctului sudat. Are loc ca urmare a acțiunii termo-mecanice din zona îmbinării sudate. Neomogenitatea structurală a îmbinării sudate poate fi greu remediată prin tratament termic ulterior. În cele mai multe cazuri îmbinarea sudată cedează în zona influențată termic micșorând într-o măsură mare rolul punctului sudat în determinarea rezistenței mecanice a îmbinării sudate.

Modificarea structurii și a proprietăților metalului de bază, sub acțiunea ciclului termic produs la sudare, constă în căliri, topirea eutecticilor la limitele grăunților, relaxări, recristalizări etc, figura 1.24.

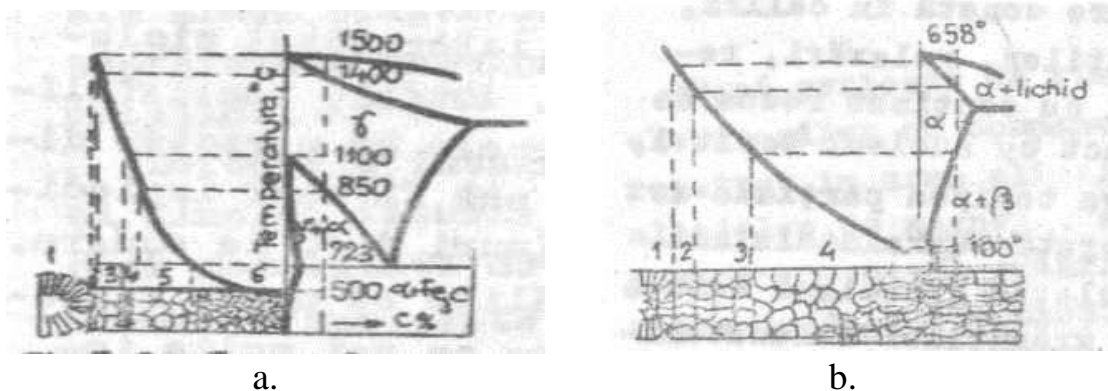


Figura 1.24. Zona influențată termic la sudare

La sudarea unui oțel cu conținut redus de carbon, figura 1.24.a, în zona 2 în contact cu nucleul topit 1, se poate observa topirea parțială a grăunților. Zona 3 de granulație grosolană este zona de supraîncălzire a grăunților de austenită. În zonele încălzite peste temperatura A_{C3} (zonele 3, 4 și 5), în urma răcirii rapide se poate forma câteodată o structură martensitică. Zona influențată termic este diferențiată de zona metalului de bază 6 prin granulația mai mare a grăunților, aceasta micșorând plasticitatea îmbinării mai ales plasticitatea la deformare la rece.

Proprietățile unui oțel călibil, în primul rând plasticitatea, se modifică la sudare. La sudarea oțelurilor călite și revenite în zona influențată termic se observă zone martensitice a căror plasticitate este mică și care au tendință de fisurare mare. La sudarea aliajelor înalt aliate, durificate prin tratament termic cum ar fi aliajele din aluminiu și magneziu sunt foarte periculoase aglomerările de metal ușor fuzibil de la limitele grăunților, figura 1.24.b, deoarece micșorează plasticitatea îmbinării sudate. Aliajele, cum ar fi AlMg6 sunt sensibile la recristalizări tinzând

spre granulații mari în structură fapt ce poate cauza micșorarea rezistenței îmbinării. Totodată, sudarea acestor aliaje diminuează efectul durificării anterioare prin deformare la rece.

Oțelurile austenitice nestabilizate sunt sensibile la micșorarea conținutului de crom de la limitele grăunților. Aceasta este legată de difuzia carbonului spre limitele grăunților și formarea în aceste zone a carburilor de crom. Aceste modificări pot produce coroziunea intercristalină. Sărăcirea în crom a limitelor grăunților se înregistrează doar atunci când metalul este menținut în intervalul 550...700°C mai mult de un minut.

Fenomenele amintite se pot reglementa prin intermediul ciclului de sudare. Astfel, recristalizările, fenomenele cu caracter difuzional etc., pot fi ușor împiedicate prin regimuri dure de sudare. Tendința de călire se poate micșora prin sudarea cu mai multe impulsuri, acestea micșorând viteza de răcire.

Lățimea zonei supuse proceselor termomecanice la sudarea prin suprapunere (puncte, relief, linie) comparată cu lățimea aceleași zone la alte procedee de sudare în stare topită este mai mică (sub 1 mm). Aceasta pentru că durata încălzirii este scurtă. Asupra proprietăților zonei influențate termic acționează cu efecte favorabile deformarea plastică datorată forței de apăsare, când sub acțiunea acesteia, în unele cazuri, se rup straturile aglomerate de la marginea grăunților și se diminuează valoarea tensiunilor interne de tracțiune. Din această cauză structurile îmbinate prin sudare în puncte, în relief sau în linie nu necesită tratament termic ulterior.

Concluzii finale.

Defectele externe (expulzări de metal lichid, modificarea amprentei electrozilor, fisuri externe) se pot evita prin următoarele măsuri:

- se respectă strict întregul proces tehnologic;
- se prelucrează corespunzător suprafețele exterioare ale componentelor;
- în timpul sudării se va urmări ca unghiul dintre electrozi și componente să fie corespunzător;
- se prescrie forță de apăsare mărită;
- electrozii se vor răci mai intens și se vor curăța la timp;
- se vor realiza îmbinări de forme și dimensiuni corespunzătoare.

Amprenta electrozilor rămâne constantă dacă:

- componentele sunt bine poziționate și parțial fixate;
- dispunerea electrozilor față de componente este corectă;
- mișcările electrozilor la sudare sunt minime și egale;
- forma geometrică a vârfului electrozilor este corespunzătoare;
- nu apar defecte interne (de exemplu expulzări interne).

Fisurile propagate spre exterior sunt rezultatul nerespectării tehnologiei de sudare fiind strâns legate de apariția unor defecte interne.

În cazul unor reacții chimice între metalul componentelor și al electrozilor nu se pot evita modificările de culoare ale urmei electrozilor. Pentru evitarea coroziunii ulterioare suprafețele urmelor lăsate de electrozi se curăță cu perii metalice.

Defectele interne (lipsă de îmbinare, stropiri inițiale și finale, fisuri, retasuri, pori) se evită prin adoptarea unor modalități de reducere la minim a deformațiilor și tensiunilor remanente cum

ar fi alegerea ciclului de sudare și a dimensiunilor și formelor electrozilor pentru sudare. În afară de acestea se impune respectarea strictă a prescripțiilor tehnologice.

Stropirile inițiale interne se pot evita prin pregătirea atentă și îngrijită a suprafețelor componentelor, prin suprapunerea exactă a componentelor, prin prinderi provizorii, prin adoptarea unor regimuri relativ moi, prin alegerea unei forțe de apăsare mari.

Stropirile de la finele procesului de sudare pot fi evitate prin micșorarea vitezei de încălzire și topire a metalului, prin micșorarea deformației necesare sudării, prin menținerea unei presiuni ridicate în zona de închidere a punctului pe întreaga durată a ciclului de sudare.

Micșorarea vitezei de topire și mărirea duratei de formare a punctului sudat se pot realiza sudând cu regim moale. Rezultate asemănătoare se pot obține dacă mărim progresiv curentul de sudare până la valoarea necesară sau dacă utilizăm curent de preîncălzire.

Pentru mărirea presiunii în zona de închidere se utilizează de obicei presiuni de apăsare mărite, iar raza de rotunjire a vârfului electrozilor se ia mai mare. În unele cazuri cu toate măsurile de mai sus, la finele procesului de sudare scade presiunea în zona de închidere. Rezultate mai bune se obțin dacă pe durata impulsului de curent presiunea de sudare este mărită progresiv. În acest fel este controlabilă scăderea de presiune, iar la sfârșitul sudării se poate obține o presiune mai mare.

2. Sinteza sudării electrice prin presiune prin suprapunere în puncte SPP

1. *Definirea procedurii.* Sudarea electrică prin presiune prin suprapunere în puncte constă în realizarea unei îmbinări sudate între suprafețele în contact a două sau mai multe componente suprapuse în zona de trecere a curentului de sudare. Schema de principiu a procedurii este prezentată în figura 1.



Figura 1. Schema de principiu la sudarea SPP

Componentele 2 sunt strânse cu forța de apăsare F între electrozii de contact 1 legați la secundarul sursei de sudare. Încălzirea componentelor în zona de trecere a curentului are loc prin efect Joule-Lenz. La început încălzirea maximă se obține la contactul componentelor apăsată de electrozii de contact datorită rezistenței de contact de valori ridicate, respectiv datorită răcirii intense promovate de electrozi la contactul acestora cu suprafața componentelor. Rezistența de contact scade însă foarte repede până la anularea ei datorită încălzirii locale și acțiunii forței de apăsare, ca urmare a creșterii secțiunii în zona de contact (prin înmuierea și aplatizarea asperităților suprafețelor). Prin încălzirea locală are loc creșterea rezistivității electrice a materialului componentelor în vecinătatea zonei de contact fapt ce intensifică în continuare efectul Joule-Lenz în acest loc prin creșterea rezistenței acestuia. Pentru oțeluri obișnuite rezistivitatea crește de zece ori în apropierea nucleului topit față de valoarea ei la temperatura ambiantă.

Când temperatura în zona de contact atinge o anumită valoare ($1000-1200^{\circ}\text{C}$) încep să se formeze grăunți cristalini comuni prin apropierea la distanțe interatomice a suprafețelor componentelor sub acțiunea forței de apăsare. Dacă curentul se întrerupe în acest stadiu sunt create premisele realizării unei sudări în stare solidă SSS, obținându-se o îmbinare cu rezistență redusă datorită grăunților grosolani din care este format punctul și datorită prezenței impurităților. Dacă curentul nu se întrerupe rezultă un nucleu topit cu diametrul d_2 , care este înconjurat în planul de contact de un inel d_3 de grăunți cristalini comuni formați prin sudarea în stare solidă sub acțiunea forței de apăsare, figura 1.

Clasificarea sudării SPP:

- după poziția electrozilor:
 - sudarea SPP directă (figura 1), la care electrozii de contact sunt plasați de o parte și de alta a componentelor;

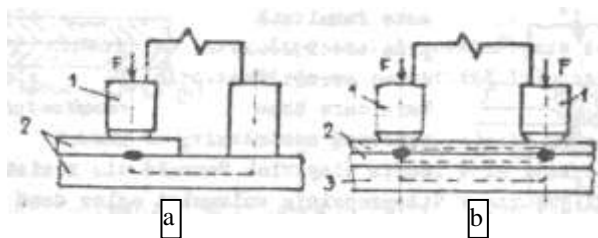


Figura 2. Sudarea SPP indirectă

- sudarea SPP indirectă, figura 2, la care electrozii de contact sunt plasați de aceeași parte a componentelor; aceasta se poate realiza folosind un singur electrod de contact (fig. 2.a) sau doi electrozi de contact plasați pe o singură parte.
- după numărul de puncte realizate:
 - sudarea în puncte individuale prin realizarea unui singur punct;
 - sudarea în puncte duble, la care pentru realizarea fiecărui punct se utilizează câte un electrod de contact și un electrod comun sub formă de placă (fig. 2.b). Această variantă se folosește la sudarea

componentelor de maxim 1,5 ... 2 mm grosime. Dacă componenta inferioară are o grosime de 2 ... 3 ori mai mare decât cea superioară se poate renunța la placa de cupru.

- Sudarea în puncte multiple, când se utilizează mai mulți electrozi de contact, realizându-se două sau mai multe puncte simultan sau într-o secvență controlată automat.

2. Surse termice la sudarea prin presiune prin suprapunere SPP

Cantitatea de căldură necesară formării punctului sudat se obține prin efect Joule-Lenz conform relației:

$$Q = \int_0^t I^2(t) \cdot R(t) \cdot dt \quad (1)$$

unde: $R(t)$ – rezistența totală a circuitului electric dintre electrozii de contact, variabilă în timp;

Rezistența totală a circuitului electric dintre electrozii de contact este formată dintr-o sumă de rezistențe, figura 3, calculată cu expresia:

$$R = R'_c + 2R''_c + 2R_p \quad (2)$$

unde:

- R'_c – rezistența de contact dintre componente;
- R''_c – rezistența de contact dintre componente și electrozii de contact;
- R_p – rezistența volumului de material cuprins între electrozi, de formă cilindrică cu baza egală cu diametrul vârfului electrozilor și înălțimea egală cu grosimea componentelor.

Componentele rezistenței totale se modifică continuu pe durata ciclului de sudare.

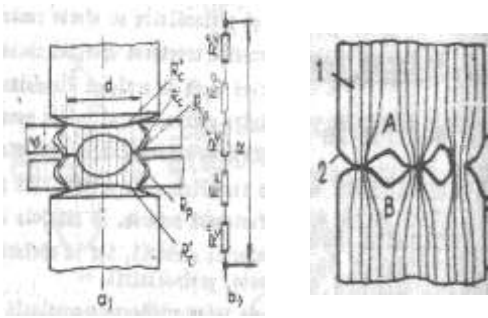


Figura 3. Surse termice

3. Parametrii tehnologici ai sudării în puncte SPP

Tehnologia de sudare SPP se stabilește în funcție de materialul componentelor (compoziția chimică, structura metalografică, caracteristicile mecanice și electrice, proprietățile termofizice, etc.), grosimea materialului și forma componentelor, starea suprafețelor, etc..

Parametrii tehnologici ai sudării SPP sunt:

- curentul de sudare I_s ;
- timpul de curent t_c ;
- forța de apăsare a electrozilor F_{ap} ;
- tipul electrozilor de contact;
- diametrul vârfului electrozilor;
- lungimea minimă de suprapunere a componentelor.

4. Cicluri de sudare

Ciclurile de sudare specifice sudării SPP sunt prezentate în figura 4.

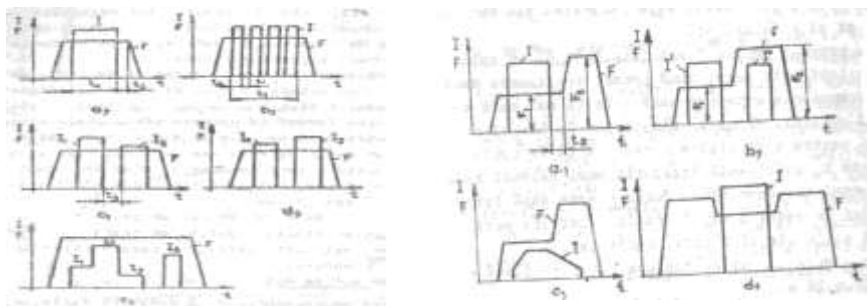


Figura 4. a. Cicluri de sudare cu forță de apăsare constantă
b. Cicluri de sudare cu forță de apăsare variabilă

Sudarea prin presiune în puncte SPP

Corelația dintre tehnologia de sudare (tipul regimului de sudare) și clasa de calitate a punctului

Tabelul 1.

Conform recomandărilor firmei CEA (Italia)

S (mm)	Clasa de calitate	d _e (mm)	I _s (A)	t _s (per)	F _{ap} (daN)	d _p (d _n) mm	F _f (daN)	El. constr.- tehnologice				Obs.
								L _{min} mm	t mm	e ₁ mm	e mm	
1	CLASA A	6,5	9200	9	227	5,8	610	13	19	24	min. L _{min} /2	R.D.
	CLASA B		7500	17	163	5,6	558					R.I.
	CLASA C		5600	31	81	5,3	536					R.M.

Obs.: Metalul de bază: OL 37.2, tablă decapată;
s = 1 mm;

Legenda:

- D: diametrul minim al electrodului în zona cilindrică (D > 15mm)
- L_{min}: suprapunerea minimă a tablelor;
- e: distanța minimă de la marginea tablei la axa punctului (pt. diminuarea efectului de supraîncălzire)
- t: distanța minimă dintre puncte (pt. diminuarea efectului de șuntare a curentului) ;
- e₁: distanța minimă dintre rânduri (pt. diminuarea efectului de șuntare a curentului) ;
- R.D./R.I./R.M. – regim dur/regim intermediar/regim moale;
- Tipul electrodului:
 - E CuCr: pentru oțel nealiat cu puțin carbon ;
 - E CuCo2Be: pentru oțel INOX ;
 - E CuETP: pentru aluminiu și aliajele sale.

Studiu comparativ între tehnologiile de sudare ale oțelului nealiat cu puțin carbon, oțelului INOX și aluminiului

Tabelul 2

S (mm)	Clasa de calitate	d _e (R)	I _s (A)	t _s (per)	F _{ap} (daN)	d _p (d _n) mm	I _s post sudare (A)	t _s post sudare (per)	L _{min} mm	t mm	M.B.
1	CLASA A	6,5	9200	9	227	5,8	-	-	13	19	Oțel
	CLASA A	6,0	7000	5	500	4,0	-	-	13	12	INOX
	CLASA A	R100	35000	3	800	5,0	26000	4	14	14	Al

Studiu comparativ între tehnologia de sudare a unei table (din oțel) neacoperite și a uneia acoperite (zincate)

Tabelul 3

S mm	d _e mm	I _s kA	t _s per.	F _{ap} daN	Metalul de bază	Obs.
1	5	6,5	9	140	Tablă decapată	Regim moale
	5	11	12	280	Tablă zincată la cald	Regim dur
	5	8	12	240	Tablă zincată la rece (electrolitic)	Regim dur

Obs. Tipul electrodului :

- E CuCr – pentru oțel nealiat
- E Cu Cd1 – pentru tabla zincată

Tabelul 6. Calculul analitic al tehnologiei de sudare electrice prin presiune în pincte SPP (Relații de calcul)

Nr. crt.	Parametrul tehnologic de calcul	Unitatea de măsură	Relații de calcul	Observații (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					
	Oțel INOX A.					
	Aluminiu					
	Cupru					
2.	Grosimea tablei(lor) : $S_1 + S_2$	(mm)				
3.	Stabilirea clasei de calitate (execuție)		Se face în funcție de: importanța construcției, mărimea și natura solicitărilor, condițiile de exploatare, condițiile de execuție și control - conform STAS 11244/			
4.	Alegerea tipului electrodului		Simbolizare : (cf. SR ISO 5182/1993)			
5.	Stabilirea diametrului la vârf al electrodului 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 oțeluri cu $C = 0,22...0,25\%$ (Conform STAS 11244/79) Clasa de execuție I : Relația (1) – pentru $s = 0,5...3mm$ Relația (2) – pentru $s = 3,5...6mm$ Clasa de execuție II, III : Relația (3) – pentru $s = 0,5...3mm$ Relația (4) – pentru $s = 3,5...6mm$ Relații generale (5.1; 5.2)		
6.	Curentul de sudare 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. $A_p \cong A_e$	(7) ; (8) ; j – densitatea de curent (A/mm ²) - regim moale: $j = (80... 160)$ A/mm ² - oțel carbon - regim dur: $j = (200... 400)$ A/mm ² , - oțel carbon $j = (1000... 1500)$ A/mm ² - pentru Al Relația (9) t_s – se introduce în perioade $k = 1250$ A/mm ² - oțel 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)	$t_s = (0,1 \dots 0,2) s$ (10) $t_s = (0,8 \dots 1,0) s$ (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 corelației $I_s - t_s$ (vezi relația (8))		
8.	Forța de apăsare (forjare) F_j	(daN)	$F = p \cdot A_e = p \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4}$ (13) $F = (50 \dots 250) \delta$ (14) $F_{R.D.} = (1,5 \dots 2,0) F_{R.M.}$ 15	$p = (7 \dots 12) daN/mm^2$ – oțel carbon $p = (13 \dots 15) daN/mm^2$ – oțel INOX 18/ 8 $p = (8 \dots 25) daN/mm^2$ – Al + alj. $F_{R.D.}$ – forța de apăsare în regim dur $F_{R.M.}$ – forța de apăsare în regim moale (14) – Relație empirică		
9.	Diametrul punctului d_p (d_n) (minim)	(mm)	$d_p = 2s + 3$ (16) $d_p = 2s + 2$ (17) $d_p = (0,8 \dots 1,1) d_e$ (18) $d_{pmin} = 4\sqrt{s}$ (19) Recomandare : $d_p \leq d_e$ (20)	Relația (16) – Clasa de execuție I Relația (17) – Clasa de execuție II, III (Conform STAS 11244/79) Relația (20) – se impune pentru evitarea împroscărilor de material prin stropi respectiv pentru obținerea unei amprente minime.		
10.	Înălțimea (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 amprente a	(mm)	0,1 s_{min} – clasa de calitate I 0,2 s_{min} – clasa de calitate II, III.			

Aprecierea calității punctului sudat:

Metode de control:

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

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

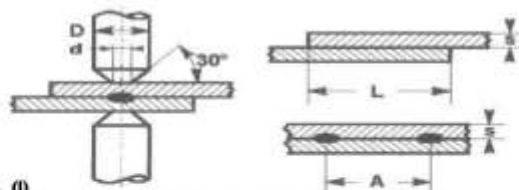
Se admite un por cu diametrul $d_p = 0,5s_{min} - 0,2$ mm, dar max. 2mm.

Clasele de calitate II: se admit fisuri în centrul nucleului, perpendiculare pe suprafața tablei cu lungimea de max. $0,2d_n$ și pori a căror secțiune transversală totală nu depășește 4% din secțiunea sudurii.

Clasa de calitate III: se admit fisuri în centrul nucleului, perpendiculare pe suprafața tablei cu lungimea de max. $0,3d_n$ și pori a căror secțiune transversală totală nu depășește 8% din secțiunea sudurii.

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

Regimuri de sudare la sudarea SPP - conform firmei CEA (Italia)



CLASA DE CALITATE PUNCTULUI - A (I)

Thickness s	d	D ≥	A min.	L min.	Welding time (periods)	Electrode Force (daN)	Welding current (A)	Nugget diameter (mm)	Shear strength (daN)
0.25	4	10	6,5	10	3	91	4000	3,3	106
0.5	5	10	10	11	5	136	6100	4,3	240
0.75	6	13	13	12	6	181	8000	5,3	444
1	6,5	13	19	13	9	227	9200	5,8	610
1.25	6,5	13	22	14	10	295	10300	6,3	825
1.5	6,5	13	27	16	12	362	11600	6,9	1060
2	8	16	35	17	18	496	13300	7,9	1463
2.5	8	16	41	19	21	590	14700	8,6	1855
3	10	16	50,8	22	25	815	17500	10,2	3128

CLASA DE CALITATE PUNCTULUI - B (II)

Thickness s	d	D ≥	A min.	L min.	Welding time (periods)	Electrode Force (daN)	Welding current (A)	Nugget diameter (mm)	Shear strength (daN)
0.25	4	10	6,5	10	4	59	3700	3,2	91
0.5	5	10	10	11	8	91	5100	4,1	208
0.75	6	13	13	12	12	125	6300	5,1	385
1	6,5	13	19	13	17	163	7500	5,6	558
1.25	6,5	13	22	14	20	186	8000	5,8	770
1.5	6,5	13	27	16	24	227	9000	6,6	975
2	8	16	35	17	30	293	10400	7,6	1370
2.5	8	16	41	19	36	358	11400	8,4	1765
3	10	16	50,8	22	50	516	12900	9,9	2944

CLASA DE CALITATE PUNCTULUI - C (III)

Thickness s	d	D ≥	A min.	L min.	Welding time (periods)	Electrode Force (daN)	Welding current (A)	Nugget diameter (mm)	Shear strength (daN)
0.25	4	10	6,5	10	13	29	3000	2,8	73
0.5	5	10	10	11	18	45	3800	3,5	177
0.75	6	13	13	12	24	61	4700	4,6	358
1	6,5	13	19	13	31	81	5600	5,3	536
1.25	6,5	13	22	14	35	93	6100	5,6	725
1.5	6,5	13	27	16	40	113	6800	6,4	929
2	8	16	35	17	48	147	7900	7,1	1314
2.5	8	16	41	19	55	177	8800	7,9	1696
3	10	16	50,8	22	65	259	10000	9,4	2786

Supliment

Tabelul 7. Regimuri tehnologice de sudare a tablelor din oțel (neacoperite) (conform STAS 13107/1992)

Grosimea unei table		Diametrul capului electrodului mm	Condiții de sudare								
peste mm	pină la, inclusiv mm		Forță și timp mediu			Forță maximă, timp minim			Curent kA		
			Forța kN	Timp de sudare ciclî (la 50 Hz) s	Curent kA	Forța kN	Timp de sudare ciclî (la 50 Hz) s	Curent kA			
0,4	0,6	4	0,9	5	0,10	5	1,3	5	0,10	6	
0,6	0,8	4	0,9	7	0,14	6	1,3	6	0,12	7	
0,8	1,0	5	1,4	9	0,18	6,5	2,1	7	0,14	8	
1,0	1,2	5	1,4	11	0,22	7,5	2,1	7	0,14	10	
1,2	1,6	6	2,0	14	0,28	8,5	3,0	8	0,16	12	
1,6	2,0	7	2,7	18	0,36	9,5	4,0	10	0,20	14	
2,0	2,5	8	3,5	22	0,44	10,5	5,3	12	0,24	16	
2,5	3,0	9	4,5	28	0,56	12	6,7	15	0,30	18	

Tabelul 8. Alegerea electrozilor de contact la sudarea SPP (conform SR ISO 5182/1993)

Materie	Sudare în puncte	Sudare în linie	Sudare în relief	Sudare cap la cap prin țepuri intermediare	Alte aplicații
A 1/1	Electrozii de contact pentru sudarea aluminiului	Role electrod pentru sudarea aluminiului	—	—	Piese conductoare de curent electric rezistive la șocuri, legături electrice
A 1/2	Electrozii de contact pentru sudarea aluminiului Electrozii de contact pentru sudarea oțelurilor acoperite (zinc, staniu, alumin, siliciu)	Role electrod pentru sudarea aluminiului Role electrod pentru sudarea oțelurilor acoperite (zinc, staniu, alumin, siliciu)	—	Fâșii sau piese intermediare de contact pentru sudarea oțelului cu conținut scăzut de carbon	Electrozii pentru sudarea electrică prin presiune cu CIP a metalelor neferoase
A 2/1	Electrozii de contact pentru sudarea oțelului cu conținut scăzut de carbon	Role electrod pentru sudarea oțelului cu conținut scăzut de carbon	Fâșii cu sărăciată mare	Fâșii sau piese intermediare de contact pentru sudarea oțelurilor nealeabile cu conținut scăzut de carbon și oțelurilor inoxidabile și a metalelor rezistive	Piese conductoare de curent electric rezistive la șocuri, piese de cupluri pentru materiale carbon și oțelurilor inoxidabile și a metalelor rezistive
A 2/2	Electrozii de contact pentru sudarea oțelului cu conținut scăzut de carbon și a oțelurilor acoperite	Role electrod pentru sudarea oțelului cu conținut scăzut de carbon și a oțelurilor acoperite	Fâșii sau piese intermediare de contact	—	Piese conductoare de curent electric rezistive la șocuri, piese de cupluri de exemplu: pernelelor, corpul pentru electrozii

Tabelul 8. (continuare)

Materie	Sudare în puncte	Sudare în linie	Sudare în relief	Sudare cap la cap prin țepuri intermediare	Alte aplicații
A 2/3	Electrozii de contact pentru sudarea oțelului cu conținut scăzut de carbon și a oțelurilor acoperite și a oțelurilor inoxidabile	Role electrod pentru sudarea oțelului cu conținut scăzut de carbon și a oțelurilor acoperite și a oțelurilor inoxidabile	Fâșii sau piese intermediare de contact	—	Piese conductoare de curent electric rezistive la șocuri, piese de cupluri de exemplu: pernelelor, corpul pentru electrozii
A 2/4	Electrozii de contact pentru sudarea oțelului cu conținut scăzut de carbon și a oțelurilor acoperite și a oțelurilor inoxidabile	Role electrod pentru sudarea oțelului cu conținut scăzut de carbon și a oțelurilor acoperite și a oțelurilor inoxidabile	Fâșii sau piese intermediare de contact	—	Piese conductoare de curent electric rezistive la șocuri
A 2/1	Electrozii de contact pentru sudarea oțelului inoxidabil și a oțelurilor rezistive	Role electrod pentru sudarea oțelului inoxidabil și a oțelurilor rezistive	Fâșii sau piese intermediare de contact	Fâșii sau piese intermediare de contact cu forță de străgânie mare	Piese conductoare de curent electric rezistive la șocuri
A 2/2	Pornelelor, corpul pentru electrozii și țepuri supuse la șocuri	Arbori și legăne	—	—	Piese conductoare de curent electric rezistive la șocuri
A 4/1	Pornelelor și țepuri care	Arbori și legăne	—	—	Piese conductoare de curent electric rezistive la șocuri
A 4/2	Pornelelor și țepuri supuse la șocuri mecanice foarte mari	Boabe porțelice supuse la șocuri mecanice foarte mari	Fâșii sau piese intermediare de contact	Fâșii largi pentru sudarea prin țepuri intermediare	—
A 4/3	—	Role electrod supuse la șocuri mecanice foarte mari pentru sudarea oțelului cu conținut scăzut de carbon	—	—	—

Tabelul 8 (continuare)

Materie	Sudare în puncte	Sudare în linie	Sudare în relief	Sudare cap la cap prin țepuri intermediare	Alte aplicații
A 4/4	Pornelelor	Arbori și legăne supuse la șocuri mecanice ușoare	Platouri și țepuri	—	—
B 10	—	—	Piese intermediare de contact pentru sudarea oțelului cu conținut scăzut de carbon	Piese intermediare de contact pentru sudarea oțelului cu conținut scăzut de carbon	Piese intermediare de contact pentru sudarea la cald și rețutarea la cald
B 11	—	—	—	—	Piese intermediare de contact pentru sudarea la cald și rețutarea la cald
B 12	—	—	Piese intermediare de contact pentru sudarea oțelului inoxidabil	Fâșii scurte sau piese intermediare de contact pentru sudarea oțelului	Piese intermediare de contact pentru sudarea la cald și rețutarea la cald
B 13	Piese intermediare de contact pentru sudarea materialelor cu conductivitate ridicată, pe țepuri de cupru	—	—	—	Piese intermediare de contact pentru sudarea la cald
B 14	Piese intermediare de contact pentru sudarea materialelor cu conductivitate ridicată, pe țepuri de cupru	—	—	—	Piese intermediare de contact pentru sudarea la cald și rețutarea la cald pentru țepuri prin rezistență
B 15	—	—	—	—	Electrozii pentru sudarea electrică prin presiune cu CIP a metalelor terose

Tabelul 9. Clasificarea si simbolizarea electrozilor de contact la sudarea SPP – conform SR ISO 5182/1993

Material								
Grupă	Tip	Număr	Simbolizare	Compoziție chimică nominală ¹⁾ %	Stare de livrare (valori în mm)	Duritate, HV (30 kg) min.	Conductivitate electrică, S/m min.	Temperatura de înmuiere, °C, min.
A	1	1	Cu-ETP	Cu(+Ag) min.99,90	tras ≥ 25	85	56	150
					tras < 25	90	56	
					forjat	50	56	
					turnat	40	50	
	2	2	Cu Cd1	Cd = 0,7... 1,3	tras ≥ 25	90	45	250
					tras < 25	95	43	
					forjat	90	45	
	2	1	Cu Cr1	Cr = 0,3... 1,2	tras ≥ 25	125	43	475
					tras < 25	140	43	
					forjat	100	43	
					turnat	85	43	
2	2	Cu Cr1 Zr	Cr = 0,5... 1,4 Zr = 0,02... 0,2	tras ≥ 25	130	43	500	
				tras < 25	140	43		
				forjat	100	43		

Material														
Grupă	Tip	Număr	Simbolizare	Compoziție chimică nominală ¹⁾ %	Stare de livrare (valori în mm)	Duritate, HV (30 kg) min.	Conductivitate electrică, S/m min.	Temperatura de înmuiere, °C, min.						
A		3	Cu Cr Zr	Cr = 0,4...1 Zr = 0,02... 0,15	ecruisat	160	43	500						
					rectificat < 45	160	43							
		4	Cu Zr	Zr = 0,11... 0,25	ecruisat	130	47	500						
					rectificat < 30	130	47							
		3	1	Cu Co2 Be	Co = 2,0... 2,8 Be = 0,4... 0,7	tras ≥ 25	180	23	475					
						tras < 25	190	23						
						forjat	180	23						
						turnat	180	23						
		4	2	Cu Ni2 Si	Ni = 1,6... 2,5 Si = 0,5... 0,6	tras ≥ 25	200	18	500					
						tras < 25	200	17						
						forjat	168	19						
						turnat	158	17						
		4	1	Cu Ni1 P	Ni = 0,8... 1,2 P = 0,16... 0,25	tras ≥ 25	130	29	475					
						tras < 25	140	29						
						forjat	130	29						
						turnat	110	29						
		2	Cu Be2 Co Ni	Be = 1,8... 2,1 Co-Ni-Fe = 0,20... 0,60	tras ≥ 25	350	12	500						
					tras < 25	350	12							
				forjat	350	12								
				turnat	350	12								
		3	Cu Ag6	Ag=6...7	forjat ≤ 25	140	40	400						
					forjat 25... 50	120	40							
		4	CuAl10 Fe5 Ni5	Al = 8,5... 11,5 Fe = 2,0... 5,0 Ni = 4,0... 5,0 Mn = 0... 2,0	forjat	170	4	650						
					turnat	170	4							
B														
									10	W75 Cu	Cu 25	220	17	1000
									11	W78 Cu	Cu 23	240	16	1000
									12	WC70 Cu	Cu 30	300	12	1000
									13	Mo	Mo 99,5	150	17	1000
									14	W	W 99,5	420	17	1000
									15	W85 Ag	35 Ag	140	29	900

Tabelul 10. Materialul electrozilor pentru sudarea prin presiune cf. Normelor AWS

Table 8		
Electrode Materials for Resistance Welding		
Class		RWMA Designation
Group A—Copper Base Alloys		
Class 1	Cadmium copper	1.16200 1.18200
	Zirconium copper	1.15000
	Chromium copper Chromium zirconium copper	2.18200 2.18150
Class 3	Beryllium copper (Co)	3.17500
	Beryllium copper (Ni)	3.17510
	Beryllium free	3.18000
Class 4	Beryllium copper	4.17200
Class 5	Aluminum bronze	5.95300
Group B—Refractory Metal or Refractory Metal Composites		
Class 10	Copper tungsten (45% Cu/55% W)	10.74450
Class 11	Copper tungsten (25% Cu/75% W)	11.74400
Class 12	Copper tungsten (20% Cu/80% W)	12.74350
Class 13	Tungsten	13.74300
Class 14	Molybdenum	14.42300
Group C—Specialty Materials		
Class 20	Dispersion strengthened copper	20.15760

2. Sudarea oțelurilor acoperite

Studiu bibliografic

2.1. Aspecte generale

Utilizând un regim de sudare și o tehnologie de sudare potrivită se pot obține îmbinări sudate de calitate dorită în cazul mării majorități a metalelor și aliajelor. Dificultățile legate de obținerea unei anumite calități a îmbinării sudate variază mult de la un material la altul.

Comportarea la sudarea electrică prin presiune prin rezistență a diferitelor materiale este determinată de:

- condițiile de încălzire și de răcire a componentelor, influențate de:
 - conductibilitatea termică și electrică a materialului componentelor;
 - distribuția și numărul surselor termice;
 - rezistența de contact dintre componente;
 - condițiile particulare de propagare a căldurii;
- deformațiile plastice, dilatările și contracțiile ce intervin, influențate de:
 - mărimea intervalului de temperatură în care materialul componentelor este plastic;
 - rezistența la deformări plastice la cald a materialului componentelor;
 - coeficientul de dilatare a materialului componentelor;
- modificările structurale și de compoziție chimică ce au loc, influențate de:
 - ciclul termic la care sunt supuse materialele în timpul sudării;
 - existența sau inexistența fazei lichide;
 - modul în care se produce topirea;
 - deformarea plastică ce intervine;
 - interacțiunea cu mediul înconjurător.

Un anumit material este cu atât mai ușor de sudat electric prin presiune cu cât domeniul admisibil de variație a parametrilor procesului de sudare pentru obținerea unei îmbinări sudate de o calitate dorită este mai larg, respectiv măsurile ce trebuie luate pentru obținerea calității dorite sunt mai reduse și mai simple.

2.2. Comportarea la sudarea SPP a oțelurilor nealiatate cu puțin carbon (oțeluri obișnuite).

Au o comportare bună la sudarea prin presiune prin rezistență pentru că:

- se comportă plastic într-un interval larg de temperatură;
- sunt puțin sensibile la călire;
- produc oxizi ușor fuzibili, ușor de eliminat din îmbinare;
- au rezistență electrică relativ mare ceea ce asigură o încălzire corespunzătoare prin efect Joule-Lenz;

Sudarea prin presiune în puncte a acestor oțeluri se face fără probleme. Cu următoarele precizări :

- dacă sunt laminate la rece suprafețele lor sunt fără oxizi, deci nu trebuie curățate;

- dacă sunt laminate la cald suprafețele sunt acoperite cu oxizi și trebuie făcută o decapare înainte de sudare (pe cale chimică sau mecanică).

Oțelurile obișnuite sunt puțin sensibile la ciclurile termice de sudare, motiv pentru care ele se sudează bine atât în regim dur cât și în regim moale. Se preferă regimul dur pentru componente cu grosimea sub 6 mm datorită avantajelor pe care le conferă.

Componentele din oțel obișnuit acoperite cu diferite straturi metalice protectoare (zinc, plumb, staniu, nichel, crom etc.) se sudează SPP în regim mai dur. De exemplu pentru grosimi de 0,8...1 mm se folosește un timp de curent mai redus, iar curentul de sudare și forța de apăsare se aleg cu 20...50% mai mari decât în cazul componentelor neacoperite.

Dacă acoperirea este realizată cu materiale ușor fuzibile (plumb, zinc) se mărește durata de menținere a componentelor între electrozii mașinii după deconectarea curentului pentru a permite solidificarea metalului ușor fuzibil topit în procesul de sudare.

2.3. Recomandari tehnologice la sudarea oțelurilor acoperite

2.3.1. Introducere

A. [1]. Acoperirile tablelor din oțel au în principal rolul de îmbunătățire a rezistenței la coroziune a acestora în exploatare. Aceste acoperiri pot fi metalice sau nemetalice și ele afectează sudabilitatea comparativ cu tablele neacoperite. Acoperirile afectează atât rezistența de contact dintre suprafețele tablelor la interfața de contact a acestora cât și rezistența de contact la interfața electrozii de contact – table (piesa). Aceasta implică în general creșterea curentului de sudare care conduce implicit și la încălzirea electrozilor de contact. Acoperirile pot produce eroziunea rapidă a electrozilor prin uzură sau prin aliere cu materialul electrodului. Ca urmare a acestei alieri poate rezulta lipirea electrodului de table prin fenomenul de “pitting” și erodarea rapidă a suprafeței de contact a acestuia. În plus poate rezulta o aliere a acoperirilor cu metalul de bază sau cu materialul electrozilor care poate afecta rezistența la coroziune a punctelor sudate și a zonelor adiacente. În timpul sudării oțelului acoperit pot apărea emisii de fum și gaze nocive prin vaporizare și oxidare. Prin urmare se impune luarea măsurilor de protecție a personalului prin ventilația forțată la locul de muncă și purtarea măștilor de protecție, respectiv a ochelarilor de protecție.

2.3.2. Tipurile de acoperiri aplicate tablelor de oțel. Dintre aceste acoperiri se amintesc:

- a. Acoperiri pe baza de zinc. Depunerea acestor acoperiri se poate realiza prin zincare la cald sau prin galvanizare electrolitică și pot fi din:
 - i. Zinc pur (cunoscute ca table galvanizate sau electrogalvanizate);
 - ii. aliaj de zinc - aluminiu (Zn + 5% Al);
 - iii. aliaj de zinc – nichel;
 - iv. crom + oxid de crom + zinc;
 - v. aliaj de zinc – fier;
- b. Acoperiri pe baza de aluminiu:
 - i. Tipul 1: aluminiu (Al + 5-10% Si);
 - ii. Tipul 2: aluminiu (Al pur);

- iii. Aluminiiu – zinc (Al + 45%Zn + 1.5% Si);
- c. Aliaj plumb – staniu (terne coating);
- d. Staniu;
- e. Grunduri pe baza de zinc. Pentru oțelurile acoperite pe o singura parte rezistența electrică mai mare produsă de grundul pe baza de zinc poate conduce la scurtarea vieții electrodului dacă acoperirea vine în contact cu electrodul. Oricum curățarea oțelului prin îndepărtarea grundului la interfața suprafeței îmbunătățește sudabilitatea.
- f. Composite organice. Aceste acoperiri sunt aplicate la oțelurile care au fost acoperite metalic și au fost supuse la un tratament de cromare. O acoperire organică sau organica cu silicate este al treilea strat de acoperire și ultimul. Acoperirile compozite sunt aplicate tipic doar pe o parte a tablei de oțel. Vopseaua, vinilul sau alte acoperiri organice neconductive pot împiedica sudarea electrică prin presiune. Acoperirile compozite cu rezistență electrică mare pot produce uzură crescută a electrodului când acoperirea vine în contact cu electrodul.
- g. Placări metalice. Oțelurile pot fi placate cu crom, nichel, staniu, zinc, cupru sau cadmiu. Placarile cu crom și nichel au regimuri de sudare identice cu oțelurile neacoperite de grosime echivalentă. Eventual o ajustare a curentului de sudare poate fi necesară. La sudarea oțelurilor placate o atenție suplimentară trebuie luată pentru îndepărtarea emisiilor de fum care pot apărea, prin ventilația forțată. De exemplu oțelurile placate cu cadmiu sau acoperirile care conțin cadmiu produc la sudare un fum toxic cu cadmiu. Obisnuit prin sudare se alterează placarea în zona sudurii.
- h. Fosfatare. Acoperirile cu fosfați au o rezistență electrică ridicată care face dificilă sudarea prin presiune a oțelurilor fosfatate.

Utilizarea unor impulsuri de curent sau folosirea unei pante de creștere a curentului de sudare se poate utiliza pentru ruperea straturilor de acoperire prezentate mai sus și care se caracterizează printr-o rezistență (rezistivitate) electrică ridicată.

2.3.3. Pregătirea suprafeței. Înainte de sudare se impune curățarea suprafeței tablelor pentru evitarea contaminării sudurii și afectarea calității sudurii. Suprafețele tablelor trebuie curățate de oxizi (rugină), grăsimi (degresare), urme de uleiuri, vopsele, praf, etc. Curățarea se poate face mecanic sau chimic.

Tablele acoperite cu zinc formează pe suprafața prin oxidare oxidul de zinc sau așa numita “rugină albă”. Petele de rugină albă conțin umiditate și cel mai bine pot fi prevenite prin depozitarea tablelor în spații uscate. Rugină albă acționează ca un izolator electric (este neconductoare electric ca orice oxid) și poate împiedica sudarea electrică prin rezistența a tablelor zincate. Prin urmare se impune cu necesitate îndepărtarea ruginii albe prin perierea cu perie de sîrmă sau chimic înainte de sudare.

Tablele acoperite cu aluminiu pot impune de asemenea curățarea cu peria de sîrmă sau chimic înainte de sudare. În unele situații stratul aderent de oxid de aluminiu trebuie îndepărtat pentru minimizarea expulzarilor de metal și încărcarea suprafeței de contact a electrozilor cu aluminiu. Îndepărtarea oxidului de aluminiu trebuie făcută însă cu grijă pentru evitarea afectării acoperirii tablei cu aluminiu.

2.3.4. Recomandari privind parametrii tehnologici de sudare

2.3.4.1. Electrozii de contact

2.3.4.1.a. *Materialul electrozilor de contact.* Așa cum s-a aratat electrozii de contact se executa din cupru sau aliaje din cupru. Exista o varietate mare de astfel de aliaje in functie de compozitia chimica si destinatie. Prezentarea materialelor si a proprietatilor termofizice, electrice si mecanice, respectiv a recomandarilor de utilizare se face in normativul SR ISO 5182 respectiv in normativele americane AWS, conform Comitetului de standardizare RWMA (Resistance Welding Manufacturing Alliance). Conform normativelor AWS la sudarea otelurilor acoperite se recomanda aliajele pe baza de cupru din Grupa A: Clasa 1 (aliaj Cu -Cd respectiv aliaj Cu-Zr), Clasa 2 (aliaj Cu-Cr respectiv Cu-Cr-Zr) sau din grupa C, Clasa 20 (aliaje de cupru intarite prin precipitare dispersa). Materialele din Clasa 1 sunt materiale moi (rezistenta mecanica mica), dar se caracterizeaza prin conductibilitate electrica ridicata (rezistivitate electrica mica). Prin urmare permit folosirea valorilor ridicate ale curentului de sudare cu care se asociaza sudarea otelurilor acoperite si racirea mai rapida a suprafetei active a electrodului care poate reduce pericolul alierii dintre suprafata electrodului si materialul de acoperire cu toate dezavantajele aferente.

Materialele din Clasa 2 se recomanda la sudarea otelurilor acoperite datorita rezistentelor lor mecanice mai mari cu o potrivire mai buna a rezistentei otelului decit Clasa 1. Aceste material au o rezistenta marita la tratamentul termic de revenire (inmuiere) si prin urmare reducerea deformarii plastic si formarea de ciuperca a suprafetei la virf a electrozilor.

Materialele din Clasa 20, intarite prin precipitare dispersa au o utilizare pentru noile tipuri de acoperiri decit cele utilizate traditional. Acesti electrozi au proprietatile de rezistenta si conductibilitate similar cu cei din Clasa 2. In plus materialul manifesta o rezistenta mai mare la revenire (inmuiere) si o rezistenta crescuta la lipirea electrodului de materialul de acoperire.

2.3.4.1.b. *Forma la virf a electrozilor.* Exista o multitudine de forme standardizate si nestandardizate ale virfului electrozilor, figura 2.1.

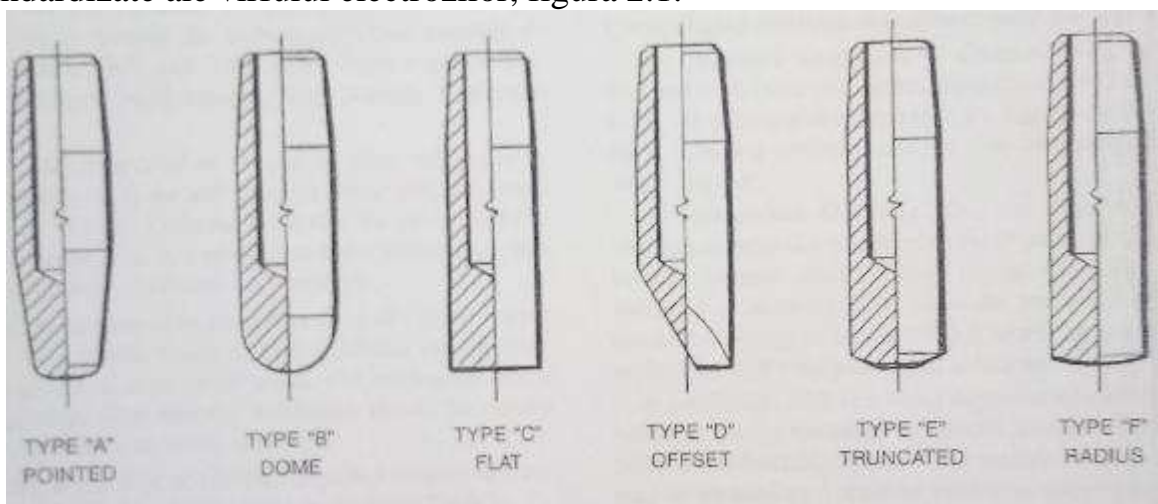


Figura 2.1. Geometria formei la virf a electrozilor (cf. RWMA)

De asemenea suprafața activă a electrodului poate fi plană, sferică sau bombată. Alegerea este dictată de particularitățile de sudare și cerințele de calitate impuse punctului sudat.

2.3.4.1.c. Durata de viață a electrozilor. Durabilitatea electrozilor se definește ca numărul de puncte sudate care pot fi realizate cu o pereche de electrozi cu menținerea diametrului, rezistenței și calității impuse sau specificate ale punctului sudat.

Otelurile acoperite tipic scurtează viața electrozilor comparative cu otelurile neacoperite. Materialul de acoperire se poate alia cu cuprul din materialul electrodului ceea ce conduce la lipirea și ciupirea suprafeței active a electrodului de cupru producând cratere pe suprafața de contact sau urme de aliaj pe suprafața tablei în zona punctului sudat (de exemplu zincul se combină cu cuprul și formează alama, un aliaj Cu-Zn, rezultând pete galbene pe suprafața). Acoperirile care conțin zinc, aluminiu, staniu sau cadmiu pot forma aliaje cu cuprul din electrozii de contact. Pot rezulta astfel forme de uzuri diferite ale suprafeței de contact a electrodului în funcție de natura acoperirilor.

2.3.4.2. Forța de apăsare a electrodului. În mod normal otelurile acoperite cer forțe de apăsare mai mari în comparație cu otelurile neacoperite. Aceasta se impune în special la acoperirile multistrat sau acoperirile cu grund. Acoperirile cu fosfați au o rezistență electrică foarte mare și pot face imposibilă închiderea circuitului de sudare și implicit trecerea curentului și deci sudare dacă forța de apăsare a electrozilor este scăzută. Dacă stratul de fosfat este subțire sudarea se poate desfășura satisfăcător; totuși chiar și la forțe de apăsare mari, variații ușoare în grosimea stratului de fosfat conduce la o calitate aleatorie a punctele sudate, la reproductibilitatea sudurilor. Dacă otelurile acoperite sunt de rezistență ridicată, forța de apăsare este cu atât mai mare comparativ cu otelurile acoperite nealiat cu puțin carbon.

2.3.4.3. Timpul de sudare (timpul de curent). Otelurile acoperite necesită un timp de sudare mai lung decât otelurile neacoperite. Valoarea timpului de sudare necesită o creștere o dată cu creșterea grosimii stratului de acoperire.

2.3.4.4. Timpul de menținere post sudare. Reprezintă timpul de menținere a apăsării electrodului de contact după întreruperea curentului de sudare până la solidificarea nucleului topit, asimilat și cu timpul de forjare, care îmbunătățește calitatea punctului sudat. Este interzisă anularea forței de apăsare o dată cu întreruperea curentului care poate conduce la expulzări ale metalului topit, respective defecte de tipul fisurilor și retasurilor în punctul sudat sau la limata la ruperea punctului imediat după sudare dacă acesta este supus unei solicitări exterioare nedorite (rezultată din poziționarea componentelor sau din tensiunile interne introduce la sudare).

La sudarea otelurilor acoperite în general în general se recomandă un timp post sudare mai scurt pentru reducerea pericolului de de lipire a electrodului de table.

2.3.4.5. Timpul de curent post sudare (timpul de tratament post sudare - revenire). Ciclograma curentului la sudarea în puncte poate include un timp de curent post sudare la sudarea otelurilor aliate sau slab aliate de mare rezistență, cu tendința de fragilizare sau calire după sudare. Aceste oteluri recomandă utilizarea unui tratament termic post sudare

de revenire pentru a imbunatati proprietatile mecanice ale punctului sudat si calitatea acestuia. Dupa intreruperea curentului de sudare are loc racirea si solidificarea nucleului topit sub actiunea fortei de apasare a electrozilor de contact ceea ce determina racirea rapida a materialului care poate conduce, daca conditiile sunt favorabile, la pericolul de calire si fragilizare a punctului. Intreruperea curentului de sudare in aceasta faza determina accelerarea racirii de catre electrozii de contact din cupru cu conductibilitate termica mare si uneori raciti suplimentar cu apa. Timpul de current post sudare urmeaza dupa timpul de racire. Tratamentul post sudare de revenire se obtine prin aplicarea unui current post sudare suplimentar care are o valoare procentuala din curentul de sudare principal. Temperatura de racire a sudurii trebuie sa fie superioara temperaturii critice de transformare martensitica inaintea aplicarii curentului de tratament post sudare. Aplicarea curentului post sudare nu trebuie facuta inainte de solidificarea nucleului topit, intre timpul de curent principal si timpul de curent post sudare fiind o pauza de citeva perioade pentru solidificarea nucleului si formarea punctului sudat, in functie de materialul de baza si grosimea acestuia. De asemenea curentul post sudare nu trebuie sa determine retopirea punctului sudat si nu trebuie ca incalzirea sa fie peste temperature de austenitizare a materialului de baza, a otelului. Alegerea parametrilor pentru tratamentul post sudare (timp - curent post sudare, respective timp de pauza intre curenti) difera de la un material la altul si se determina prin incercari tehnologice de sudare pina la obtinerea rezultatelor corespunzatoare.

2.3.4.6. Curentul de sudare. Otelurile acoperite necesita folosirea unor curenti de sudare mai mari decit otelurile neacoperite. Prezenta metalului topit a acoperirilor la interfetele de contact a tablelor respectiv dintre electrozi si table– table are ca effect fenomenul de suntare a curentului de sudare. Metalul topit al acoperirii este dislocat (impins), sub actiunea fortei de apasare, din zona de sub electrozii de contact si formeaza un inel toroidal in jurul nucleului sau a punctului de sudura ce urmeaza a fi realizat. Metalul topit al acoperirii are o rezistenta electrica mai mica decit a metalului de baza. Rezulta astfel o suntare a curentului de sudare care conduce la reducerea densitatii de current necesare pentru topirea materialului de baza si formarea nucleului de metal topit. Din acest motiv este necesar un current de sudare mai mare sau un timp de sudare mai lung sau ambele dupa caz. Valorile celor doi parametri principali de sudare trebuie sa fie cu atit mai ridicate cu cit stratul de acoperire este mai gros. In cazul otelurilor de rezistenta cu mult carbon (HS steel) rezistivitatea electrica a materialului este mai mare ca la otelurile nealiate cu putin carbon. Din acest motiv otelurile HS acoperite pot cere un nivel de current mai redus decit otelurile acoperite cu putin carbon, pentru grosimi identice de material, pentru realizarea unui nucleu sau a unui punct sudat de diametru similar. Unele acoperiri cresc aria de contact cu fata activa a electrodului de contact ceea ce conduce de asemenea la descresterea densitatii de curent cu efectele negative privind conditiile de topire si formare a nucleului comparativ cu otelurile neacoperite. Acest aspect impune cresterea corespunzatoare a curentului de sudare pentru rezolvarea problemei. Dar un current crescut in acest caz are influenta negativa privind incalzirea electrodului de contact cu efecte asupra reducerii duratei de viata a electrodului sau a numarului de puncte ce pot fi

realizate între două reascutiri. Domeniul de lucru privind valoarea curentului de sudare la table acoperite este mai îngust decât pentru oțelurile neacoperite limitând gama de parametric de sudare pentru un electrod dat, o grosime de material sau un anumit tip de acoperire. Oțelurile acoperite cu zinc sau cu aliaje pe baza de zinc cer curenti de sudare mai mari decât oțelurile neacoperite.

Oțelurile acoperite cu cadmiu sau staniu cer regimuri de sudare similar cu cele acoperite cu zinc, dar folosind un curent de sudare mai redus ca la acestea. Oțelurile acoperite cu aluminiu sau aliaje de aluminiu pot necesita curent de sudare mai ridicat comparative cu acoperirile cu zinc sau neacoperite. Oțelurile acoperite cu aliaj de aluminiu-zinc cer un curent de sudare ușor mai redus decât oțelurile acoperite cu zinc. Regimurile de sudare pentru oțelurile acoperite cu grund pe baza de zinc sau cu composite organice sunt similar cu cele recomandate pentru oțelurile placate cu metale (Cr, Ni, Cu, etc.), dar pot impune curenti de sudare mai mici.

Execuția punctelor de sudare în serie sau paralel (puncta successive) poate fi dificilă la sudarea oțelurilor acoperite. Variațiile din circuitul secundar al echipamentului de sudare fac dificil controlul calității calității punctelor sudate datorită neuniformităților de material și deteriorarea electrozilor la diferitele locații ale perechii de puncta sudate. În plus punctele sudate în serie pot conduce la fenomenul de suntare a curentului de sudare între cei doi electrozi de contact, care în cazul oțelurilor acoperite se poate manifesta dovedi mult mai puternic în funcție de proprietățile acoperirilor (rezistivitatea electrică în principal).

2.3.5. Sudarea prin presiune în linie a oțelurilor acoperite. Sudarea în linie este mai dificilă decât sudarea în puncte și impune un control mai bun privind condițiile de sudare. Controlul propriu-zis se referă în special în cazul vitezelor de sudare mari deoarece sudura nu este asistată la fel de bine de forța de apăsare a electrodului ca la sudarea în puncte. Viteze de sudare excesive și curenti de sudare mari pot produce fisurarea sudurilor prin presiune în linie. În plus aderența metalului de acoperire pe suprafața rolelor de contact creează probleme mari cu desfasurarea procesului de sudare dacă nu se iau măsuri de curățire a suprafeței rolelor chiar în timpul sudării. Aceasta este cea mai mare problemă la sudarea prin presiune în linie a tablelor acoperite.

2.3.6. Informații complementare privind sudarea oțelurilor acoperite

B [2]. În practică se întâlnește frecvent problema sudării prin puncta a *tablelor din oțel moale* acoperite cu diferite straturi metalice protectoare ca zinc, plumb, staniu, nichel, crom, etc. În aceste cazuri este posibil ca stratul metallic protector să patrundă atât în suprafața electrodului, micșorându-I astfel proprietățile, cât și în nucleul topit unde prin alierea materialului de bază se modifică proprietățile mecanice. La sudarea acestor table se vor avea în vedere următoarele recomandări:

- La sudarea tablelor de oțel acoperite cu staniu și plumb se folosesc în general același curent de sudare, dar un timp de sudare mai redus respectiv forța de apăsare ușor mai mică comparativ cu sudarea tablelor neacoperite. Pentru a permite solidificarea metalului de acoperire ușor fuzibil (staniu-270°C, plumb-327°C) care se topește în procesul de sudare este necesară creșterea duratei de

menținere a tablelor între electrozii de contact după deconectarea curentului de sudare.

- La sudarea tablelor nichelate sau cromate se obțin rezultate satisfăcătoare doar pentru grosimi mici de material, utilizând un curent de sudare mai mare, timp de sudare mai redus, forța de apăsare mai mică față de sudarea tablelor neacoperite. Și în acest caz timpul de menținere post sudare folosit este mai mare.
- Tablele zincate trebuie sudate în timp scurt pentru a evita evaporarea zincului. În acest sens evident, curentul de sudare este mai mare respectiv forța de apăsare se alege mai mare (regim compatibil cu un regim dur). La sudarea tablelor de grosime mai mare (2mm) zincul se vaporizează parțial, însă în majoritatea situațiilor rămâne încă un strat protector suficient.

Nu trebuie însă să se facă abstracție de faptul că stratul protector de acoperire nu se va deteriora în zona punctelor sudate. Prin urmare se recomandă luarea măsurilor de reacoperire a suprafeței tablelor în zona sudurilor. Este posibilă și procedura inițială de sudare a piesei și apoi acoperirea cu stratul protector. Soluția însă este mai dificilă și mai costisitoare de cele mai multe ori.

C [3]. În practică sunt situații de acoperire a componentelor cu diferite straturi metalice protecoare (zinc, plumb, staniu, nichel, crom, etc. utilizate în special în locuri unde materialul este supus acțiunii unor agenți de coroziune. Întrucât la sudarea acestor componente apare în zona de contact suplimentară, și rezistența electrică (și mecanică) proprie a stratului de acoperire (care de multe ori este mai mare decât a metalului de bază), iar în zona de contact cu electrozii se schimbă mult valoarea rezistenței de contact R_c , la sudarea acestor componente se impune utilizarea unor regimuri de sudare diferite de sudarea pe table neacoperite. În cazul componentelor galvanizate (zincate), datorită temperaturii scăzute de topire respectiv de vaporizare a peliculei de zinc (temperatură de topire-420°C, respective temperatură de vaporizare - 907°C) nu se recomandă utilizarea unor regimuri de sudare dure (???) deoarece acestea duc la volatilizarea zincului în zona punctului sudat. De aceea în acest caz se recomandă utilizarea unor regimuri de sudare moi cu timpi de sudare între 0,5-1,0 secunde respectiv o forță de apăsare mai mare, comparabilă cu forța recomandată pentru oțelurile neacoperite cu cerințe de calitate și rezistență superioare impuse punctului sudat (clasa de calitate I).

În cazul componentelor acoperite cu plumb se recomandă regimuri de sudare caracterizate printr-o forță de apăsare mai mică cu 20-30% comparativ cu sudarea tablelor neacoperite. În cazul componentelor nichelate se recomandă utilizarea unor regimuri dure cu scăderea forței de apăsare. Un rol important în acest caz îl are forma virfului electrodului (se recomandă electrozi cu virf sferic), iar răcirea acestuia să fie cât mai intensă. Se recomandă ca forța de apăsare să se mențină câteva perioade după întreruperea curentului de sudare. Componentele cromate se sudează fără precauții speciale, recomandându-se regimuri de sudare similare cu cele indicate la sudarea componentelor din oțel neacoperite folosite pentru clasa de calitate și rezistență inferioare (clasa III).

D [4]. Problem a sudarii in puncte a tablelor din otel moale acoperite cu diferite straturi metalice protectoare ca zinc, plumb, staniu, nichel, crom, etc. apare frecvent in practica sudarii prin presiune. In asemenea situatii este posibil ca stratul metallic protector sa patrunda atit in suprafata de contact a electrodului, micșorindu-i astfel proprietatile, cit si in nucleul topit, unde prin alierea cu metalul de baza se modifica proprietatile mecanice ale otelului. La sudarea unor asemenea table acoperite trebuie luate in vedere unele aspect de ordin tehnologic prezentate in cele ce urmeaza.

Sudarea in puncte a tablelor zincate prezinta urmatoarele particularitati fata de sudarea tablelor neacoperite:

- Prezenta acoperirii micșoreaza valoarea rezistentei de contact dintre componente, modificind conditiile de incalzire si de sudare;
- Datorita rezistentei de contact reduse este necesara cresterea valorii curentului de sudare, dar si a fortei de apasare (pentru a evita improscarile de metal topit;
- Se inrautatesc conditiile de lucru pentru electrozi, devenind foarte importanta racirea intense a acestora;
- Este necesara o pregatire speciala a electrozilor in vederea sudarii tablelor zincate; dupa curatirea suprafetelor si ajustarea virfului pentru readucerea la dimensiunile initiale se recomanda o rodare a acestora folosind fisii de probe din table zincate care se supraincalzesc treptat prin cresterea lenta a curentului de sudare, pina cind suprafata electrodului se acopera cu un strat subtire de zinc; rodajul se considera incheiat dupa efectuarea a 20-30 de puncta sudate; se pot efectua astfel in continuare un numar de maxim 3000 de puncta la table cu grosimea 2,5 + 2,5mm.

La sudarea tablelor de otel acoperite cu staniu sau plumb se folosesc, in mare, aceeasi curenti de sudare, inasa timpi de sudare mai scurți decit la sudarea tablelor neacoperite. De asemenea forta de apasare este cu 10-15% mai mica. Pentru a permite solidificarea metalului usor fuzibil a celor doua elemente, care se topeste in procesul de sudare, se marestre durata de mentinere a tablelor intre electrozii de contact dupa deconectarea curentului de sudare.

La sudarea tablelor nichelate sau cromate se obtin rezultate satisfacatoare doar pentru grosimi mici, utilizind un current de sudare mai mare, timp de sudare mai scurt si forta de apasare mai mica fata de sudarea tablelor neacoperite. Si in acest caz timpul de forjare a sudurii este mai lung (timpul post sudare fara current).

In concluzie se apreciaza ca sudarea prin presiune in puncte a tablelor acoperite reprezinta un caz particular al sudarii in puncte al tablelor din otel nealiat cu puțin carbon asa numitele table moi. Literatura de specialitate prezinta particularitatile tehnologice specifice sudarii tablelor acoperite care difera semnificativ de la un caz la altul, de la un tip de acoperire la altul, in functie de proprietatile electrice si mecanice ale materialului de acoperire. Asa cum s-a putut vedea din studiul bibliografic prezentat mai sus in unele cazuri informatiile de sudare sunt sumare si uneori chiar contradictorii in ce priveste alegerea unor anumiti parametri de sudare specifici procedeeului de sudare prin presiune,

current de sudare, timp de sudare respectiv forta de apasare si nu in ultimul rind alegerea materialului si a formei la virf a electrozilor de contact.

Prin urmare inainte de sudare este imperios necesar studiul documentar privind sudarea tablelor acoperite pentru cunoasterea problemelor care apar la sudarea acestor materiale si a recomandarilor tehnologice de sudare specifice. Cercetarile trebuie obligatoriu continuate ulterior cu verificarea experimentală a tehnologiilor de sudare pina la obtinerea conditiilor de calitate si de rezistenta impuse punctelor sudate.

2.3.7. Sinteza sudarii prin presiune in puncte a tablelor zincate (galvanizate) Comportarea la sudare - Recomandari tehnologice la sudare

Acoperirea prin zincare a tablelor din otel nealiat cu putin carbon (otel moale), in vederea imbunatatirii rezistentei la coroziune a acestora in exploatare, este procedeul cel mai frecvent intilnit in practica datorita avantajelor tehnico-economice ale procedeuului cit si proprietatilor deosebite si indelungate pe care le ofera acoperirea cu zinc sau aliaje pe baza de zinc. Depunerea stratului de zinc se poate realiza prin zincare la cald sau prin zincare la rece sau galvanizare electrolitica. Cind depunerea se face la rece cu zinc pur tablele zincate sunt cunoscute sub denumirea generica de table galvanizate.

Ca mai toate acoperirile, si acoperirea cu zinc afecteaza atat rezistenta de contact dintre suprafetele tablelor la interfata de contact a acestora cit si rezistenta de contact la interfata electrozi de contact – table (piesa). Este vorba desigur de rezistenta electrica a acestor suprafete de contact. Acoperirea cu zinc produce degradarea mai rapida a electrozilor de contact prin alierea suprafetei active de contact cu materialul de acoperire, zincul, ceea ce conduce la formarea pe suprafata activa in conditiile de sudare a unei pelicule de aliaj Cu-Zn, adica a alamei, aliaj de culoare galbena observat pe suprafata activa a electrozilor in contact cu tabla zincata. Ca urmare a acestei alieri poate rezulta lipirea electrodului de table (fenomenul de “pitting”) si degradarea prematura a suprafetei de contact a acestuia. In plus poate rezulta o aliere a suprafetei tablei acoperite cu zinc cu materialul electrozilor din cupru, conducind la un fenomen similar de formare a aliajului Cu-Zn, deci a alamei, in zona punctului sudat care poate afecta rezistenta la coroziune a punctelor sudate si a zonelor adiacente. Degradarea suprafetei tablei in zona punctului sudat este determinata de asemenea si de fenomenul de topire si evaporare a stratului de zinc din aceasta zona datorita proprietatilor fizice ale zincului legate de temperatura de topire respectiv temperatura de vaporizare care in cazul zincului sunt reduse. Temperatura de topire a zincului este de 419°C respectiv temperatura de vaporizare este de 907°C . In aceste conditii sub actiunea fortei de apasare de la sudare zincul topit poate fi indepartat partial (sau total) de pe suprafata tablei in zona punctului sudat ceea ce creste pericolul de coroziune a tablei in aceasta zona. In timpul sudarii otelului acoperit cu zinc pot aparea emisii de fum si gaze foarte nocive prin fenomenul de vaporizare si oxidare a zincului. Prin urmare se impune luarea masurilor de protectie a personalului prin ventilatia fortata la locul de munca si purtarea mastilor de protectie la gura, respectiv a ochelarilor de protectie. In acest context trebuie mentionat o a treia proprietate a zincului care influenteaza sudarea tablelor zincate si anume rezistivitatea electrica ρ a elementului mai mica decit a metalului de baza. Rezistivitatea acestor oteluri este de $17\mu\Omega\text{cm}$ pe ceta vreme rezistivitatea zincului este de doar $6,01\mu\Omega\text{cm}$. ($\rho_{\text{otel}} = 17\mu\Omega\text{cm}$; $\rho_{\text{zinc}} = 6,01\mu\Omega\text{cm}$; in comparatie $\rho_{\text{fier}} = 9,87\mu\Omega\text{cm}$, $\rho_{\text{crom}} = 12,6\mu\Omega\text{cm}$, $\rho_{\text{staniu}} = 11,5\mu\Omega\text{cm}$ $\rho_{\text{plumb}} = 21,1\mu\Omega\text{cm}$, $\rho_{\text{INOX}} = 55\mu\Omega\text{cm}$).

Urmare a celor prezentate mai sus, sudarea electrica prin presiune in puncte a tablelor acoperite cu zinc (galvanizate) este diferita de sudarea tablelor nealiate cu putin carbon (table moi) si *anume sudarea tablelor zincate este mai dificila decit a tablelor*

obisnuite. In acest context sudarea tablelor zincate la cald este mai dificila decit sudarea tablelor zincate la rece (galvanizate), iar reproductibilitatea, din punct de vedere a rezistentei mecanice si a calitatii, punctelor sudate nu poate fi asigurata sau garantata din acest motiv. Prin urmare sudarea tablelor galvanizate este mai usoara si, nota bene, reproductibila. In plus proprietatile mecanice respectiv calitatea punctelor sudate pe table zincate, indiferent de modul de acoperire, sunt inferioare tablelor obisnuite in conditii similare. Totusi daca se cunosc problemele care apar la sudare si se iau masurile tehnologice corespunzatoare se considera ca sudarea tablelor zincate este buna (Atentie! nu foarte buna).

In continuare se prezinta in acest sens cauzele si fenomenele care fac mai dificila sudarea tablelor zincate (galvanizate) si masurilor tehnologice care se recomanda pentru rezolvarea acestor probleme, conform interpretarii autorului prezentului referat.

2.3.7.1. Cresterea curentului de sudare

Sudarea electrica prin presiune in puncte se bazeaza pe incalzirea si topirea locala a componentelor prin efectul Joule-Lenz (Q) ca urmare a trecerii, pentru o scurta perioada de timp numit timp de sudare t_s , a unui curent de sudare I_s de valori ridicate, mii sau zeci de mii de ampere, prin rezistenta locala de contact R_{co} , relativ mare, dintre componentele de sudat la interfata de contact dintre acestea, contact localizat precis sub actiunea fortei de apasare realizata de catre electrozii de contact din cupru:

$$Q = I_s^2 \cdot R_{co} \cdot t_s \text{ (J)} \quad (3.1)$$

Totodata sub actiunea caldurii degajate in procesul de sudare are loc inevitabil si topirea locala a stratului (peliculei) de zinc atit la interfata dintre componente (tablele zincate) cit si pe suprafata exterioara a tablelor, la interfata de contact electrozi-table zincate, mai mult chiar evaporarea zincului, cunoscute fiind valorile reduse ale temperaturii de topire a zincului, $T_{top} = 419^\circ\text{C}$, respectiv a temperaturii de vaporizare, $T_{vap} = 907^\circ\text{C}$, valori care faciliteaza si favorizeaza aceste fenomene. Topirea stratului de zinc are loc in prima etapa a incalzirii locale a componentelor, inainte de topirea metalului de baza si formarea nucleului de metal topit. Metalul topit (zincul topit) dintre componente este indepartat din zona respectiva sub actiunea fortei de apasare locala exercitate de catre electrozii de contact, acumulindu-se sub forma unui inel toroidal in jurul nucleului sau a punctului de sudura ce urmeaza a fi realizat. Metalul topit al inelului toroidal din zinc are o rezistenta electrica mai mica decit a metalului de baza. Acest lucru favorizeaza si conduce la aparitia fenomenului de suntare a curentului de sudare de catre inelul de zinc topit (vezi capitolul 1), ceea ce determina evident scaderea densitatii de curent necesare pentru topirea materialului de baza si formarea nucleului de metal topit. Se precizeaza faptul ca dupa indepartarea peliculei de zinc din zona respectiva, in prima faza a incalzirii, contactul dintre table poate sa fie asimilat cu un contact dintre doua table neacoperite. Este posibil totusi ca in aceasta zona sa ramina o pelicula subtire de zinc topit (partiala sau totala) care poate reduce foarte mult valoarea rezistentei de contac de pe aceasta interfata

cu efecte negative asupra incalzirii si topirii locale respective a conditiilor de formare a nucleului topit. Se precizeaza ca, conditia necesara de formare a nucleului topit este existenta rezistentei de c de zinc topit ontac dintre componente in zona de sudare, ori diminuarea acesteia sau la limita anularea ei face dificila formarea nucleului topit. Cele doua fenomene prezentate mai sus, reducerea rezistentei de contact respectiv suntarea curentului de catre inelul toroidal de zinc topit, fac dificila topirea si formarea nucleului topit datorita deficitului de caldura necesara pentru topirea locala a metalului de baza. Rezolvarea tehnologica a problemei presupune producerea unui surplus de caldura in zona de sudare care sa asigure topirea si formarea nucleului topit. Acest lucru se poate realiza prin cresterea curentului de sudare, care determina cresterea densitatii de current la valoarea corespunzatoare, prin compensarea fenomenului de suntare de catre inelul de zinc topit, respectiv prin cresterea timpului de sudare care produce o caldura suplimentara prin efectul Joule –Lenz (vezi relatia 3.1), sau ambelor dupa caz prin modificarea simultana a ambilor parametri de sudare curent de sudare-timp de sudare. Cei doi parametri de sudare insa nu pot modificati in orice limite deoarece pot conduce la fenomene nedorite cu efecte negative asupra calitatii punctelor sudate precum expulzarea metalului topit, vaporizarea nepermisa a peliculei protectoare de zinc, lipirea electrozilor de contact de componente, uzura prematura a electrozilor de cupru prin tocire sau prin alierea suprafetei active, formarea defectelor in sudura, etc.. Valorile celor doi parametri principali de sudare trebuie sa fie cu atat mai ridicate cu cit stratul de acoperire este mai gros. Explicatia este data de faptul ca in acest caz are loc cresterea volumului de zinc topit care determina cresterea dimensiunii inelului toroidal din jurul zonei de contact a punctului sudat care conduce la scaderea densitatii de curent necesar la sudare cu toate aspectele negative prezentate mai sus. Acoperirea cu zinc creste de asemenea aria de contact cu fata activa a electrozilor de cupru prin formarea la interfata electrod-tabla a inelului toroidal, printr-un mecanism asemanator cu cel descris mai sus ceea ce conduce de asemenea la reducerea densitatii de curent cu efectele negative privind conditiile de topire si formare a nucleului comparativ cu otelurile neacoperite dar si a pericolului de lipire a electrozilor de table. (Acumularea zincului topit in aceasta zona ca urmare a refularii lui de sub electrizii de contact este confirmata si se poate constata dupa realizarea punctului sudat prin formarea la exteriorul punctului sudat pe circumferinta acestuia a unui strat mai gros de zinc solidificat sau uneori formarea unor acumulari, umflaturi cu aspect bombat a zincului solidificat). Acest aspect presupune de asemenea cresterea corespunzatoare a curentului de sudare pentru rezolvarea problemei. Dar un curent de sudare mai mare in acest caz produce incalzirea suplimentara a electrozilor de contact cu efect asupra reducerii timpului de utilizare a electrozilor sau a numarului de puncte intre doua reascutiri.

Domaniul de lucru privind valoarea curentului de sudare respectiv a timpului de sudare in cazul tablelor zincate este mai mic decit pentru otelurile neacoperite ceea ce limiteaza posibilitatile de reglare a parametrilor de sudare pentru un diametru de electrod respectiv o grosime de material de baza.

2.3.7.2. Cresterea fortei de apasare a electrozilor de contact

La sudarea tablelor zincate se recomanda folosirea unor forte de apasare a electrozilor de contact superioare valorilor folosite la sudarea otelurilor neacoperite pentru aceeasi grosime de material de baza. La prima vedere s-ar parea ca aceasta recomandare este gresita daca se are in vedere ca prin cresterea fortei de apasare are loc reducerea rezistentei de contact dintre componente ceea ce ar duce in final la diminuarea caldurii degajate prin efect Joule-Lenz necesare pentru incalzirea locala si formarea nucleului topit la interfata componentelor. In paragraful anterior (§ 2.3.7.1) s-a demonstrat ca datorita efectului de suntare a curentului de sudare de catre inelul toroidal de zinc topit format in jurul suprafetei de contact intim dintre componente are loc scaderea curentului de sudare real si deci scaderea prin efect Joule-Lenz a caldurii degajate in zona respectiva cu consecintele negative privind asigurarea conditiilor de formare a nucleului topit respectiv a punctului sudat. In plus o forta de apasare mai mare ar conduce si la pericolul de expulzare exploziva a zincului topit. Aceste aspecte ar conduce la concluzia ca la sudarea tablelor zincate forta de apasare ar trebui sa fie mai mica si nu mai mare comparativ cu sudarea tablelor neacoperite.

Cresterea fortei de apasare inasa este corecta si recomandata la sudarea tablelor zincate pentru obtinerea unor rezultate corespunzatoare la sudarea electrica prin presiune in puncte a acestor materiale. Explicatia este data in cele ce urmeaza.

Prin cresterea fortei de apasare a electrozilor de contact creste presiunea specifica in zona de contact dintre componente ceea ce conduce la o mai buna indepartare a peliculei de zinc topit din aceasta zona cea care este responsabila in mare masura de reducerea importanta a rezistentei de contact cu consecintele negative asupra caldurii produse prin effect Joule-Lenz deja cunoscute. Un fenomen asemanator are loc si la interfata electrocomponente vizibil dupa racirea punctului sudat printr-un strat mai gros de zinc solidificat pe marginea punctului pe suprafata exterioara a tablei zincate. Prin urmare cresterea fortei de apasare imbunatateste conditiile locale de incalzire prin cresterea rezistentei de contact. O alta ipoteza privind efectul benefic al cresterii fortei de contact la sudarea tablelor zincate ar putea fi legat de reducerea rezistentei de contact dintre componente, (vezi influenta forte de apasare, capitolul 1) care duce la diminuarea fenomenului de suntare a curentului de sudare prin inelul toroidal de zinc topit format in jurul suprafetei de contact ceea ce determina cresterea densitatii de curent si prin urmare incalzirea locala mai puternica a tablelor in zona de contact cu imbunatatirea conditiilor de formare a nucleului topit si ulterior prin racire a punctului sudat. Care din cele doua fenomene (ipoteze) prezentate mai sus are o pondere mai mare este greu de precizat in aceasta etapa si nu este explicata in literatura de specialitate consultata respectiv ar cere studii si cercetari mai aprofundate. Oricum prin cresterea fortei de apasare la sudarea tablelor zincate se imbunatateste rezistenta si calitatea punctelor sudate fiind recomandata in literatura de specialitate fara echivoc.

2.3.7.3. Timpul de sudare (timpul de curent). La sudarea electrica prin presiune in puncte a tablelor zincate (galvanizate) se recomanda folosirea unui timp de sudare mai lung decit pentru otelurile neacoperite. Valoarea timpului de sudare va creste o data cu cresterea grosimii stratului de acoperire. Cresterea timpului de sudare pe de alta parte ar

putea conduce la o degradare mai pronuntata a stratului de zinc din zona punctului sudat cu efecte asupra rezistentei la coroziune.

2.3.7.4. Timpul de mentinere post sudare. La sudarea tablelor zincate se recomanda alegerea unui timp de mentinere a apasarii electrodului de contact dupa intreruperea curentului de sudare pina la solidificarea nucleului topit respectiv a stratului de zinc topit. Este interzisa anulara fortei de apasare o data cu intreruperea curentului care poate conduce la expulzari ale metalului topit, respectiv la defecte de tipul fisurilor si retasurilor in punctul sudat sau la limata la ruperea punctului imediat dupa sudare daca acesta este supus unei solicitari exterioare nedorite (rezultata din pozitionarea componentelor sau din tensiunile interne introduce la sudare). Acest aspect este mult mai important la sudarea tablelor zincate comparativ cu tablele neacoperite.

2.3.7.5. Panta de crestere a curentului de sudare (UP SLOPE). Cresterea brusca a curentului de sudare de valoare relativ mare poate conduce la topirea si vaporizarea exploziva a peliculei de zinc de pe suprafata tablelor acoperite. De aceea in cazul sudarii tablelor zincate se recomanda utilizarea unei pante de crestere a curentului de sudare reglabila in functie de aplicatia data astfel incit sa se evite fenomenul prezentat mai sus. Timpul de crestere a curentului de sudare poate fi de ordinul perioadelor, 1 perioada fiind egala cu 0,02s, in functie de grosimea stratului de zinc.

2.3.7.6. Efectul de suntare a stratului de zinc. La sudarea tablelor zincate fenomenul de suntarea a stratului de zinc de pe suprafata tablelor in cazul sudarii punctelor invecinate este mai puternic decit in cazul sudarii tablelor neacoperite, daca distanta dintre cele doua puncte este prea mica. Efectul de suntare mai puternic in acest caz este determinat de rezistivitatea mult mai scazuta a zincului, $\rho_{\text{zinc}} = 6,01 \mu\Omega\text{cm}$, comparativ cu rezistivitatea metalului de baza, otelul moale, $\rho_{\text{otel}} = 17 \mu\Omega\text{cm}$. Aceasta face ca o parte din curentul de sudare sa se inchida prin pelicula de zinc de pe suprafata tablei si punctul realizat anterior ceea ce conduce la scaderea curentului de sudare util pentru topirea si formarea corecta a nucleului de metal, respective a dimensiunilor punctului sudat. Efectul de suntare este cu atat mai puternic cu cit grosimea stratului de zinc de pe suprafata tablei este mai mare. Acest efect mai este influentat de diametrul la virf al electrodului respectiv de distanta dintre punctele invecinate. Pentru compensarea efectului de suntare dat de pelicula de zinc se recomanda folosirea unui curent de sudare mai mare (alt argument pentru justificarea cresterii curentului la sudarea tablei zincate), respective cresterea distantei dintre punctele invecinate.

2.3.7.7. Table zincate la cald sau table zincate la rece (galvanizate). La sudarea electrica prin presiune in puncte se recomanda utilizarea tablelor galvanizate care asigura calitatea si reproductibilitatea cea mai buna a punctelor sudate. In acest caz grosimea stratului de zinc este mai mica, de ordinul micronilor (in general sub 10-20 μm) si mai uniforma ca distributie pe suprafata tablei ceea ce constituie un avantaj la sudarea prin presiune in puncte. Sudarea prin presiune in puncte a tablelor zincate la cald trebuie evitata pe cit posibil datorita proprietatilor mecanice de rezistenta si a calitatii mai reduse a punctelor sudate. In plus reproductibilitatea sudarii nu este garantata, putind diferi mult de la un punct de sudura la altul. Explicatia este data de grosimea mult mai mare a stratului de zinc

de pe suprafata tablelor in cazul zincarii la cald respectiv a neuniformitatii mari a grosimii acestui strat de la un punct la altul pe suprafata tablei. Prin urmare sudarea tablelor zincate la cald este mai dificila decat sudarea tablelor galvanizate, iar regimurile tehnologice de sudare pentru cele doua moduri de zincare difera relativ mult, tabelul 2.1.

Tabelul 2.1. Studiu comparativ între tehnologia de sudare a tablei neacoperite și a tablei zincate

s	d _e	I _s	t _s	F _{ap}	Metalul de bază	Obs.
mm	mm	kA	per.	daN	Oțel nealiat	Regimul:
1	5	6,5	9	140	Tablă decapată	Regim moale
	5	11	12	280	Tablă zincată la cald	Regim dur
	5	8	12	240	Tablă zincată la rece (galvan)	Regim dur
Obs. Materialul electrodului de contact :						
<ul style="list-style-type: none"> • E CuCr – pentru oțel nealiat • E Cu Cd1 – pentru tabla zincată 						

Cauza sudarii mai dificile este data de influenta stratului de zinc si a grosimii acestuia asupra desfasurarii procesului de sudare, explicate pe larg mai sus in cadrul prezentului subcapitol. Se observa regimul de sudare dur recomandat la sudarea tablei zincate (curentul de sudare respectiv forta de apasare mai mari) comparative cu sudarea tablei decapate, respective regimul de sudare mai dur intre table zincata la cald comparativ cu tabl galvanizata (curentul de sudare mai mare pentru zincarea la cald).

2.3.7.8. *Protectia muncii la sudare.* In timpul sudarii tablelor zincate pot aparea emisii de fum si gaze nocive prin vaporizarea si oxidarea zincului. Prin urmare se impune luarea masurilor de protectie a personalului prin ventilatia fortata la locul de munca si purtarea mastilor de protectie a cailor respiratorii respectiv a folosirea ochelarilor de protectie.

2.3.7.8. *Curatirea suprafetei.* Inainte de sudare se impune curatirea suprafetei tablelor zincate pentru evitarea contaminarii sudurii si afectarea calitatii sudurii. Suprafetele tablelor trebuie curatate de ozixi (rugina), grasime (degresare), urme de uleiuri, vopsele, praf, etc. Curatarea se poate face mecanic sau chimic. Tablele acoperite cu zinc formeaza pe suprafata prin oxidare oxidul de zinc sau asa numita "rugina alba". Petele de rugina alba contin umiditate si cel mai bine pot fi prevenite prin depozitarea tablelor in spatii uscate. Rugina alba actioneaza ca un izolator electric (este neconductoare electric ca orice oxid) si poate impiedica sudarea electrica prin rezistenta a tablelor zincate. Prin urmare se impune cu necesitate indepartarea ruginii albe prin perierea cu perie de sirma sau chimic inainte de sudare. Pentru degresare se poate utiliza alcool tehnic sau acetona.

2.3.7.9. *Recomandari tehnologice suplimentare.* Unele echipamente moderne de sudare prin presiune in puncte, cele cu inverter, (vezi instalatia Inverspotter 14000 – firma Telwin) propun pentru sudarea tablelor zincate utilizarea unor cicluri de sudare diferite de cele clasice intilnite in literaturile de specialitate standard.

a) *Ciclu de sudare a tablelor zincate cu preincalzire.* In acest caz la inceputul sudarii se foloseste un curent de sudare I₁, numit curent de preincalzire, cu valoare inferioara curentului de sudare propriu zis I₂, care realizeaza o preincalzire locala a materialului de baza in zona sudurii. Aceasta preincalzire creeaza premisele topirii locale a peliculei de zinc la interfata de contact dintre componente sau la interfata de contact electrod-

tabla care sub acțiunea forței de apăsare este eliminat din zonele respective, cu efect benefic asupra desfășurării în continuare a procesului de sudare. La aplicarea curentului de sudare, de valoare mult mai mare, în zonele de contact lipsește pelicula de zinc topit sau este mai mică decât grosimea inițială dinaintea de sudare. Aceasta conduce la reducerea pericolului de expulzare a metalului topit respectiv îmbunătățirea condițiilor locale de topire și formare a nucleului, ca efect a unei pelicule de zinc de grosime redusă. Ori se știe că sudarea este cu atât mai ușoară cu cât grosimea stratului de zinc este mai mică. Între timpul curentului de preîncălzire și timpul curentului de sudare propriu zis se poate aplica sau nu un timp de pauză de câteva perioade. Parametrii tehnologici și efectele benefice ale acestui ciclu de sudare se stabilesc și se pot dovedi prin încercări tehnologice de sudare.

- b) *Ciclu de sudare cu impulsuri de curent.* Acest ciclu de sudare constă în aplicarea curentului de sudare sub forma unor impulsuri de curent în locul folosirii unui curent constant cum se face usual. Parametrii tehnologici ai impulsurilor, *curentul de impuls, timpul de impuls, timpul de pauză între impulsuri respectiv numărul de impulsuri*, se aleg în așa fel încât să se obțină dimensiunile punctului sudat recomandat pentru grosimea de material de bază, respectiv pentru obținerea caracteristicilor de rezistență și de calitate impuse punctului sudat. Acest ciclu de sudare permite o conservare mai bună a vârfului electrozilor datorită timpului de pauză “ t_r ” în care electrozii și componentele răcesc zona de contact electrozi-componente, reducând astfel uzura prematură a electrozilor de contact ceea ce este echivalent cu creșterea numărului de puncte sudate între două reascutiri. În cazul tablelor zincate acest aspect este cu atât mai important având în vedere regimul dur de sudare recomandat la sudarea acestor table și care reduce timpul de viață a electrozilor de contact. Reducerea temperaturii de încălzire a electrozilor de contact influențează favorabil reducerea pericolului de aliere a suprafeței active a acestora respectiv a pericolului de lipire a electrozilor de suprafața tablei zincate care influențează aspectul și calitatea punctelor respectiv rezistența la coroziune a acestora. Aceste avantaje se pot verifica și dovedi prin încercări tehnologice de sudare pe table zincate.

În concluzie se apreciază că sudarea prin presiune a tablelor zincate este mai dificilă decât sudarea tablelor decapate, iar sudarea tablelor zincate la cald este mai dificilă decât sudarea tablelor galvanizate. Cunoașterea problemelor care apar la sudarea acestor table și a recomandărilor tehnologice de sudare permit obținerea unor puncte cu caracteristici de rezistență, de calitate și de coroziune corespunzătoare cerințelor impuse prin proiect.

În tabelele 2.2, 2.3, 2.4 se prezintă câteva regimuri de sudare aplicate la sudarea tablelor zincate prezentate în literatură de specialitate, utile la stabilirea mai rapidă și mai facilă a unei tehnologii de sudare.

Tabelul 2.2 – 2.3. Regimuri de sudare table zincate cf. STAS

Prescripții recomandate pentru sudarea a două table zincate la cald cu grosimi cumulate de 0,8...6,5 mm

Tabelul 2.2

Grosimea unei table		Diametrul capului electrodului mm	Condiții de sudare					
peste mm	pînă la, inclusiv mm		Acoperire		Timp de sudare		Acoperire	
			cu zinc	cu aliaj de zinc	cicli (la 50 Hz)	s	cu zinc	cu aliaj de zinc
			Forță, kN					
0,4	0,6	4	1,8	1,1	8	0,16	9	8
0,6	0,8	4	1,8	1,1	10	0,20	10	9
0,8	1,0	5	2,8	1,8	12	0,24	11	10
1,0	1,2	5	2,8	1,8	15	0,30	12	11
1,2	1,6	6	4,0	2,5	20	0,40	15	12
1,6	2,0	7	5,4	3,5	24	0,48	20	14
2,0	2,5	8	7,0	4,5	28	0,56	27	20
2,5	3,25	9	5,7	5,7	35	0,70	34	23

NOTE:

1 La grosimi inegale, prescripțiile pentru sudare se aleg pentru tabla cea mai subțire.

2 Dacă conținutul de carbon este mai mare de 0,15% sau cel de sulf sau de fosfor mai mare de 0,04 %, se sudează cu curent pulsatoriu sau se aplică un tratament termic după sudare.

3 Se recomandă ca, urma lăsată de electrod să nu fie mai mare de 20% din grosimea tablei cu care este în contact.

4 Prescripțiile pentru sudare din tabel sînt pentru un contact bun între table. În caz contrar se mărește forța corespunzător.

Prescripții recomandate pentru sudarea a două table zincate electrolic cu grosimi cumulate de 1 : 3,5 mm

Tabelul 2.3

Grosimea unei table		Diametrul capului electrodului mm	Condiții de sudare			
peste mm	pînă la, inclusiv mm		Forță kN	Timp de sudare		Curent kA
				cicli (la 50 Hz)	s	
0,4	0,6	4	1,5	8	0,16	6,0
0,6	0,8	4	1,5	10	0,20	7,0
0,8	1,0	5	2,4	12	0,24	8,0
1,0	1,2	5	2,4	15	0,30	9,0
1,2	1,6	6	3,4	18	0,36	10,5
1,6	2,0	7	4,6	22	0,44	12,0
2,0	2,5	8	6,0	26	0,52	13,5
2,5	3,0	9	7,6	30	0,60	15,0
3,0	3,5	12	13,6	35	0,70	16,5
3,5	4,0	12	13,6	40	0,80	18,5
4,0	4,75	14	18,5	45	0,90	20

NOTE:

1 La grosimi inegale, prescripțiile pentru sudare se aleg pentru tablea cea mai subțire.

2 Dacă conținutul de carbon este mai mare de 0,15% sau cel de sulf sau de fosfor mai mare de 0,04 %, se sudează cu curent pulsatoriu sau se aplică un tratament termic după sudare.

3 Se recomandă ca, urma lăsată de electrod să nu fie mai mare de 20% din grosimea tablei cu care este în contact.

4 Prescripțiile pentru sudare din tabel sînt pentru un contact bun între table. În caz contrar se mărește forța corespunzător.

Tabelul 2.4. Regimuri de sudare table zincate cf. Normelor AWS

Metal ^d Thickness mm (in.)	Electrode ^c		Net Electrode Force kN (lb)	Weld ^b Time Cycles	Weld Current (Approx.) Amps	Minimum Contact Overlap mm (in.)	Minimum Weld Spacing mm (in.)	Nugget Diameters ^e		
	Face Diameter mm (in.)	Shape ^f						Minimum Satisfactory mm (in.)	Setup mm (in.)	Minimum Shear Strength kN (lb)
0.51 (0.020)	4.76 (0.187)	A, B, E	2.11 (470)	10	10 900	11.2 (0.44)	9.5 (0.37)	3.0 (0.12)	4.6 (0.18)	1.42 (320)
0.64 (0.025)	4.76 (0.187)	A, B, E	2.34 (530)	11	11 500	11.9 (0.47)	15.9 (0.63)	3.3 (0.13)	4.6 (0.18)	2.00 (450)
0.76 (0.030)	6.35 (0.250)	A, B, E	2.56 (580)	12	12 300	11.9 (0.47)	15.9 (0.63)	3.6 (0.14)	5.1 (0.20)	2.56 (580)
0.89 (0.035)	6.35 (0.250)	A, B, E, F	2.78 (620)	13	13 500	13.5 (0.53)	19.0 (0.75)	4.1 (0.16)	6.4 (0.25)	3.34 (750)
1.02 (0.040)	6.35 (0.250)	A, B, E, F	3.11 (700)	13	14 100	13.5 (0.53)	19.0 (0.75)	4.3 (0.17)	6.4 (0.25)	4.11 (920)
1.14 (0.045)	6.35 (0.250)	A, B, E, F	3.34 (750)	14	14 800	15.0 (0.59)	20.3 (0.94)	4.8 (0.19)	6.4 (0.25)	5.12 (1150)
1.27 (0.050)	7.94 (0.313)	A, B, E, F	3.56 (800)	16	15 600	15.0 (0.59)	20.3 (0.94)	5.1 (0.20)	7.9 (0.31)	6.01 (1350)
1.40 (0.055)	7.94 (0.313)	A, B, E, F	4.45 (1000)	17	16 200	16.0 (0.63)	27.0 (1.06)	5.3 (0.21)	7.9 (0.31)	7.12 (1600)
1.52 (0.060)	7.94 (0.313)	A, B, E, F	4.56 (1030)	18	17 000	16.0 (0.63)	27.0 (1.06)	5.6 (0.22)	7.9 (0.31)	8.23 (1850)
1.78 (0.070)	7.94 (0.313)	A, B, E, F	5.45 (1230)	22	18 800	16.8 (0.66)	30.0 (1.18)	6.1 (0.24)	7.9 (0.31)	10.23 (2300)
2.03 (0.080)	7.94 (0.313)	A, B, E, F	6.12 (1380)	25	19 600	18.3 (0.72)	34.9 (1.37)	6.6 (0.26)	7.9 (0.31)	12.01 (2700)
2.29 (0.090)	9.52 (0.375)	A, B, E, F	6.67 (1500)	31	20 400	19.8 (0.78)	39.7 (1.56)	6.9 (0.27)	9.5 (0.37)	15.35 (3450)
2.67 (0.105)	9.52 (0.375)	A, B, E, F	7.67 (1720)	35	22 000	21.3 (0.84)	42.7 (1.68)	7.1 (0.28)	9.5 (0.37)	18.46 (4150)
3.05 (0.120)	9.52 (0.375)	A, B, E, F	9.34 (2100)	42	24 000	22.4 (0.88)	46.0 (1.81)	7.6 (0.30)	9.5 (0.37)	22.24 (5000)

^a Welding parameters are applicable to welding two stack joints of one-sided or two-sided galvanized low-carbon steel.
^b Welding parameters are based on single-phase a-c 60 Hz equipment.
^c Welding parameters are applicable when using electrode materials included in RWMA Classes 1, 2, and 20.
^d Metal thicknesses represent the actual thickness of the sheets being welded. In the case of welding two sheets of different thicknesses, use the welding parameters for the thinner sheet.
^e Nugget diameters are listed as:
 —the minimum diameter that is recommended to be considered a satisfactory weld.
 —the initial aim setup nugget diameter that is recommended in setting up a weld station to produce nuggets that consistently surpass the satisfactory weld nugget diameter for a given number of production welds.
^f Electrode shapes listed include: A—pointed, B—domed, E—truncated, F—radiused. Figure 1 shows these shapes.
^g These recommendations are based on available weld schedules representing recommendations from resistance welding equipment suppliers and users.

Capitolul 3

Prezentarea instalatiei de sudare electrica prin presiune in puncte

INVERSPOTTER 14000 (Firma TELWIN)

	pag.		pag.
1. SIGURANȚA GENERALĂ PENTRU SUDURA PRIN REZISTENȚĂ	63	5.5 CONECTAREA PNEUMATICĂ	66
2. INTRODUCERE ȘI DESCRIERE GENERALĂ	64	5.6 PREDISPUNEREA GRUPULUI DE RĂCIRE (GRA)	66
2.1 INTRODUCERE	64	5.7 CONECTAREA CLEȘTELUI PNEUMATIC	66
2.2 ACCESORII DE SERIE	64	5.8 CLEȘTE „C”: CONECTAREA BRAȚULUI	66
2.3 ACCESORII LA CERERE	64	5.9 CONECTAREA PISTOLETULUI STUDDER CU CABLUL DE MASĂ	66
3. DATE TEHNICE	64	6. SUDURA (Punctare)	66
3.1 PLACĂ DATE	64	6.1 OPERAȚIUNI PRELIMINARE	66
3.2 ALTE DATE TEHNICE	64	6.1.1 Întrerupător general în poziția „O” și lacăt închis!	66
3.2.1 Aparat de sudură în puncte	64	6.1.1.1 Reglarea și fixarea brațului cleștelui „C”	66
3.2.2 Grupul de răcire (GRA)	64	6.1.1.2 Reglările cleștelui „X” (opțional)	66
4. DESCRIEREA APARATULUI DE SUDURĂ ÎN PUNCTE	64	6.1.2 Întrerupătorul general în poziția „I”	66
4.1 ANSAMBLUL APARATULUI DE SUDURĂ ÎN PUNCTE ȘI COMPONENTELE PRINCIPALE	64	6.2 REGLAREA PARAMETRILOR DE PUNCTARE	66
4.2 DISPOZITIVE DE CONTROL ȘI REGLARE	64	6.2.1 Reglarea forței și funcția de apropiere (numai clește pneumatic)	66
4.2.1 Panoul de control	64	6.2.2 Setarea automată a parametrilor de punctare (Curent, Timp)	66
4.2.2 Grupul regulator de presiune și manometrul	65	6.2.3 Setarea manuală a parametrilor de punctare și crearea unui program personalizat	66
4.3 FUNCȚII DE SIGURANȚĂ ȘI INTERBLOCARE	65	6.3 PROCEDEUL DE PUNCTARE	66
4.3.1 Protecții și alarme	65	6.3.1 CLEȘTELE PNEUMATIC	67
5. INSTALAREA	65	6.3.2 PISTOLETUL STUDDER	67
5.1 PREGĂTIRE	65	7. ÎNTREȚINEREA	67
5.2 MODALITĂȚI DE RIDICARE	65	7.1 ÎNTREȚINEREA ORDINARĂ	67
5.3 AMPLASARE	65	7.2 ÎNTREȚINEREA SPECIALĂ	67
5.4 CONECTAREA LA REȚEAUA DE ALIMENTARE	65	7.2.1 Intervenții asupra GRA	67
5.4.1 Recomandări	65	7.2.2 Înlocuirea bateriei interne	68
5.4.2 Ștecherul și priza de rețea	65		

APARATE DE SUDURĂ PRIN REZISTENȚĂ PENTRU UZ INDUSTRIAL ȘI PROFESIONAL

Notă: În textul care urmează va fi folosit termenul de “aparat de sudură în puncte”.

1. SIGURANȚA GENERALĂ PENTRU SUDURA PRIN REZISTENȚĂ

Operatorul trebuie să fie suficient de instruit pentru folosirea în siguranță a aparatului de sudură în puncte și informat asupra riscurilor care pot proveni din procedeele de sudură prin rezistență, asupra măsurilor de protecție și asupra procedurilor de urgență.

Aparatul de sudură în puncte (numai în versiunile acționate cu cilindru pneumatic) este prevăzut cu un întrerupător general cu funcții de urgență, dotat cu lacăt pentru blocarea sa în poziția „O” (deschis).

Cheia lacătului poate fi înmănată numai operatorului expert sau instruit cu privire la sarcinile ce îi sunt încredințate și la posibilele pericole ce derivă din acest procedeu de sudură sau din folosirea neglijentă a aparatului de sudură în puncte.

În lipsa operatorului, întrerupătorul trebuie pus în poziția „O” blocat cu lacătul închis și fără cheie.



- Efectuați instalația electrică potrivit normelor în vigoare și legilor de protecție împotriva accidentelor.
- Aparatul de sudură în puncte trebuie să fie conectat numai la un sistem de alimentare cu conductor de nul legat la pământ.
- Asigurați-vă că priza de alimentare are o împământare corectă.
- Nu folosiți cabluri cu izolația deteriorată sau cu conexiunile slăbite.
- Nu folosiți aparatul de sudură în puncte în spații umede, ude sau în ploaie.
- Conectarea cablurilor de sudură și orice intervenție de întreținere obișnuită la brațe și/sau la electrozi trebuie efectuate cu aparatul de sudură în puncte oprit și deconectat de la rețeaua de alimentare. La aparatele de sudură în puncte acționate cu cilindru pneumatic trebuie blocat întrerupătorul general în poziția „O” cu lacătul din dotare.
- Aceeași procedură trebuie respectată la branșarea la rețeaua hidrică sau la o unitate de răcire cu circuit închis (aparate de sudură în puncte răcite cu apă) și la toate intervențiile de reparație (întreținere specială).



- Nu sudați containere, recipiente sau conducte care conțin sau care au conținut produse inflamabile lichide sau gazoase.
- Evitați să lucrați cu materiale curățate cu solvenți clorurați sau în apropierea acestor substanțe.
- Nu sudați recipiente aflate sub presiune.
- Îndepărtați din zona de lucru toate substanțele inflamabile (de ex. lemn, hârtie, cărpe etc.).
- Asigurați o aerisire adecvată sau mijloace pentru aspirarea fumurilor de sudură în apropierea electrozilor; este necesară o abordare sistematică pentru evaluarea limitelor de expunere la fumurile de sudură în funcție de compoziția și de concentrația acestora, precum și de durata expunerii.



- Protejați întotdeauna ochii cu ochelari de protecție.
- Purtați mănuși și haine de protecție corespunzătoare pentru lucrările de sudură prin rezistență.
- Zgomot: Dacă din cauza operațiilor de sudură deosebit de intensive se constată un nivel de expunere personală zilnică (LEPd) egală sau mai mare de 85db(A), este obligatorie folosirea unor mijloace adecvate de protecție individuală.



- Trecerea curentului de punctare provoacă apariția unor câmpuri electromagnetice (EMF) localizate în jurul circuitului de sudură. Câmpurile electromagnetice pot avea interferențe cu unele aparate medicale (ex. Pace-maker, respiratoare, proteze metalice etc.). Trebuie luate măsuri de protecție adecvate față de persoanele purtătoare ale acestor aparate. De exemplu, trebuie interzis accesul în zona de folosire a

aparatului de sudură în puncte.

Acest aparat de sudură în puncte corespunde standardelor tehnice de produs pentru folosirea exclusivă în medii industriale în scop profesional. Nu este asigurată corespondența cu limitele de bază referitoare la expunerea umană la câmpurile electromagnetice în mediul casnic.

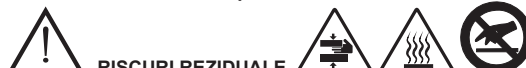
Operatorul trebuie să folosească următoarele proceduri pentru a reduce expunerea la câmpurile electromagnetice:

- Să fixeze împreună, cât mai aproape posibil, cele două cabluri de punctare (dacă sunt prezente)
- Să mențină capul și trunchiul corpului cât mai departe posibil de circuitul de punctare.
- Să nu înfășoare niciodată cablurile de punctare în jurul corpului.
- Să nu puncteze având corpul în mijlocul circuitului de punctare. Să țină ambele cabluri de aceeași parte a corpului.
- Să conecteze cablul de întoarcere al curentului de punctare la piesa de sudat, cât mai aproape posibil de îmbinarea ce se execută.
- Să nu puncteze aproape, așezați sau sprijiniți de aparatul de sudură în puncte (distanța minimă: 50cm).
- Să nu lase obiecte feromagnetice în apropierea circuitului de punctare.
- Distanța minimă:
 - d= 3cm, f= 50cm (Fig. M);
 - d= 3cm, f= 50cm (Fig. N);
 - d= 30cm (Fig. O);
 - d= 20cm (Fig. P) Studder.



- Aparat de clasă A:

Acest aparat de sudură în puncte corespunde cerințelor standardului tehnic de produs pentru folosirea exclusivă în medii industriale și în scop profesional. Nu este asigurată corespondența cu compatibilitatea electromagnetică în clădirile de locuințe și în cele conectate direct la o rețea de alimentare de joasă tensiune care alimentează clădirile pentru uzul casnic.



RISCURI REZIDUALE

RISC DE STRIVIRE A MEMBRILOR SUPERIOARE

Modalitatea de funcționare a aparatului de sudură în puncte și caracterul variabil al formei și dimensiunilor piesei de prelucrat împiedică realizarea unei protecții integrate împotriva pericolului de strivire a membrilor superioare: degete, mână, antebraț.

Riscul trebuie redus prin adoptarea unor măsuri de prevenire adecvate:

- Operatorul trebuie să fie expert sau instruit cu privire la procedeu de sudură prin rezistență cu acest tip de aparat.
- Trebuie efectuată o evaluare a riscului pentru orice tip de lucrare ce trebuie efectuată; este necesară predispunerea unor echipamente și armături pentru susținerea și ghidarea piesei în lucru (cu excepția folosirii unui aparat de sudură în puncte portabil).
- Ori de câte ori conformația piesei o permite, reglați distanța dintre electrozi astfel încât să nu se depășească 6 mm.
- Este interzisă folosirea aparatului de sudură în puncte de către mai multe persoane în același timp.
- Accesul persoanelor neautorizate în zona de lucru trebuie să fie interzis.
- Nu lăsați aparatul de sudură în puncte nesupravegheat: în acest caz este obligatoriu să îl deconectați de la rețeaua de alimentare; la aparatele de sudură în puncte acționate cu cilindru pneumatic duceți întrerupătorul general pe „O” și blocați-l cu lacătul din dotare; cheia trebuie scoasă și păstrată de către responsabil.

- RISCUL DE ARSURI

Anumite părți ale aparatului de sudură în puncte (electrozi - brațe și zone adiacente) pot atinge temperaturi mai mari de 65°C: este necesar să purtați îmbrăcăminte de protecție corespunzătoare.

- RISCUL DE RĂSTURNARE ȘI CĂDĂERE

- Așezați aparatul de sudură în puncte pe o suprafață orizontală cu capacitate corespunzătoare masei; legați paratul de sudură în puncte de planul de sprijin (când este prevăzut în secțiunea „INSTALARE” din acest manual). În caz contrar, cu podele înclinate sau denivelate, cu planuri de sprijin mobile, există pericolul de răsturnare.
- Se interzice ridicarea aparatului de sudură în puncte, cu excepția cazului prevăzut în secțiunea „INSTALARE” din acest manual.

- FOLOSIREA IMPROPRIE

Folosirea aparatului de sudură în puncte pentru orice lucrare diferită de cea prevăzută (sudură prin rezistență în puncte) este periculoasă.



PROTECȚII ȘI ADĂPOSTURI

Protecțiile și părțile mobile ale învelișului aparatului de sudură prin puncte trebuie să fie pe poziție, înainte de conectarea la rețeaua de alimentare.

ATENȚIE! Orice intervenție manuală asupra unor părți mobile accesibile ale aparatului de sudură în puncte, de exemplu:

- Înlocuirea sau întreținerea electrozilor
- Reglarea poziției brațelor sau electrozilor

TREBUIE EFECTUATĂ CU APARATUL DE SUDURĂ ÎN PUNCTE DECONECTAT DE LA REȚEAUA DE ALIMENTARE (ÎNTRERUPĂTORUL GENERAL BLOCAT PE „O” CU LĂCĂTUL ÎNCHIS ȘI CHEIA SCOASĂ LA MODELELE CU ACȚIONARE PRIN CILINDRU PNEUMATIC).

2. INTRODUCERE ȘI DESCRIERE GENERALĂ

2.1 INTRODUCERE

Instalație mobilă pentru sudură prin rezistență (aparat de sudură în puncte) controlată de microprocesor, tehnologie inverter cu frecvență medie, alimentare trifazată și curent continuu de ieșire.

Aparatul de sudură în puncte este prevăzut cu un clește pneumatic răcit cu apă. Cleștele pneumatic conține în interiorul său grupul de transformare și de redresare care permite, față de aparatele de sudură în puncte tradiționale, un curent ridicat de punctare cu absorbții reduse de rețea, folosirea unor cabluri mult mai lungi și ușoară pentru o manevrare mai bună și un amplu câmp de acțiune, câmpuri magnetice minime prezente în jurul cablurilor.

Aparatul de sudură în puncte poate lucra pe table din fier cu conținut scăzut de carbon, pe table din fier zincate, pe table din oțel de mare rezistență și pe table din oțel cu bor. Echipată, de asemenea, cu prize rapide pentru sculele accesorii (Studder, Clește X), permite efectuarea de numeroase lucrări la cald pe tablă și a tuturor lucrărilor specifice din domeniul reparațiilor auto.

Principalele caracteristici ale instalației sunt:

- display LCD retroiluminat pentru afișarea comenzilor și a parametrilor setați;
- selectarea de la panou a modalității de punctare (continuă sau pulsată);
- alegerea automată a parametrilor de punctare în funcție de tablă;
- personalizarea parametrilor de punctare;
- recunoașterea automată a sculei utilizate;
- controlul automat al curentului de punctare;
- controlul manual și automat al forței electrozilor;
- portă „USB”.

2.2 ACCESORII DE SERIE

- Suport brațe;
- Suport cablu clește;
- Grup filtru reductor (alimentare aer comprimat);
- Clește „C” cu brațe standard prevăzut cu cablu cu ștecher deconectabil de la generator;
- Grup de răcire (GRA integrat).

2.3 ACCESORII LA CERERE

- Brațe și electrozi cu lungime și/sau formă diferită pentru clește „C” (vezi lista piese de schimb);
- Stâlp de susținere și descărcător de greutate al cleștelui;
- Clește „X”;
- Kit studder;
- Kit inel clește „C”.

3. DATE TEHNICE

3.1 PLACĂ DATE (Fig. A)

Principalele date referitoare la utilizarea și randamentul aparatului de sudură în puncte sunt menționate pe placa indicatoare prezentată este orientativ în ceea ce privește semnificația simbolurilor și a cifrelor; valorile exacte ale datelor tehnice ale aparatului de sudură în puncte achiziționat trebuie să fie citite direct pe placa indicatoare a aparatului respectiv.

- 1 - Numărul fazelor și frecvența liniei de alimentare.
- 2 - Tensiunea de alimentare.
- 3 - Puterea rețelei de alimentare în regim permanent (100%).
- 4 - Puterea nominală a rețelei cu raport de intermitență de 50%.
- 5 - Tensiunea maximă în gol la electrozi.
- 6 - Curentul maxim cu electrozi în scurt-circuit.
- 7 - Curentul secundar în regim permanent (100%).
- 8 - Deschiderea și lungimea brațelor (standard).
- 9 - Forța minimă și maximă reglabilă a electrozilor.
- 10 - Presiunea nominală a sursei de aer comprimat.
- 11 - Presiunea sursei de aer comprimat necesară pentru a obține forța maximă la electrozi.
- 12 - Debitul apei de răcire.
- 13 - Căderea de presiune nominală a lichidului de răcire.
- 14 - Masa dispozitivului de punctare.
- 15 - Simboluri care se referă la normele de siguranță a căror semnificație este indicată în capitolul 1 „Măsurii de siguranță generale pentru sudura prin rezistență”.

Notă: Exemplul de pe placa indicatoare prezentat este orientativ în ceea ce privește semnificația simbolurilor și a cifrelor; valorile exacte ale datelor tehnice ale aparatului de sudură în puncte achiziționat trebuie să fie citite direct pe placa indicatoare a aparatului respectiv.

3.2 ALTE DATE TEHNICE

3.2.1 Aparat de sudură în puncte

Caracteristici generale

- Tensiune și frecvență de alimentare : 400V(380V-415V) ~ 3ph-50/60 Hz
- Clasă de protecție electrică : I
- Clasă de izolație : H
- Grad de protecție înveliș : IP 21
- Tip de răcire : Apă
- (*) Gabarit (LxWxH) : 820 x 610 x 1150mm
- (**) Greutate : 77kg

Input

- Putere max în scurtcircuit (Scc) : 75kVA
- Factor de putere la Scc (cosφ) : 0.8
- Siguranțe fuzibile de rețea cu întârziere : 32A
- Întrerupător automat de rețea : 25A (“C” - IEC60947-2)
- Cablu de alimentare (L=4m) : 4 x 6 mm²

Output

- Tensiune secundară în gol (U₂ d) : 13V
- Curent max de punctare (I₂ max) : 12.5kA
- Capacitate de punctare : max 3 + 3 + 3 mm
- Raport de intermitență : 3%
- Forță maximă la electrozi : 550 daN

- Lungimea brațului „C” : 95 mm standard
- Reglarea curentului de punctare : automată și programabilă
- Reglarea timpului de punctare : automată și programabilă
- Reglarea timpului de apropiere : automată și programabilă
- Reglarea timpului de rampă : automată și programabilă
- Reglarea timpului de menținere : automată și programabilă
- Reglarea timpului rece : automată și programabilă
- Reglarea numărului de impulsuri : automată și programabilă
- Reglarea forței la electrozi : automată sau manuală.

(*) NOTĂ: dimensiunile de gabarit nu cuprind cablurile și stâlpii de susținere.

(**) NOTĂ: greutatea generatorului nu cuprinde cleștele și stâlpii de susținere.

3.2.2 Grupul de răcire (GRA)

Caracteristici generale

- Presiune maximă (pmax) : 3 bari
- Putere de răcire (P @ 1l/min) : 1 kW
- Capacitate rezervor : 8 l
- Lichid de răcire : apă demineralizată

4. DESCRIEREA APARATULUI DE SUDURĂ ÎN PUNCTE

4.1 ANSAMBLUL APARATULUI DE SUDURĂ ÎN PUNCTE ȘI COMPONENTELE PRINCIPALE (Fig. B)

Pe partea anterioară:

- 1 - Panoul de control;
- 2 - Poarta USB;
- 3 - Priză pentru conectarea cleștelui;
- 4 - Prize rapide pentru conectarea țevilor de apă;
- 5 - Suport cablu clește.

Pe latura posterioară:

- 6 - Întrerupător general;
- 7 - Intrarea cablului de alimentare;
- 8 - Suport brațe;
- 9 - Grup regulator de presiune, manometru și filtru intrare aer;
- 10 - Dopul rezervorului grupului de răcire (GRA);
- 11 - Nivelul apei din GRA;
- 12 - Purjarea aerului din GRA.

4.2 DISPOZITIVE DE CONTROL ȘI REGLARE

4.2.1 Panoul de control (Fig. C)

Descrierea parametrilor de punctare:

POWER: procentul puterii debitate la punctare - range de la 5 la 100%.

Forța la electrozi (modalitatea automată): forța cu care electrozii cleștelui pneumatic apropie tablele de punctat; mașina reglează automat forța setată înainte de a executa punctul.

Tempul de apropiere (modalitatea manuală): timpul în care electrozii cleștelui pneumatic se apropie de tablele ce urmează a fi punctate fără a debita curent; folosește pentru ca electrozii să atingă presiunea maximă, setată prin intermediul regulatorului de presiune, înainte de a debita curent - range de la 200 ms la 1 secundă.

Tempul de rampă: timpul folosit de curent pentru a atinge valoarea maximă setată. În funcția clește pneumatic cu impulsuri, acest timp se aplică numai la primul impuls - range de la 0 la 1 secundă.

Tempul de punctare: timpul în care curentul de punctare este menținut aproape constant. În funcția clește pneumatic cu impulsuri, este timp se referă la durata fiecărui impuls - range de la 10 ms la 1 secundă (*).

Tempul rece sau Pauza: (numai pentru punctarea cu impulsuri) timpul dintre un impuls de curent și următorul - range de la 10 ms la 400 ms.

Numărul de impulsuri: (numai pentru punctarea cu impulsuri) numărul de impulsuri de curent de punctare, fiecare cu o durată egală cu cea a timpului de punctare setat - range de la 1 la 10(**).

Tempul de menținere: timpul în care electrozii cleștelui pneumatic mențin apropiate tablele care au fost de-abia punctate fără a debita curent. În timpul acestei perioade are loc răcirea punctului de sudură și cristalizarea miezului sudat; presiunea în această fază afinează granula de metal sporind-i rezistența mecanică - range de la 40 ms la 1 secundă.

(*) NOTĂ: suma ciclurilor de rampă și a ciclurilor de punctare nu poate depăși 1 secundă.

(**) NOTĂ: numărul maxim de impulsuri setabile depinde de durata fiecărui impuls: timpul total efectiv de punctare nu poate depăși 1 secundă.



1 - Tasta cu funcție dublă

a) FUNCȚIA DE BAZĂ: afișarea secvențială a parametrilor de punctare:

putere/curent debitabil, forță/timp de apropiere, timp de rampă, timp de punctare, timp rece (numai în puls), numărul impulsurilor (numai în puls), timp de menținere.

b) FUNCȚIA SPECIALĂ: modificarea parametrilor de punctare vizualizați și personalizarea unui program.

Pentru a avea acces la această funcție trebuie urmată procedura descrisă în paragraful 6.2.3.

2 - Tasta de selectare a funcției și a sculei utilizate

Funcția clește pneumatic cu curent de punctare continuu:

ciclu de punctare începe cu un timp de apropiere, continuă cu un timp de rampă, un timp de punctare și se termină cu un timp de menținere.

PULSE Funcția clește pneumatic cu curent de punctare „pulsat”:

ciclu de punctare începe cu un timp de apropiere, continuă cu un timp de rampă, un timp de punctare, un timp rece, o serie de impulsuri (vezi „Numărul de impulsuri” din acest paragraf) și se termină cu un timp de menținere.

Această funcție îmbunătățește capacitatea de punctare pe table zincate sau pe table cu pelicule de protecție speciale.

Funcția studder (numai cu pistol studder).

Selectarea acestei funcții este posibilă numai conectând corespunzător pistolul studder la priză respectivă a cleștelui standard (vezi paragraful 5.9 conectarea pistolului studder).

Lucrările care se pot efectua cu această funcție sunt schematizate în panoul de control (fig. C) cu următoarea semnificație:



Punctare cu electrozi corespunzători de: știfturi, nituri, șaibe, șaibe speciale, sârmă ondulată.



Punctare cu electrod corespunzător de șuruburi Ø 4mm.



Punctare cu electrod corespunzător de: șuruburi Ø 5+6mm și nituri Ø 5mm.



Punctare cu electrod corespunzător numai pe o parte a tablei.



Îndreptare table cu electrod de carbon.



Aplatizare table cu electrod corespunzător.



Punctare intermitentă cu electrod corespunzător pentru peticire pe table.

3 - Taste "cursoare":

Permit deplasarea cursorului în interiorul Display-ului.

4 - Encoder cu funcție dublă:

a) FUNCȚIA DE BAZĂ: variația valorilor selectate

Rotind butonul: se selectează o valoare dintre cele disponibile pentru o anumită funcție.

b) FUNCȚIA SPECIALĂ: "ENTER" – confirmarea valorii selectate

Apăsând butonul: se confirmă valoarea selectată.

5 - Tastă cu funcție dublă:

a) FUNCȚIA DE BAZĂ: "MODE" - tastă secvențială

Tasta, apăsată succesiv, permite următoarele modalități:

- EASY (o singură tablă cu studder sau două table egale).
- PRO (două table egale sau diferite).
- MULTI (trei table egale sau diferite).
- CUST (Custom = Lista programelor de punctare personalizate)
- MAINTENANCE (apropierea electrozilor fără a debita curent, setarea reglării automate sau manuale a forței, setarea lungimii brațelor).

NOTĂ: Disponibilitatea sau nu a uneia sau mai multor funcții de bază depinde de scula folosită.

b) FUNCȚIA SPECIALĂ: „MENU”

Pentru a avea acces la funcția „Menu”, țineți apăsată tasta „MODE” cel puțin 3 secunde.

Pentru a ieși din „Menu”, apăsați din nou tasta timp de 3 s.

Tasta permite accesul la următoarele funcții secundare:

- LANGUAGE (setarea limbii utilizatorului)
- DATE (setarea datei curente)
- HOUR (setarea orei curente)
- RECORDING ON? (înregistrarea cronologică a parametrilor de punctare ai lucrării efectuate)

6 - Tasta "ESC":

Permite ieșirea din selecția activă pentru a reveni la pagina inițială, fără a salva eventualele modificări.



ATENȚIE! prin apăsarea simultană a tastelor "ESC" și "MODE" la pornirea mașinii, se va reveni la setările din fabrică; programele personalizate vor fi șterse!

7 - Display:

Permite afișarea tuturor informațiilor necesare utilizatorului pentru a seta lucrarea de punctare în baza funcțiilor utilizate.

8 - Tasta „START”:

Permite mașinii să lucreze la prima pornire sau după o situație de alarmă.

NOTĂ:

Când este nevoie, operatorului i se semnalează pe display că trebuie să apese butonul „START” pentru a putea folosi mașina.

9 - Led alarmă generală, led punctare, led înregistrare:

Ledul galben de alarmă generală : se aprinde la intervenția protecțiilor termostatiche,

intervenția alarmelor din cauza supra-tensiunii, a sub-tensiunii, lipsa fazei, lipsa aerului, lipsa apei, scurt-circuit accidental al circuitului de punctare.

Ledul roșu "punctare": se aprinde pe toată durata ciclului de punctare.

REC

Ledul roșu „REC” (înregistrare): se aprinde când mașina este setată pentru a înregistra parametrii punctelor care vor fi executate.

NOTĂ:

Înregistrarea se face numai pe memorie USB.

4.2.2 Grupul regulator de presiune și manometrul (fig. B - 9)

Permite reglarea presiunii exercitate la electrozii cleștelui pneumatic acționând asupra butonului de reglare (numai pentru cleștele pneumatic în modalitatea „Manuală”).

4.3 FUNCȚII DE SIGURANȚĂ ȘI INTERBLOCARE

4.3.1 Protecții și alarme (TAB. 2)

a) Protecția termică:

Intervine în cazul supra-încălzirii aparatului de sudură în puncte provocate de lipsa sau debitul insuficient al apei de răcire sau de un ciclu de lucru superior limitei admise.

Intervenția este semnalată de aprinderea ledului galben pe panoul de comandă.

Alarma este afișată pe display cu:

AL 1 = alarmă termică mașină.

AL 2 = alarmă termică clește.

AL 5 = alarmă termostat de siguranță.

AL 8 = alarmă termică studder.

EFFECT: blocarea mișcării, deschiderea electrozilor (cilindru la evacuare); blocarea curentului (sudura oprită).

RESTABILIRE: manuală (acționarea butonului „START” după revenirea la limitele de temperatură admise - stingerea ledului galben).

b) Întrerupător general:

- Poziția „O” = deschis poate fi blocat cu lacătul (vezi capitolul 1).

ATENȚIE! În poziția „O” bornele interne (L1+L2+L3) de conectare a cablului

de alimentare sunt sub tensiune.

- Poziția „I” = închis: aparat alimentat, dar nu în funcțiune (STAND BY - este necesară apăsarea butonului „START”).

- Funcție urgentă

Cu aparatul de sudură în puncte în funcțiune deschiderea (poz. „I” => poz. „O”) determină oprirea acestuia în condiții de siguranță:

- curent oprit;
- deschiderea electrozilor (cilindru la evacuare);
- repornire automată oprită.

c) Siguranță aer comprimat

Intervine în cazul lipsei sau căderii de presiune ($p < 3$ bari) a alimentării cu aer comprimat;

Intervenția este semnalată pe display cu **AL 6** = alarmă lipsă aer

EFFECT: blocarea mișcării, deschiderea electrozilor (cilindru la evacuare); blocarea curentului (sudura oprită).

RESTABILIRE: manuală (acționarea butonului „START”) după revenirea la limitele de presiune admise (indicație manometru >3bari).

d) Siguranță grup de răcire

Intervine în cazul lipsei sau căderii de presiune a apei de răcire;

Intervenția este semnalată pe display cu **AL 7** = alarmă lipsă apă.

EFFECT: blocarea mișcării, deschiderea electrozilor (cilindru la evacuare); blocarea curentului (sudura oprită).

RESTABILIRE: umpleți cu lichid de răcire, apoi opriți și porniți aparatul (vezi și Par. 5.6 „predispunerea grupului de răcire”).

e) Siguranță scurtcircuit la ieșire (numai clește pneumatic)

Înainte de efectuarea ciclului de sudură, aparatul controlează ca polii (pozitiv și negativ) ai circuitului secundar de punctare să fie lipsite de puncte în contact accidental.

Intervenția este semnalată pe display cu **AL 9** = alarmă scurtcircuit la ieșire.

EFFECT: blocarea mișcării, deschiderea electrozilor (cilindru la evacuare); blocarea curentului (sudura oprită).

RESTABILIRE: manuală (acționarea butonului „START” după îndepărtarea cauzei scurtcircuitului).

f) Protecție lipsă fază

Intervenția este semnalată pe display cu **AL 11** = alarmă lipsă fază.

EFFECT: blocarea mișcării, deschiderea electrozilor (cilindru la evacuare); blocarea curentului (sudura oprită).

RESTABILIRE: manuală (acționarea butonului „START”).

g) Protecție supra și sub tensiune

Intervenția este semnalată pe display cu **AL 3** = alarmă supra-tensiune și cu **AL 4** = alarmă sub-tensiune.

EFFECT: blocarea mișcării, deschiderea electrozilor (cilindru la evacuare); blocarea curentului (sudura oprită).

RESTABILIRE: manuală (acționarea butonului „START”).

h) Butonul „START” (Fig. C - 8).

Este necesară acționarea acestuia pentru a putea comanda operația de sudură în fiecare din următoarele condiții:

- la fiecare închidere a întrerupătorului general (poz. „O” => poz. „I”);
- după fiecare intervenție a dispozitivelor de siguranță/ protecție;
- după revenirea alimentării cu energie (electrică și cu aer comprimat) întreruptă anterior datorită secționării în amonte sau unei avarii.

5. INSTALAREA



ATENȚIE! EFECTUAȚI TOATE OPERAȚIILE DE INSTALARE ȘI CONECTARE ELECTRICĂ ȘI PNEUMATICĂ NUMAI CÂND APARATUL DE SUDURĂ ÎN PUNCTE ESTE OPRIT ȘI DECONECTAT DE LA REȚEAUA ALIMENTARE.

LEGĂTURILE ELECTRICE ȘI PNEUMATICE TREBUIE SĂ FIE EFECTUATE NUMAI DE CĂTRE PERSONAL EXPERT SAU CALIFICAT.

5.1 PREGĂTIRE

Dezambalați aparatul de sudură în puncte, montați piesele detașate aflate în ambalaj, după cum se arată în acest capitol (Fig. D).

5.2 MODALITĂȚI DE RIDICARE (Fig. E).

Ridicarea aparatului de sudură în puncte trebuie efectuată cu funie dublă și cârlige având dimensiuni corespunzătoare greutateii mașinii, folosind inelele M12.

Este strict interzisă legarea aparatului de sudură în puncte cu modalități diferite de cele indicate.

5.3 AMPLASARE

Rezervați zonele de instalare o suprafață suficient de amplă și fără obstacole pentru a garanta accesul la panoul de comandă, la întrerupătorul general și la zona de lucru în deplină siguranță.

Asigurați-vă că nu există obstacole în fața deschizăturilor pentru intrarea și ieșirea aerului de răcire; în același timp asigurați-vă că nu se aspiră prafuri conductoare, aburi corozivi, umiditate, etc.

Poziționați aparatul pe o suprafață plană din material omogen și compact menită să suporte greutatea acestuia (vezi „datele tehnice”) pentru a evita pericolul de răsturnare sau deplasările periculoase.

5.4 CONECTAREA LA REȚEAUA DE ALIMENTARE

5.4.1 Recomandări

Înainte de efectuarea oricărei legături electrice, controlați ca tensiunea și frecvența rețelei disponibile la locul instalării să corespundă cu datele de pe placa indicatoare a aparatului de sudură în puncte.

Aparatul de sudură în puncte trebuie să fie conectat numai la un sistem de alimentare cu conductor de nul legat la pământ.

Pentru a garanta protecția față de contactul indirect folosiți întrerupătoare diferențiale de tipul:

- Tipul A () pentru aparate monofazate;
- Tipul B () pentru aparate trifazate.

- Aparatul de sudură în puncte nu corespunde cerințelor normei IEC/EN 61000-3-12. Dacă acesta este conectat la o rețea de alimentare publică, instalatorul sau utilizatorul trebuie să verifice dacă aparatul de sudură în puncte poate fi conectat (dacă este necesar, consultați societatea de distribuție).

5.4.2 Ștecherul și priza de rețea

Conectați cablul de alimentare un ștecher standard (3P+T) cu capacitate corespunzătoare și predispuși o priză de rețea protejată cu siguranță fuzibile sau cu un întrerupător automat magnetotermic; borma de împământare trebuie conectată la conductorul de împământare (galben-verde) al liniei de alimentare.

Capacitatea și caracteristica intervenției siguranțelor fuzibile și a întrerupătorului magnetotermic sunt menționate în paragraful „ALTE DATE TEHNICE”.



ATENȚIE! Nerespectarea regulilor poate duce la nefuncționarea sistemului de siguranță prevăzut de fabricant (clasa I) cu riscuri grave

pentru persoane (de ex. electrocutare) sau pentru obiecte (de ex. incendiu).

5.5 CONECTAREA PNEUMATICĂ

- Predispuneți o linie de aer comprimat cu presiunea de exercițiu de 8 bari.
- Montați pe grupul filtru reductor unul dintre racordurile de aer comprimat avute la dispoziție pentru a vă adapta la suporturile de prindere aflate la locul instalării.

5.6 PREDISPUNEREA GRUPULUI DE RĂCIRE (GRA)



ATENȚIE! Operațiunile de umplere trebuie efectuate când aparatul de sudură este oprit și deconectat de la rețeaua alimentară.

Evitați folosirea lichidelor antigel conductoare de electricitate.

Folosiți numai apă demineralizată.

- Deschideți supapa de evacuare (Fig. B-12).
- Efectuați umplerea rezervorului cu apă demineralizată prin bușon (Fig. B-10): capacitatea rezervorului = 8 l; acordați atenție pentru a evita ieșirea excesivă a apei la sfârșitul umplerii.
- Închideți dopul rezervorului.
- Închideți supapa de evacuare.

5.7 CONECTAREA CLEȘTELUI PNEUMATIC (Fig. F)



ATENȚIE! Prezență tensiune periculoasă ! Evitați cu desăvârșire conectarea la prizele aparatului de sudură a unor ștecheri diferite de cele prevăzute de fabricant. Nu încercați să introduceți niciun fel de obiect în prize!

- Aparat deconectat de la rețeaua de alimentare.
- Introduceți ștecherul polarizat al cleștelui în priza aparatului de sudură în puncte, apoi ridicați cele două părghii până când obțineți fixarea completă a ștecherului.
- (dacă sunt prezente) introduceți țevile de răcire a apei (*), respectând culorile (țeava albastră pe priza albastră, țeava roșie pe priza roșie). Verificați ca prinderea rapidă a țevilor să se efectueze corect.

NOTĂ (*): dacă țevile pentru apă nu sunt introduse, cleștele NU se răcește corect, având drept consecință o solicitare termică dăunătoare pentru părțile electrice.

5.8 CLEȘTE „C”: CONECTAREA BRAȚULUI



ATENȚIE! Risc de strivire a membrilor superioare! Respectați strict succesiunea instrucțiunilor de mai jos!

- Aparat deconectat de la rețeaua de alimentare.
- Rotiți opritorul ca în fig. G1.
- Dacă este folosit, asamblați suportul cleștelui (Fig. G2).
- Introduceți brațul în locașul respectiv, înclinându-l corespunzător (Fig. G3).
- Aliniați brațul la electrodul pistonului și strângeți opritorul (Fig. G4-A).
- Conectați țevile de apă la cuplajele rapide respective (Fig. G4-B).
- Verificați ca prinderea rapidă a țevilor să fie efectuată corect.
- Dacă este folosit, asamblați mânerul suportul cleștelui pe partea corespunzătoare (Fig. G5).

NOTĂ: dacă țevile pentru apă nu sunt introduse, cleștele NU se răcește corect, având drept consecință o solicitare termică dăunătoare pentru părțile electrice.

5.9 CONECTAREA PISTOLETELUI STUDDER CU CABLUL DE MASĂ



ATENȚIE! Risc de strivire a membrilor superioare! Respectați strict succesiunea instrucțiunilor de mai jos!

- Aparat deconectat de la rețeaua de alimentare.
- Conectați cleștele pneumatic standard prevăzut pentru aparat și scoateți brațul fix (Fig. H1).
- Poziționați cleștele pe o suprafață plană din material omogen și compact pentru a evita pericolul căderilor sau deplasărilor periculoase.
- Scoateți brațul mobil, deșurubând tija pistonului, acționând cu o cheie pe locașul respectiv (Fig. H2).
- Conectați cablul de masă al pistoletului studder, înșurubând papucul de cablu la tija pistonului (Fig. H3).
- Conectați cablul cu pistoletul studder, folosind cuplajul brațului fix. Introducerea se face ca pentru brațul de punctare (Fig. H4).
- Conectați racordul apei între prizele rapide albastră și roșie ale cleștelui (Fig. H5).
- Introduceți conectorul jack al cablului de comandă în priza respectivă a cleștelui (Fig. H6).

6. SUDURA (Punctare)

6.1 OPERAȚIUNI PRELIMINARE

6.1.1 Întrerupător general în poziția „O” și lacăt închis!

Înainte de efectuarea oricărei operații de punctare, sunt necesare o serie de verificări și reglări, de efectuat cu întrerupătorul general în poziția „O” și cu lacătul închis.

Conectări la rețeaua electrică și pneumatică:

- Controlați ca brânșarea electrică să fie efectuată corect potrivit instrucțiunilor precedente.
- Verificați brânșarea la sursa de aer comprimat: efectuați conectarea conductei de alimentare la rețeaua pneumatică și reglați presiunea cu selectorul reductorului până când se citește o valoare în jur de 8 bari (116 PSI) pe manometru.

6.1.1.1 Reglarea și fixarea brațului cleștelui „C”

Această operațiune trebuie efectuată numai în cazul în care, după ce ați blocat brațul după cum se arată în paragraful 5.8, se prezintă oricum o mișcare orizontală a brațului (Fig. Q)

Pentru această operațiune, procedați în felul următor:

- deblocați brațul rotind părghia de deblocare (Fig. R);
- slăbiți știftul (Fig. S-1) și înșurubați veriga (Fig. S-2) cu o optime de tură (aprox. 45 de grade);
- blocați veriga, înșurubând știftul de blocare (Fig. S-1);
- blocați brațul, efectuând operațiunea indicată în (Fig. T).

Această operațiune trebuie efectuată chiar de mai multe ori, înșurubând sau deșurubând veriga (Fig. S-2), până când brațul se prezintă blocat orizontal și, în același timp, părghia de blocare, printr-un efort de rotație adecvat detașării manuale, ajunge la închidere până la știftul de referință (Fig. T-1).

NOTĂ BENE: este important ca, la terminarea operațiunii, părghia să se prezinte fix pe știftul de sfârșit de cursă (Fig. T-1). Această poziție garantează blocarea mecanică în siguranță a brațului în „C”.

6.1.1.2 Reglările cleștelui „X” (opțional):

Așezați între electrozi grosime echivalentă cu grosimea tablelor; verificați ca brațele, apropiate manual, să fie paralele și electrozii pe aceeași axă (vârfurile coincid). Trebuie ținut cont întotdeauna că este necesară o cursă mai mare cu 5-6 mm față de poziția de punctare, pentru a exercita asupra piesei forța prevăzută. Efectuați reglarea, dacă este necesar, slăbind șuruburile de blocare a brațelor care pot fi rotite sau deplasate în ambele sensuri de-a lungul axei lor; la sfârșitul reglării strângeți bine șuruburile sau știfturile de blocare.

6.1.2 Întrerupătorul general în poziția „I”.

Înainte de efectuarea oricărei operații de punctare trebuie efectuate următoarele verificări, cu întrerupătorul general în poziția „I” (ON).

Alinierea electrozilor cleștelui:

- Așezați între electrozi o grosime echivalentă cu grosimea tablelor ce urmează a fi punctate; verificați ca electrozii, apropiați prin funcția de „apropiere” (a se vedea paragraful 6.2.1), să fie aliniați.

- Dacă este nevoie, verificați fixarea corectă a brațului (vezi paragrafele precedente).

Grupul de răcire:

- Verificați funcționarea grupului de răcire și cuplarea corectă a racordurilor rapide a țevilor de apă (două racorduri în generator și două în clește): GRA intră în funcțiune la primul ciclu de punctare și se oprește după un timp prestabilit de inactivitate a aparatului.

IMPORTANT:

În cazul aprinderii alarmei GRA (AL. 7) ar putea fi necesară eliminarea aerului din circuitul hidraulic pentru a porni circulația apei.

Procedura este următoarea:

- Opriți aparatul;
- Deschideți supapa de evacuare (Fig. B-12);
- Porniți din nou aparatul și deschideți GRA;
- Închideți supapa de evacuare imediat ce se termină ieșirea aerului și începe să iasă numai apă.

6.2 REGLAREA PARAMETRILOR DE PUNCTARE

Parametrii care intervin pentru alegerea diametrului (secțiunii) și a etanșării mecanice a punctului sunt următoarele:

- Forța exercitată de electrozi.
- Curentul de punctare.
- Timpul de punctare.

În lipsa unei experiențe specifice, este bine să efectuați anumite probe de punctare asupra unor table de aceeași calitate și grosime cu cele care urmează a fi sudate.

6.2.1 Reglarea forței și funcția de apropiere (numai clește pneumatic)

Reglarea forței se face în modalitate automată sau manuală (acționând asupra regulatorului de presiune al grupului de aer).

Setarea modalității automate (setarea prestabilită) sau manuală poate fi aleasă apăsând de mai multe ori tasta „MODE” (Fig. C-5) până la afișarea mesajului „MAINTENANCE” pe display; apoi, cu cursoroarele poziționați-vă pe „AUTO” și, cu ajutorul encoderului, alegeți „AUTO” sau „MAN”. Apăsăți encoderul pentru a confirma alegerea.

Reglarea automată:

Dacă alegeți „AUTO”, puteți seta valoarea dorită a forței; dacă apăsați butonul din clește, electrozii se apropie cu forța setată fără a debita curent.

În modalitatea „AUTO”, în timpul ciclului de punctare, forța electrozilor este reglată automat potrivit valorilor setate în programul de punctare.

Reglarea manuală:

Dacă alegeți „MAN” puteți seta valoarea forței, acționând manual asupra regulatorului de presiune (Fig B-9): reglați 3 bari și apropiați electrozii prin butonul din clește, apoi citiți pe display valoarea forței obținute; creșteți presiunea și repetați operațiunea de apropiere până când obțineți valoarea forței dorite.

În modalitatea „MAN”, în timpul ciclului de punctare, forța la electrozi va fi cea reglată manual potrivit procedurii descrise anterior.

În Tab. 1 sunt menționate valorile de presiune recomandate în funcție de materialele ce urmează a fi punctate.

Funcția de apropiere:

Permite apropierea electrozilor cu forța setată fără a debita curent.

Se pot apropia electrozii în orice program de punctare prin următoarea procedură (dublu clic):

Apăsați și eliberați butonul din clește și apoi imediat țineți apăsat butonul. Cleștele apropie și menține închiși electrozii până la următoarea eliberare a butonului. Pe display se afișează „SQUEEZING”, iar ledul din clește se aprinde intermitent.



ATENȚIE: folosirea mânușilor de protecție poate face ca apropierea prin dublu clic să fie dificilă. De aceea, se recomandă selectarea funcției de apropiere din interiorul programului „MAINTENANCE”.



ATENȚIE! RISC REZIDUAL! Și în această modalitate de funcționare este prezent riscul de strivire a membrilor superioare: luați măsurile de precauție necesare (vezi capitolul siguranță).

6.2.2 Setarea automată a parametrilor de punctare (Curent, Timp)

(Paragraful 4.2.1 și Fig. C)

Parametrii de punctare sunt reglați în mod automat, selectând grosimea și materialul (*) tablelor de sudat dintre următoarele modalități:

- EASY (două table egale).
- PRO (două table egale sau diferite).
- MULTI (trei table egale sau diferite).

Se consideră corectă execuția unui punct de sudură atunci când, încercând să desprindem tablele, prin tracțiune, se provoacă extragerea miezului punctului de sudură dintr-una din cele două table.



(*) NOTĂ: materialele standard disponibile sunt:

- „Fier” (prescurtat „Fe”): table din fier cu conținut scăzut de carbon;
- „Fe Zn” (prescurtat „Fz”): table zincate din fier cu conținut scăzut de carbon;
- „Hss” (prescurtat „Hs”): table din oțel cu limită de rupere ridicată (700 MPa max);
- „Bor” (prescurtat „Br”): table din oțel cu bor.

6.2.3 Setarea manuală a parametrilor de punctare și crearea unui program personalizat

Se pot seta manual parametrii de punctare pentru a efectua o sudură de probă sau pentru a crea un program personalizat.

Pornind de la modalitatea „Easy, Pro, Multi”, apăsați butonul 1 din fig. C timp de aprox. 3 secunde pentru a intra în modalitatea „MANUAL/PROGR”, apoi selectați cu aceeași tastă parametrul de modificat: apăsați și rotiți encoderul pentru a modifica valoarea, apăsați din nou encoderul pentru a confirma. În această modalitate se pot folosi deja la punctare parametrii aleși, dar nu vor fi memorizați.

Pentru a reveni la modalitatea inițială, apăsați timp de 3 secunde tasta 1 din fig. C; apare „program store?”; alegeți „NO” pentru a NU salva, „YES” pentru a salva cu un nume.

Programul personalizat cu un nume poate fi reutilizat în orice moment în cadrul modalității „CUST”.


6.3 PROCEDEUL DE PUNCTARE

Operațiuni valabile pentru toate sculele, pornind de la modalitățile „Easy, Pro, Multi”:


- Selectați tablele de sudat (materialele și grosimile) cu encoderul.
- Afișați parametrii de punctare prestabilită (Fig. C-1).

- Personalizați, eventual, programul de punctare (a se vedea paragraful precedent).

6.3.1 CLEȘTELE PNEUMATIC

- Alegeți funcția de punctare continuă sau pulsată (Fig. C-2).
- Așezați electrodul brațului fix pe suprafața uneia dintre cele două table de punctat.
- Apăsați butonul de pe mânerul cleștelui obținând:
 - a) Închiderea tablelor între electrozi.
 - b) Pornirea ciclului de punctare cu trecerea curentului semnalată de ledul 

pe panoul de control.

- Eliberați butonul după câteva momente de la stingerea ledului .

- La terminarea punctării se afișează curentul mediu de punctare (excluse rampele inițiale și finale) și forța la electrozi.

La valorile afișate se poate adăuga o „avertizare”, semnalată de ledul roșu din clește, care se aprinde intermitent (a se vedea TAB. 2), în baza rezultatului obținut cu punctarea.

- La terminarea lucrului, așezați cleștele în suportul respectiv aflat în cărucior.



ATENȚIE: prezență tensiune periculoasă ! Verificați întotdeauna integritatea cablului de alimentare a cleștelui; tubul ondulat protector nu trebuie să fie tăiat, rupt sau strivit! Înainte și în timpul folosirii cleștelui, cablul trebuie să fie departe de părți aflate în mișcare, surse de căldură, suprafețe tăioase, lichide etc.



ATENȚIE: cleștele conține ansamblul de transformare, izolație și redresare necesare pentru punctare; în cazul în care aveți îndoieli cu privire la integritatea cleștelui (din cauza unor căderi, șocuri violente etc.), deconectați aparatul de sudură în puncte și consultați un centru de asistență autorizat.

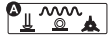
6.3.2 PISTOLETUL STUDDER

ATENȚIE!

- La demontarea și montarea accesoriilor în mandrina pistolului folosiți două chei hexagonale fixe pentru a evita rotirea mandrinei.
- În cazul lucrărilor la uși sau capote, conectați obligatoriu borna de masă pe aceste părți, pentru a evita trecerea curentului prin balamale și, oricum, în apropierea zonei de punctat (trasee lungi ale curentului reduc eficiența punctului).

Conectarea cablului de masă:

- a) Curățați tabla într-un loc cât mai aproape de locul unde se va suda, pe o suprafață corespunzătoare suprafeței de contact a bornei de masă.
- b1) Fixați bara de cupru la suprafața tablei folosind un CLEȘTE DE PUNCTARE ARTICULAT (model pentru suduri).
Ca alternativă la modalitatea „b1” (dificultate de realizare) adoptați următoarea soluție:
- b2) Punctați o șaibă la suprafața tablei pregătite înainte; treceți șaiba prin fanta barei de cupru și blocați-o cu borna din dotare.




Punctarea șaibei pentru fixarea bornei de masă

Montați în mandrina pistolului electrodul special (POZ.9, Fig. I) și introduceți șaiba (POZ.13, Fig. I).

Așezați șaiba în poziția dorită. Puneți în contact, pe aceeași zonă, borna de masă; apăsați pe butonul pistolului, sudând astfel șaiba pe care se efectuează fixarea, după cum s-a arătat mai înainte.




Punctarea șuruburilor, rondelurilor, cuielor, niturilor

Montați electrodul potrivit în mandrina pistolului; introduceți în electrod piesa ce urmează a fi sudată, așezați-o pe tablă în locul dorit; apăsați pe butonul pistolului; eliberați butonul numai după ce timpul reglat s-a scurs (stingerea ledului ).



Punctarea tablelor dintr-o singură parte

Montați electrodul potrivit în mandrina pistolului (POZ.6, Fig. I) și apăsați pe suprafața ce urmează a fi punctată. Acționați butonul pistolului și eliberați butonul numai după ce timpul reglat s-a scurs (stingerea ledului ).

ATENȚIE!

Grosimea maximă a tablei de punctat, dintr-o singură parte: 1+1 mm . Această punctare nu este admisă pe structurile portante ale caroseriei.
Pentru a obține rezultate corecte la punctarea tablei trebuie să luați anumite măsuri de prevedere fundamentale:

- 1 - Legătura cablului de masă să fie impecabilă.
- 2 - Îndepărtați de pe cele două părți ce urmează a fi sudate orice urmă de vopsea, unsoare sau ulei.
- 3 - Părțile ce urmează a fi punctate trebuie să fie în contact între ele, fără „între-fier”; pentru aceasta vă puteți folosi de scule potrivite, dar nu de pistolul de sudură. O presiune prea mare duce la rezultate mai proaste.
- 4 - Grosimea piesei superioare nu trebuie să depășească 1 mm.
- 5 - Vârful electrodului trebuie să aibă un diametru de 2,5 mm.
- 6 - Asigurați-vă că piulița care blochează electrodul este bine strânsă, iar conectorii cablurilor de sudură sunt bine blocați.
- 7 - În timpul punctării, exercitați asupra electrodului o ușoară presiune (3+4 kg). Apăsați butonul pistolului și așteptați până când se termină timpul de sudură, după care puteți îndepărta pistolul.
- 8 - Nu vă îndepărtați mai mult de 30 cm de locul de fixare a masei.



Punctarea și tracțiunea simultană a șaburilor speciale

Această funcție se realizează montând și strângând bine mandrina (POZ.4, Fig. I) pe corpul extractorului (POZ.1, Fig. I); celălalt capăt al extractorului se va strânge bine pe pistol (Fig. I). Introduceți șaiba specială (POZ.14, Fig. I) în mandrină (POZ.4, Fig. I) și blocați-o cu șurubul adecvat (Fig. I). Se punctează în zona dorită, reglând aparatul ca pentru punctarea șaburilor și apoi se începe tracțiunea.
La sfârșit, rotiți extractorul cu 90° pentru a detașa șaiba, care poate fi punctată din nou în altă poziție.



Încălzirea și îndreptarea tablei

În această modalitate operativă, TIMER-ul este dezactivat de default, selectând timpul de sudură, display-ul afișează „inf” = Timp infinit.
Durata operațiunilor este deci manuală, fiind determinată de timpul în care se ține apăsat butonul pistolului.
Intensitatea curentului este reglată automat în funcție de grosimea aleasă a tablei.



Încălzirea tablei

Montați electrodul de carbon (POZ.12, Fig. I) în mandrina pistolului și blocați-l rotind inelul de blocare. Se atinge cu vârful electrodului de carbon zona curățată anterior și se apasă pe butonul pistolului. Se acționează din exterior spre interior, cu o mișcare circulară, încălzind astfel tabla, care va reveni la poziția inițială ca urmare a tensiunilor

induse în tablă.

Pentru a preveni încălzirea prea puternică a tablei, se recomandă să se lucreze pe suprafețe mici și apoi să se răcească imediat zona prelucrată cu o cârpă umedă.



Îndreptarea tablei

În această poziție, folosind electrodul adecvat se pot aplatiza table care au suferit deformări localizate.



Punctarea intermitentă (Peticirea)

Această funcție permite punctarea unor dreptunghiuri mici de tablă pentru a acoperi găurile provocate de rugină sau de alți agenți.

Montați în mandrina pistolului electrodul corespunzător (POZ.5, Fig. I) strângând bine inelul de fixare. Curățați bine zona care vă interesează și asigurați-vă că bucată de tablă este curată și că nu are urme de unsoare sau vopsea.

Așezați piesa în locul dorit, apăsați-o cu electrodul apoi acționați butonul pistolului; ținând tot timpul apăsat butonul, avansați ritmic urmărind intervalele de lucru/pauză date de aparat.

N.B.: În timpul lucrului exercitați o presiune ușoară (3+4 kg); acționați urmărind o linie ideală situată la 2+3 mm de la marginea noii piese de sudat.

Pentru a obține rezultate bune:

- 1 - Nu vă îndepărtați mai mult de 30 cm de locul de fixare a bornei de masă.
- 2 - Utilizați tablă de acoperire cu grosimea max. de 0,8 mm, de preferat din oțel inoxidabil.
- 3 - Asigurați o mișcare ritmică de avans în concordanță cu cadența dictată de aparat. Avansați în timpul pauzei și oprii-vă în timpul punctării.

Folosirea extractorului din dotare (POZ.1, Fig. I)

Acroșarea și tragerea șaburilor

Această funcție se realizează montând și strângând bine mandrina (POZ.3, Fig. I) la corpul electrodului (POZ.1, Fig. I). Se acroșează șaiba (POZ.13, Fig. I), punctată după s-a arătat mai sus și se începe procesul de tragere. La sfârșit, rotiți extractorul cu 90° pentru a detașa șaiba.

Acroșarea și tragerea știfturilor

Această funcție se realizează montând și strângând bine mandrina (POZ.2, Fig. I) la corpul electrodului (POZ.1, Fig. I). Introduceți știftul (POZ.15-16, Fig. I), punctat după cum s-a arătat mai sus, în mandrină (POZ.1, Fig. I), al cărui capăt este tras spre extractor (POZ.2, Fig. I). Când introducerea este completă, eliberați mandrina și începeți tragerea. La sfârșit, trageți mandrina spre extractor și scoateți știftul.

7. ÎNTREȚINEREA



ATENȚIE! ÎNAINTE DE EFECTUAREA OPERAȚIILOR DE ÎNTREȚINERE, ASIGURAȚI-VĂ CĂ APARATUL DE SUDURĂ ÎN PUNCTE ESTE OPRIT ȘI DECONECTAT DE LA REȚEAUA DE ALIMENTARE. Trebuie blocat întrerupătorul în poziția „O” cu lacătul din dotare.

7.1 ÎNTREȚINEREA ORDINARĂ

OPERAȚIUNILE DE ÎNTREȚINERE ORDINARĂ POT FI EFECTUATE DE CĂTRE OPERATOR.

- adaptarea/restabilirea diametrului și a profilului vârfului electrodului;
- înlocuirea electrozilor și a brațelor;
- controlul alinierii electrozilor;
- controlul răcirii cablurilor și a cleștelui;
- evacuarea condensului din filtrul de intrare aer comprimat.
- verificarea periodică a nivelului din rezervorul pentru apa de răcire.
- verificarea periodică a lipsei totale a scurgerilor de apă.
- verificarea integrității cablului de alimentare a aparatului de sudură în puncte și a cleștelui.

7.2 ÎNTREȚINEREA SPECIALĂ

OPERAȚIUNILE DE ÎNTREȚINERE SPECIALĂ TREBUIE SĂ FIE EFECTUATE NUMAI DE PERSONAL CALIFICAT SAU EXPERT ÎN DOMENIUL ELECTRIC ȘI MECANIC.



ATENȚIE! ÎNAINTE DE A ÎNLĂTURA PLĂCILE APARATULUI DE SUDURĂ ÎN PUNCTE SAU ALE CLEȘTELUI PENTRU AVEA ACCES LA INTERIORUL ACESTUIA, ASIGURAȚI-VĂ CĂ APARATUL ESTE OPRIT ȘI DECONECTAT DE LA REȚEAUA DE ALIMENTARE.

Eventualele verificări efectuate sub tensiune în interiorul aparatului de sudură în puncte pot cauza electrocutări grave datorate contactului direct cu părțile sub tensiune și/sau leziuni datorate contactului direct cu părți în mișcare.

Verificați interiorul aparatului de sudură în puncte și al cleștelui periodic sau frecvent, în funcție de utilizare și de condițiile ambientale și îndalurați praful și particulele metalice depozitate pe transformator, modul diode, cutie cu borne alimentare etc. prin insuflarea cu aer comprimat uscat (max 5 bari).

Evitați îndreptarea jetului de aer comprimat pe plăcile electronice; curățați-le pe acestea din urmă cu o perie moale sau cu solvenți corespunzători.

Cu aceste ocazii:

- verificați ca legăturile electrice să nu fie slăbite - oxidate, iar cablurile să nu prezinte daune la nivelul izolației.
- Verificați ca șuruburile de conectare a secundarului transformatorului la bare / trese de ieșire să fie bine strânse și să nu existe semne de oxidare sau de supra-încălzire.

ÎN CAZUL ÎN CARE FUNCȚIONAREA APARATULUI NU ESTE CORESPUNZĂTOARE ȘI ÎNAINTE EFECTUĂRII ORICĂRUI CONTROL MAI SISTEMATIC SAU ÎNAINTE DE A CONTACTA UN CENTRU DE ASISTENȚĂ AUTORIZAT, CONTROLAȚI CĂ:

- Având închis întrerupătorul general al aparatului (poz. „I”) display-ul este aprins; în caz contrar, defecțiunea rezidă în linia de alimentare (cabluri, priză) și ștecher, siguranțe fuzibile, excesivă cădere de tensiune etc.).
- Pe display nu sunt afișate semnalele de alarmă (a se vedea TAB. 2): după încetarea alarmei, apăsați „START” pentru a reactiva aparatul de sudură în puncte; controlați circulația corectă a apei de răcire și, eventual, reduceți raportul de intermitență al ciclului de lucru.
- Elementele care fac parte din circuitul secundar (suporturi port-brate - brate - port-electrozi - cabluri) nu sunt eficiente din cauza șuruburilor slăbite sau a oxidărilor.
- Parametrii de sudură nu sunt adecvați regimului de lucru.

7.2.1 Intervenții asupra GRA

În caz de:

- necesitate excesivă de a restabili nivelul apei din rezervor;
- frecvență excesivă a intervenției alarmei 7;
- scurgeri de apă;

este bine să se verifice eventualele probleme prezente în interiorul zonei grupului de răcire.

Potrivit celor arătate în secțiunea 7.2 în privința atențiilor generale și, în orice caz, după deconectarea aparatului de sudură în puncte de la rețeaua de alimentare, îndepărtați panoul lateral (FIG. L).

Controlați să nu existe scurgeri atât de la conexiuni, cât și de la conducte. În cazul scurgerii de apă, înlocuiți partea deteriorată. Eliminați reziduurile de apă scurse eventual în timpul întreținerii și închideți la loc panoul lateral. Restabiliți apoi funcționarea aparatului de sudură în puncte, folosind informațiile corespunzătoare indicate în paragraful 6 (Punctarea).

7.2.2 Înlocuirea bateriei interne

În cazul în care data și ora nu rămân în memorie, trebuie înlocuită bateria (CR2032 - 3V) aflată pe partea din spate a panoului de control.

Când aparatul este deconectat de la rețeaua de alimentare, scoateți șuruburile panoului de control, scoateți conectorii și înlocuiți bateria.

ATENȚIE! Asigurați-vă că ați cuplat toți conectorii înainte de a monta din nou panoul pe aparat.

FIG. M

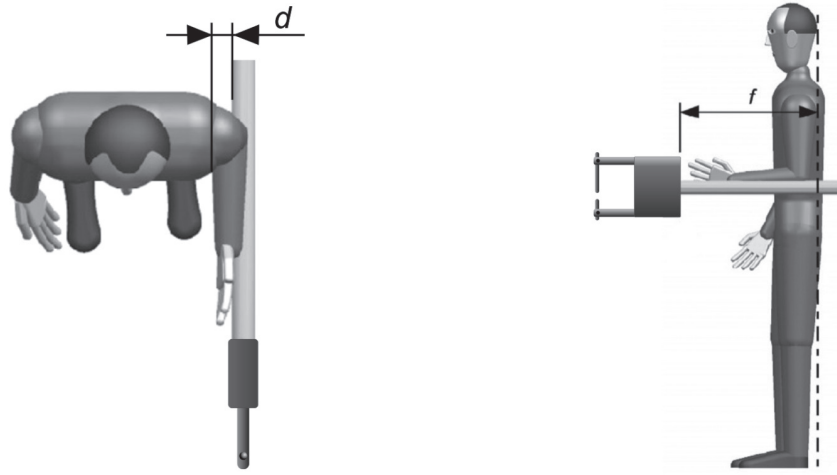


FIG. N

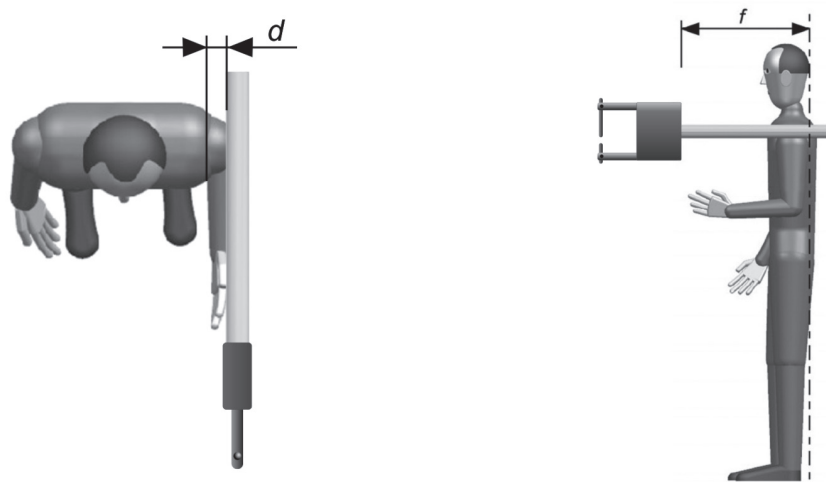
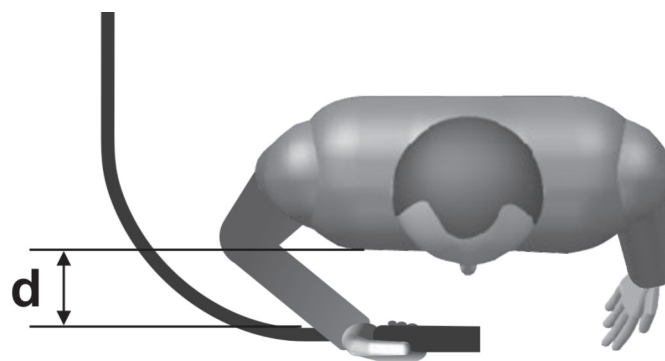


FIG. O



FIG. P



4. Cercetari experimentale

Cercetarile experimentale si-au propus cunoasterea modului de exploatare a instalatiei de sudare prin presiune in puncte INVERSPOTTER 14000 Smart Aqua produsa de firma Telwin-Italia, cunoasterea partilor componente si a performantelor tehnico-functionale, a modului de setare si reglare a functiilor si a parametrilor tehnologici de sudare, a modului de masurare si inregistrare a acestor parametri si nu in ultimul rind insusirea masurilor de protectie a muncii la sudarea cu aceasta instalatie, cu aplicatii la sudarea tablelor zincate galvanizate sau electrogalvanizate. Toate informatiile legate de aceste caracteristici sunt prezentate in capitolul 3.

Instalatia Inverspotter 14000 este o instalatie moderna de sudare de ultima generatie, trifazata in curent continuu cu invertor (frecventa invertorului 8000Hz), de ultima generatie, cu performante ridicate. Sudarea se face in curent continuu spre deosebire de instalatiile de sudare prin presiune in puncte standard sau clasice la care sudare se face de cele mai multe ori in curent alternativ. Aceasta caracteristica a instalatiei, de sudare in curent continuu, ii confera unele avantaje respectiv particularitati tehnologice la sudarea prin presiune in puncte comparative cu sudarea in curent alternativ penrru care sunt prezentate in literatură de specialitate majoritatea tabelelor si a regimurilor tehnologice de sudare.

Principalele avantaje ale mașinii trifazate in curent continuu comparativ cu o mașină standard monofazată sunt:

- încărcare simetrică a rețelei;
- putere aparentă cea mai mică posibilă absorbită de la rețea pentru un curent de sudare tehnologic impus deoarece în circuitul de sudare trece un curent continuu și în curent continuu reactanța circuitului exterior este 0, iar impedanța totală a mașinii este minim posibil;
- factor de putere extrem de ridicat;
- curentul de sudare nu se modifică prin introducerea unui material feromagnetic între brațele mașinii;
- datorită încărcării simetrice a rețelei aceste mașini pot fi construite pentru curenți foarte mari de sudare, până la 200000A, cu aplicații specifice la sudarea în relief cu puncte multiple, sudarea aliajelor din aluminiu specific industriei aeronautice și la sudarea tablelor groase din oțel, respectiv pentru sudarea cu regimuri dure de sudare.

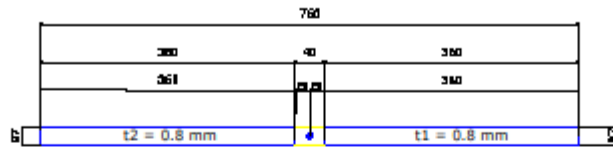
Cercetarile experimentale si-au propus parcurgerea urmatoarelor etape:

- punerea in functiune a instalatiei si cunoasterea modului de exploatare;
- cercetari experimentale pentru determinarea geometriei punctului sudat si analiza metalografica;
- cercetari experimentale pentru incercarile mecanice ale punctelor sudate
- aplicatii la sudarea prin presiune in puncte a doua grinzi executate din profilele ambutisate din tabla zincata galvanizata.

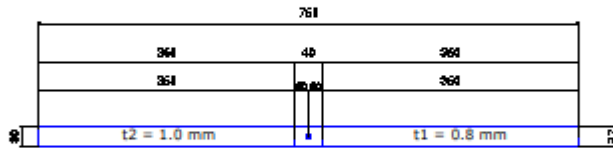
Cercetarile tehnologice s-au facut pentru o gama larga de grosimi de tabla zincate, combinatiile de grosimi fiind prezentate in figurile urmatoare (20 de combinatii).

Forma si dimensiunile probelor pentru incercarea la tractiune forfecare

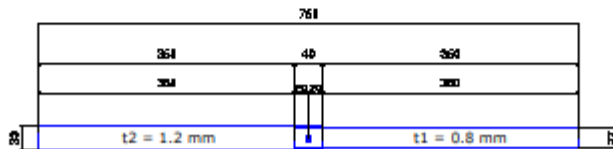
$t_1 = 0.8 \text{ mm}; t_2 = 0.8 \text{ mm}$



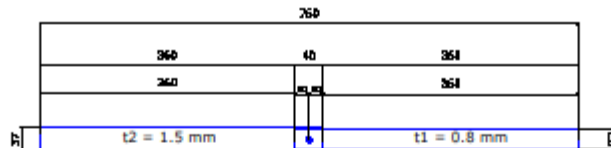
$t_1 = 0.8 \text{ mm}; t_2 = 1.0 \text{ mm}$



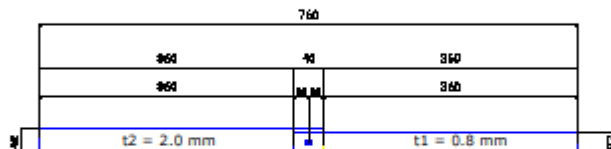
$t_1 = 0.8 \text{ mm}; t_2 = 1.2 \text{ mm}$



$t_1 = 0.8 \text{ mm}; t_2 = 1.5 \text{ mm}$



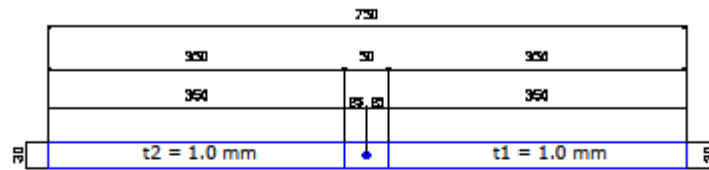
$t_1 = 0.8 \text{ mm}; t_2 = 2.0 \text{ mm}$



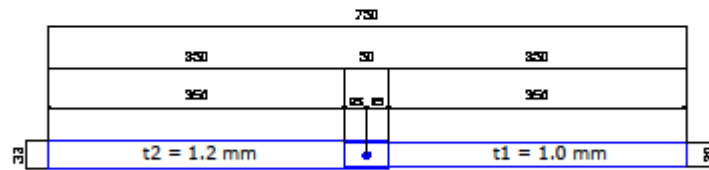
$t_1 = 0.8 \text{ mm}; t_2 = 2.5 \text{ mm}$



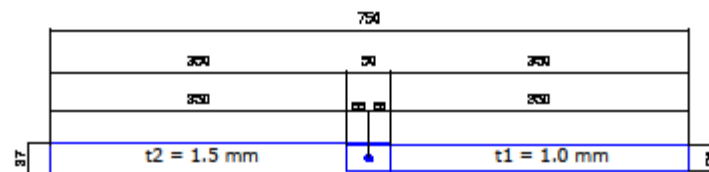
$t_1 = 1.0 \text{ mm}; t_2 = 1.0 \text{ mm}$



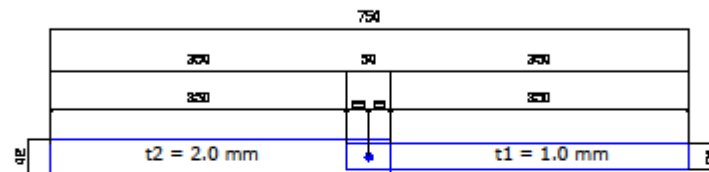
$t_1 = 1.0 \text{ mm}; t_2 = 1.2 \text{ mm}$



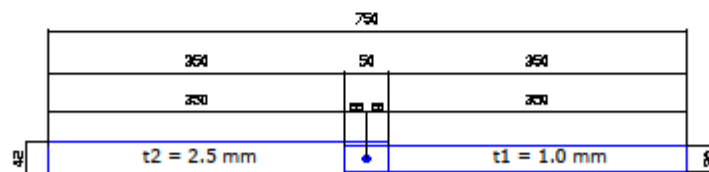
$t_1 = 1.0 \text{ mm}; t_2 = 1.5 \text{ mm}$



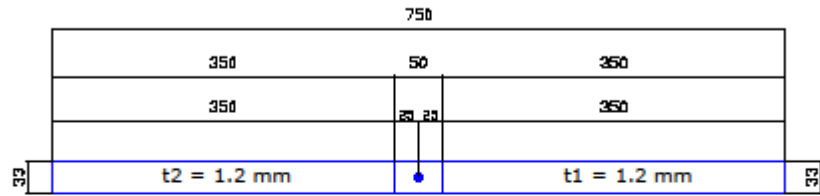
$t_1 = 1.0 \text{ mm}; t_2 = 2.0 \text{ mm}$



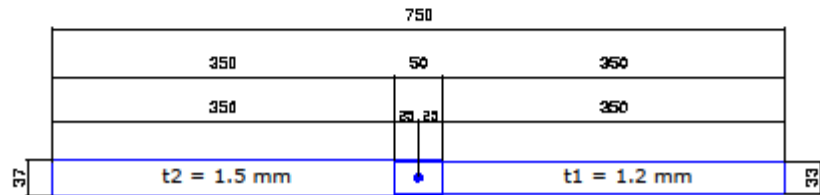
$t_1 = 1.0 \text{ mm}; t_2 = 2.5 \text{ mm}$



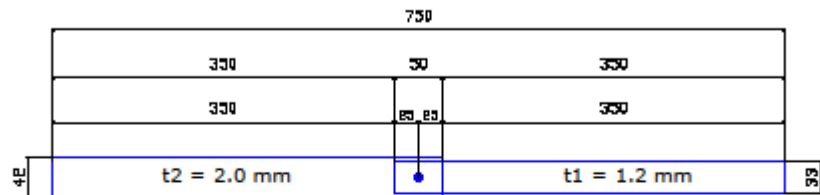
$t_1 = 1.2 \text{ mm}; t_2 = 1.2 \text{ mm}$



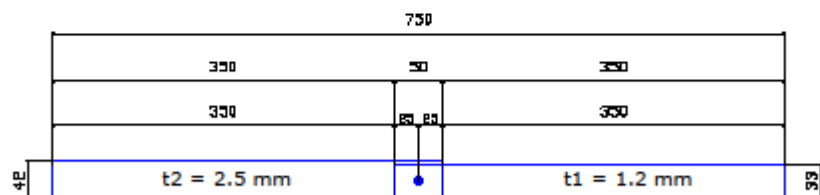
$t_1 = 1.2 \text{ mm}; t_2 = 1.5 \text{ mm}$



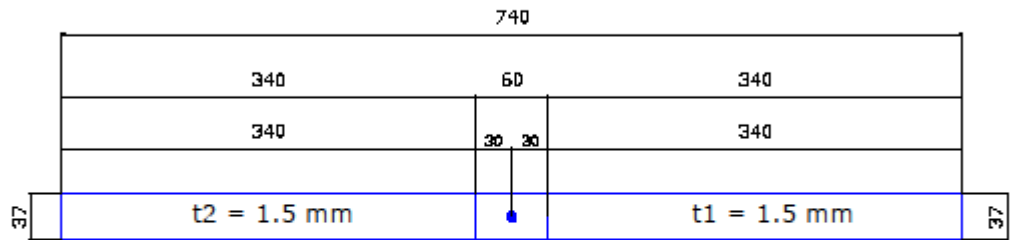
$t_1 = 1.2 \text{ mm}; t_2 = 2.0 \text{ mm}$



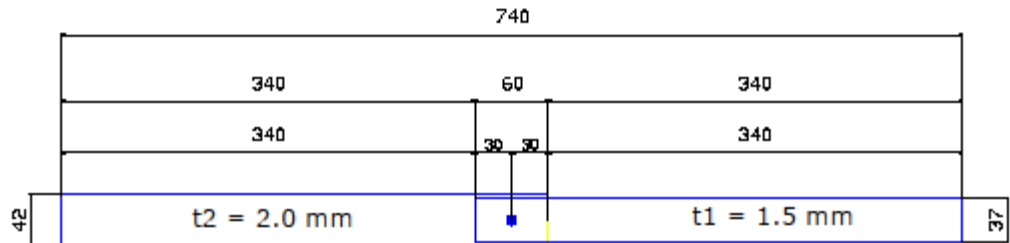
$t_1 = 1.2 \text{ mm}; t_2 = 2.5 \text{ mm}$



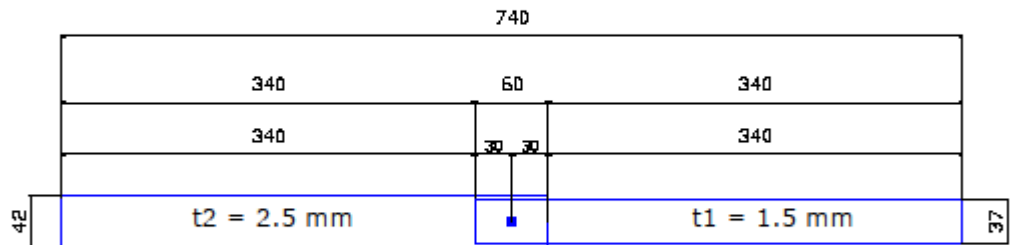
$t_1 = 1.5 \text{ mm}; t_2 = 1.5 \text{ mm}$



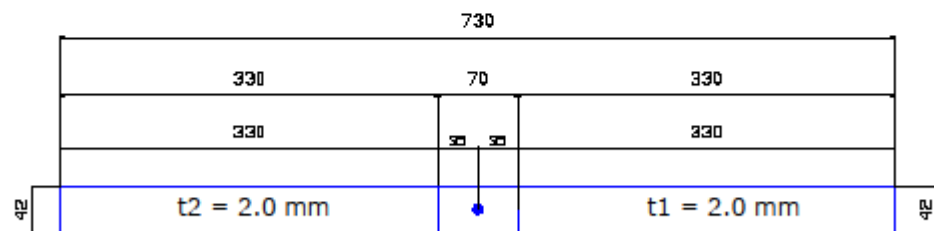
$t_1 = 1.5 \text{ mm}; t_2 = 2.0 \text{ mm}$



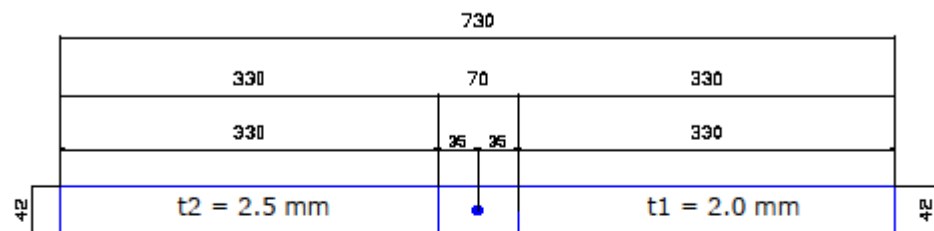
$t_1 = 1.5 \text{ mm}; t_2 = 2.5 \text{ mm}$



$t_1 = 2.0 \text{ mm}; t_2 = 2.0 \text{ mm}$



$t_1 = 2.0 \text{ mm}; t_2 = 2.5 \text{ mm}$



4.1. Cercetari experimentale pentru determinarea geometriei punctului sudat si analiza metalografica

In vederea determinarii elementelor geometrice ale punctului sudat respectiv pentru analiza metalografica si masuratori sclerometrice (de duritate) au fost executate pentru fiecare combinatie de grosimi de table cite 3 puncte sudate. Elementele geometrice ale punctului sudat sunt:

- Diametrul punctului d_p (d_n);
- Inaltimea punctului h_p (h_n);
- Adincimea maxima a amprenteii a ;

Dimensiunile punctului sudat depind in principal de grosimea tablelor, de cerintele de calitate impuse acestuia (prin clasa de calitate) in functie de domeniul de exploatare a produsului sudat, felul regimul de sudare utilizat, *regimul dur sau regim moale* (vezi *capitolul 1*), etc.. De exemplu diametrul punctului sudat respectiv diametrul minim al punctului se stabileste cu relatiile:

$$d_p = 2s + 3 \quad (4.1)$$

$$d_{pmin} = 4\sqrt{s} \quad (\text{sau } d_{pmin} = 4,5\sqrt{s}) \quad (4.2)$$

$$\text{Diametrul punctului poate varia in limitele: } d_p = (0,9 \dots 1,3)d_e \quad (4.3)$$

Se recomanda ca diametrul punctului sudat sa fie mai mic decit diametrul la virf al electrozului, a carui valoare se determina in general cu relatia: $d_e = 5\sqrt{s}$ (4.4)

Inaltimea (grosimea) punctului trebuie sa se gaseasca in limitele (55 ... 80%) din grosimea totală a tablelor de sudat. Valorile minime sunt valabile pentru o clasa de calitate superioara a acestuia.

Adincimea maxima a amprenteii trebuie sa fie in limitele (10 ... 20%) din grosimea unei table sudate daca tablele au grosime egala sau din grosimea tablei minime daca tablele sudate au grosimi diferite. Valorile minime si in acest caz sunt valabile pentru nivele de calitate superioare.

Analiza metalografica a punctului sudat consta in analiza macroscopica si analiza microscopica. Analiza metalografica macroscopica urmareste determinarea formei si geometriei punctului (elementele geometrice), respectiv determinarea defectelor macroscopice ale acestuia precum, fisuri, pori, incluziuni, retasuri, etc. Analiza metalografica microscopica urmareste determinarea constituintilor structurali din zonele sudurii (nucleu sudat, zona influentata termo - mecanic, metalul de baza) respectiv transformarile structural ce au loc sub actiunea ciclului termic de la sudare, etc.. Masuratorile sclerometrice urmaresc determinarea tendintei de fragilizare si durificarea a sudurii sub actiunea ciclului termic.

Tehnologiile de sudare utilizate pentru fiecare combinatie de grosimi de table sunt prezentate in tabellele 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 respectiv 4.5.

Tabelul 4.1. Regimuri de sudare SPP pentru combinatiile de grosimi cu tabla de 0,8mm

11.10.2012

PROBE - ANALIZA METROLOGICĂ
SARABE ALTO - EL. NOI - 08/10/2012

1 ^o .	$0,8 + 0,8 \text{ mm}$	3 puncte
	$I_s = 9583 \text{ A}$	
	$F = 368 \text{ daN}$ (7,2bmi)	
	$t_s = 441 \text{ ms}$	
2 ^o .	$0,8 + 1,0 \text{ mm}$	
	$I_s = 9583 \text{ A}$	
	$F = 367 \text{ daN}$ (6,8bmi)	
	$t_s = 377 \text{ ms}$	
3.	$0,8 + 1,2 \text{ mm}$	
	$I_s = 9583$	
	$F = 368 \text{ daN}$ (6,5bmi)	
	$t_s = 331 \text{ ms}$	
4 ^o .	$0,8 + 1,5 \text{ mm}$	
	$I_s = 9845 \text{ A}$	
	$F = 454 \text{ daN}$ (6,3bmi)	
	$t_s = 465 \text{ ms}$	
5.	$0,8 + 2,0 \text{ mm}$	
	$I_s = 9812 \text{ A}$	
	$F = 430 \text{ daN}$ (p=6bmi)	
	$t_s = 446 \text{ ms}$	
6.	$0,8 + 2,5 \text{ mm}$	
	$I_s = 10630 \text{ A}$	
	$F = 445 \text{ daN}$ (p=5,8bmi)	
	$t_s = 447 \text{ ms}$	

Tabelul 4.2. Regimuri de sudare SPP pentru combinatiile de grosimi cu tabla de 1,0mm

11. 10.2017

1°

1,0 + 1,0 mm

$$I_s = 9812A$$

$$F = 469 \text{ daN } 8,0 \text{ mm}$$

$$t_s = 463 \text{ ms}$$

2°

1,0 + 1,2 mm, 6,8 mm

$$I_s = 9812A$$

$$F = 465 \text{ daN}$$

$$t_s = 450 \text{ ms}$$

3°

1,0 + 1,5 mm

$$I_s = 9812A$$

$$F = 483 \text{ daN } 6,4 \text{ mm}$$

$$t_s = 544 \text{ ms}$$

4°

1,0 + 2,0 mm

$$I_s = 9812A$$

$$10630A$$

$$F = 456 \text{ daN } (6,4 \text{ mm}) \quad 442 \text{ daN}$$

$$t_s = 436 \text{ ms}$$

$$412 \text{ ms}$$

5°

1,0 + 2,5 mm

$$I_s = 10663A$$

$$10691$$

$$F = 439 \text{ daN}$$

$$421 \text{ daN}$$

$$t_s = 443 \text{ ms}$$

$$464 \text{ ms}$$

Tabelul 4.3. Regimuri de sudare SPP pentru combinatiile de grosimi cu tabla de 1,2mm

11.10.2017

1°

1,2+1,2mm

$$I_s = 9878 A \quad 9812 A$$

$$F = 468 \text{ daN} \quad 468 \text{ daN} (\rho = 7,2 \text{ km})$$

$$t_s = 501 \text{ ms} \quad 530 \text{ ms}$$

2°

1,2+1,5 mm

$$I_s = 9845 A \quad 9845 A$$

$$F = 466 \text{ daN} (\rho = 7 \text{ km}) \quad 465 \text{ daN} (\rho = 6,5)$$

$$t_s = 497 \text{ ms} \quad 500 \text{ ms}$$

3°

1,2+2,0 mm

$$I_s = 10663 A \quad 10663 A$$

$$F = 488 \text{ daN} \quad 474 \text{ daN} (6,5 \text{ km})$$

$$t_s = 473 \text{ ms} \quad 474 \text{ ms}$$

4°

1,2+2,5 mm

$$I_s = 10663 A$$

$$F = 457 \text{ daN} (\rho = 6,3 \text{ km})$$

$$t_s = 437 \text{ ms}$$

Tabelul 4.4. Regimuri de sudare SPP pentru combinatiile de grosimi cu tabla de 1,5mm

11.10.2017

1^o 1,5 + 1,5 mm
 $I_0 = 10663 \text{ A}$
 $F = 515 \text{ det} (\rho = 8,2 \text{ km})$
 $t_f = 528 \text{ ms}$

2^o 1,5 + 2,0 mm
 $I_3 = 10663 \text{ A}$
 $F = 502 \text{ det} (6,8 \text{ km})$
 $t_f = 470 \text{ ms}$

3^o 1,5 + 2,5 mm
 $I_1 = 11088 \text{ A} \quad 11121 \text{ A}$
 $F = 471 \text{ det} \quad 465 \text{ det} (\rho = 6,7 \text{ km})$
 $t_f = 518 \text{ ms} \quad 511 \text{ ms}$

Tabelul 4.5. Regimuri de sudare SPP pentru combinatiile de grosimi cu tabla de 2,0mm

11.10.2017

1^o. $2_{10} + 2_{10} \text{ mm}$

$I_s = 11088 \text{ A}$

$F = 539 \text{ det} \quad p = 7,26 \text{ mm}^2$

$t_s = 523 \text{ ms}$

2^o. $2_{10} + 2_{15} \text{ mm}$

$I_s = 11121 \text{ A}$

$F = 501 \text{ det} \quad (p = 6,96 \text{ mm}^2)$

$t_s = 508 \text{ ms}$

FINIS | | |
, , ,)

4.2 Rezultate investigații metalografice

Au fost realizate îmbinări sudate prin procedeul de sudare electrică prin presiune, pe table din oțel S350 galvanizat, cu grosimi de 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0 și 2,5mm.

4.2.1. Analiza chimică

Materialele de bază au fost livrate conform standardului SR En 10346:2010 - Produse plate din oțel acoperite continuu prin imersie la cald. Condiții tehnice de livrare (identice cu standardul european EN 10346:2009), impune o compoziție chimică conform celei din tabelul 4.6.

Tabelul 4.6. Compoziția chimică a oțelului S250

Oțel	Element chimic, %				
	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.
S350	0,20	0,60	1,70	0,10	0,045

Verificarea acestei compoziții chimice (prezentată în tab. 4.7) a relevat diferențe față de standard pentru tablele cu grosime de 1,5 și respectiv 2,0mm.

Tabelul 4.7. Compoziția chimică a eșantioanelor de tablă S350

Element chimic, %	Grosime table, mm				
	0,8	1,2	1,5	2,0	2,5
Fe	94.4700	99.3400	92.4800	98.2700	99.1700
C	0.1412	0.1044	0.2764	0.4097	0.0316
Si	0.4354	0.0134	1.0350	0.2156	0.0159
Mn	0.2327	0.2548	0.6270	0.6600	0.5768
P	0.0009	0.0000	0.0231	0.0233	0.0000
S	0.0402	0.0162	0.0279	0.0089	<0.000
Cr	0.0430	0.0248	0.0965	0.0979	<0.005
Ni	0.0809	0.0299	0.1671	0.0637	<0.004
Mo	0.2469	0.0230	0.9361	0.0306	0.0310
Cu	0.0393	0.0516	0.0597	0.0806	0.0103
Al	>1.155	0.0415	>1.056	0.0248	0.0280
Ti	0.1180	<0.002	0.3456	<0.005	0.0181
V	0.0621	<0.000	<0.007	<0.002	<0.000
Co	0.2000	<0.000	0.4265	0.0076	<0.000
Nb	0.1095	<0.000	<0.011	<0.001	<0.007
W	>2.527	<0.000	>2.332	<0.000	<0.000

Conținutul de carbon ridicat la tablele cu grosime de 1,5mm (0,2764%) și 2,0mm (0,4097) poate avea implicații asupra calității îmbinărilor sudate realizate cu aceste table, putând conduce la obținerea unor structuri metalografice similare unui tratament termic de călire, care vor produce fragilizarea îmbinării sudate.

4.2.2 Caracteristici mecanice

Caracteristicile de rezistență mecanică, prevăzute de standardul SR EN 10346:2010, sunt prezentate în tabelul 4.8.

Tabelul 4.8. Caracteristicile de rezistență mecanică ale oțelului S350

	R _{p0,2} min. MPa	R _m , min. MPa	A ₈₀ , min. %
Oțel S350	350	420	16

Rezultatele încercărilor de tracțiune statică, prezentate în tabelul 4.9, relevă la rândul lor abateri de la standard la tablele cu grosimi de 0,8mm (R_{p0,2}=280MPa) și 1,0 (R_{p0,2}=281MPa).

Tabelul 4.9. Caracteristici mecanice ale tablelor din oțel S350

Grosime tabla, mm	E, GPa	R _{p0,2} , MPa	A _e , %	R _m , MPa	A _g , %
T=0.8	201.5802	279.6388	0.273189	361.7565	18.22737
T=1.0	123.1251	281.3292	-	373.505	16.39609
T=1.2	106.0176	366.8172	2.409119	420.6845	12.7652
T=1.5	195.9991	407.6997	2.057393	497.1215	12.80277
T=2.0	195.1137	431.7793	2.275471	464.4567	11.55247
T=2.5	185.8314	374.6791	-	452.9825	11.1589

Aceste rezultate vor avea la rândul lor o influență asupra caracteristicilor îmbinărilor sudate.

4.2.3. Analiza metalografică a îmbinărilor sudate electric prin presiune

Imbinările sudate realizate au fost analizate cu ajutorul microscopului metalografic, stereoscopic (MS), utilizând mărimi de până la 4x, pentru a pune în evidență aspectele macroscopice specifice punctelor sudate. După cum se poate observa și în figura 4.1, toate punctele sudate au un aspect corespunzător.



Fig. 4.1. Punct sudat, MS x1 Planul de prelevare a probelor metalografice: a) table 1,5-1,5; b) table 2,0-2,0; c) table 1,2-1,2

Dimensiunile diametrelor punctelor sudate realizate, prezentate în tabelul 4.10, confirmă calitatea corespunzătoare a îmbinărilor sudate și validează corectitudinea parametrilor tehnologici utilizați (atât după standardul specific producătorilor de autovehicule ($4 \cdot \sqrt{t}$) cât și după standardul SR EN ISO 14373:2015 ($3.5 \cdot \sqrt{t}$), unde t este grosimea tablei care se sudează).

Analiza microscopică efectuată cu ajutorul microscopului stereoscopic pe fața interioară a punctului sudat, a arătat existența unor expulzări de Zn din stratul ce acoperă tablele sudate, din zona punctului sudat, ca urmare a temperaturii dezvoltate în timpul procesului de sudare și a presiunii dezvoltate între componentele sudate (fig. 4.2).

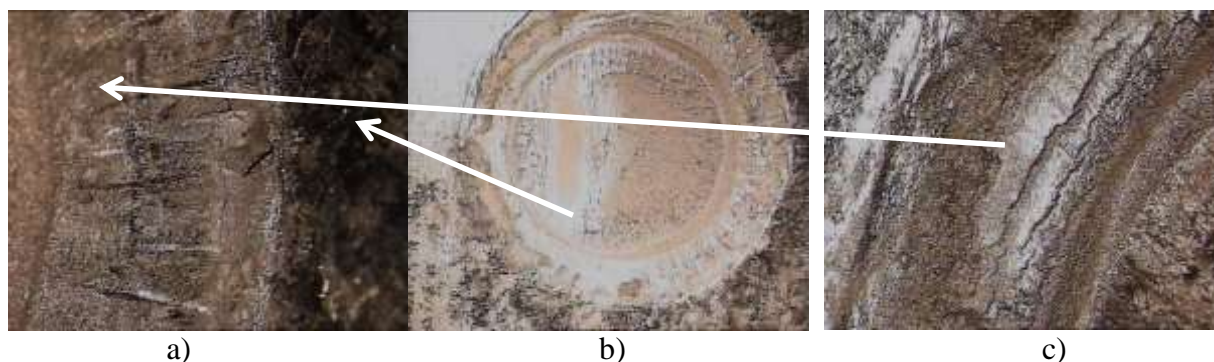


Fig.4.2. Fisuri ale stratului de Zn și expulzări de Zn pe interiorul punctului sudat la imbinarea 1,5-1,5; MS x4: a) imagine interior punct sudat; b) fisuri în stratul de Zn; c) expulzări de Zn

Pentru analize microstructurală au fost prelevate probe metalografice transversale, de de-a lungul unui plan perpendicular pe punctul sudat, care trece exact prin axa de simetrie verticală a acestuia (fig. 4.3).

Suprafața transversală a fost șlefuită cu hârtii metalografice, de diferite granulații (200, 400, 600, 800), mergând de la granulație mare până la granulație de fină, folosind permanent apă, pentru a evacua particulele de material îndepărtate de pe suprafața aflată în pregătire și pentru a evita încălzirea probei și modificarea astfel a structurii metalografice a eșantionului studiat.

Lustruirea suprafețelor astfel pregătite s-a realizat cu o pâslă și a pastă de lustruire cu particule de diamant cu diametrul de $4\mu\text{m}$.

Atacul metalografic s-a realizat cu NITAL 3%, punându-se în evidență structura metalografică, limitele dintre grăunți, forma și dimensiunea lor, precum și eventualele defecte de tipul fisurilor, porilor, incluziunilor nemetalice, etc.



Fig. 4.3. Planul de prelevare a probelor metalografice

Materialul de bază are o structură predominant feritică (grăunți de ferită, cu mici separări de perlită pe marginea grăunților feritici), tipică unui oțel hipoeutectoid (fig. 4.4).

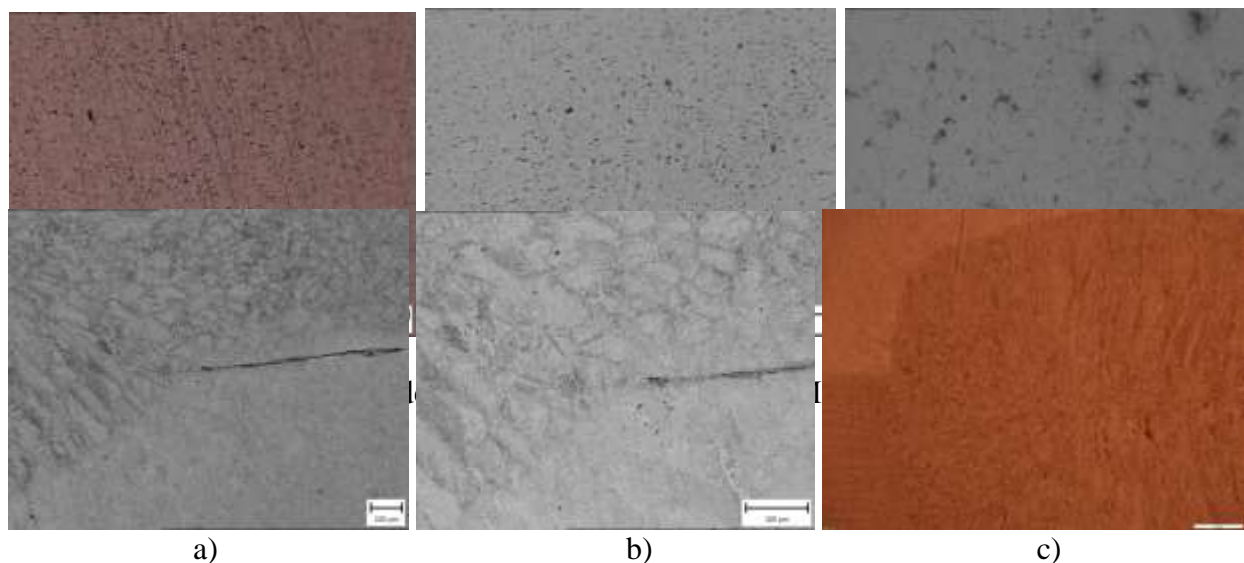


Fig. 4.4. Zona de început a nucleului a) MO x50; b) MO x100; c) MO x100

În zona de început a nucleului sudat, structura materialului de bază este modificată, ca urmare a efectului cumulat al temperaturii și al presiunii (forțelor de apăsare pe cele două componente). Se poate observa în figura 4.4 că grăunții materialului de bază sunt fragmentați ca urmare a deformării plastice (în ZIT), iar în zona nucleului apar grăunți columnari, alungiți, orientați pe direcția de evacuare a căldurii, aspect specific unei solidificări din topitură.

Zona nucleului (fig. 4.5) este caracterizată prin grăunți columnari mari, orientați perpendicular pe planul de separație dintre cele două materiale de bază.

Analizând mai atent o îmbinare dintre o tablă subțire (de 1,2mm) și una mai groasă (de 2,5mm), în zona de separație dintre nucleu și ZIT (fig. 4.5.c) se observă clar diferența dintre aspectul columnar al grăunților din zona nucleului și aspectul de grăunți fini din zona ZIT, trecerea fiind asigurată de un strat de grăunți echiaxiali (cu lățimea de 3-5 grăunți), în tabla mai groasă. Comparativ cu acest aspect, în zona similară din tabla mai subțire (fig. 4.5.c), stratul de grăunți echiaxiali din zona de trecere dintre nucleu și ZIT este mult mai subțire, mai puțin pusă în evidență, iar grăunții sunt mult mai fini, ca urmare a deformării mai puternice a materialului în timpul procesului de sudare și a răcirii mai rapide, comparativ cu zona similară din tabla mai groasă.

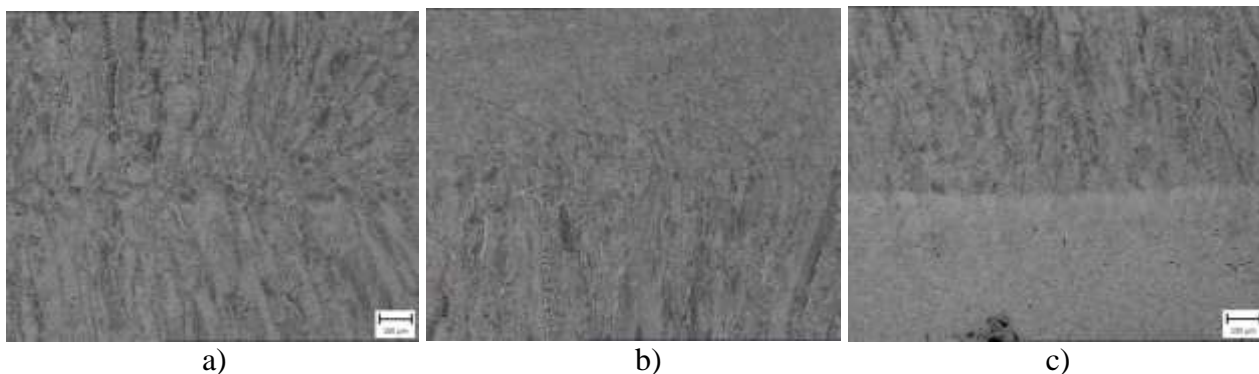


Fig. 4.5. Zona nucleului a) MO x50; b) MO x50; c) MO x50

O imagine generală a zonei nucleului este prezentată în figura 4.6, punând în evidență clar planul îmbinării dintre cele două componente, respectiv planul pe care sunt perpendiculari grăunții columnari din nucleu. Totodată această imagine generală evidențiază calitatea corespunzătoare a îmbinării sudate realizate.



Fig. 4.6. Zona nucleului MO x50

Analizând, din punct de vedere al transformărilor fazice și structurale, îmbinările sudate la care participă tablele cu grosime 1,5mm și cele cu grosime de 2,0mm, se poate observa efectul conținutului ridicat de carbon.

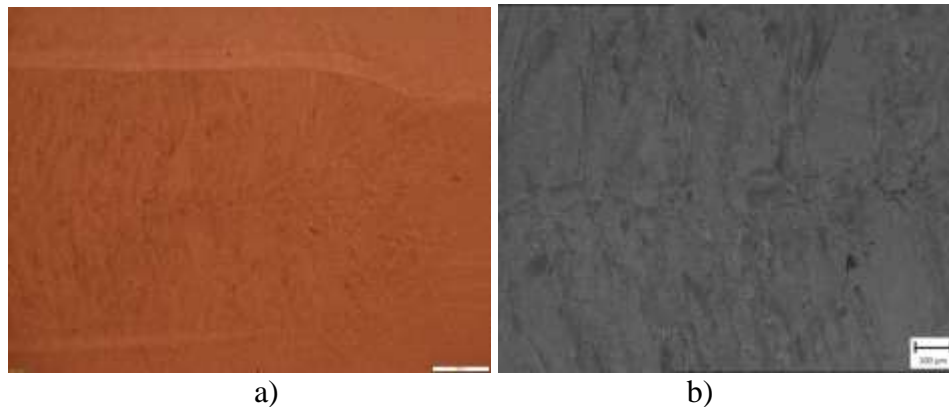


Fig. 4.7. Imbinări sudate tablă 2,5mm (în partea de jos a imaginilor) și 0,8mm (în partea de sus a imaginilor): a) MS x5; b) MO x50

Ca urmare a încălzirii rapide, la temperaturi ridicate, peste temperatura de fuziune, urmată de o răcire cu viteză ridicată (ca urmare a evacuării căldurii atât în componentele reci, cât și în electrozii de sudare, care sunt răciți cu apă și sunt realizați dintr-un aliaj bun conducător de căldură), în zona nucleului se formează o structură cu grăunți columnari, puternic alungați pe direcția evacuării căldurii (fig. 4.7.a și b). Totodată, în unele regiuni ale nucleului, structura din interiorul acestor grăunți columnari este formată din martensită aciculară, fragilă, care va fragiliza întreaga îmbinare sudată (fig. 4.8a, b și c).

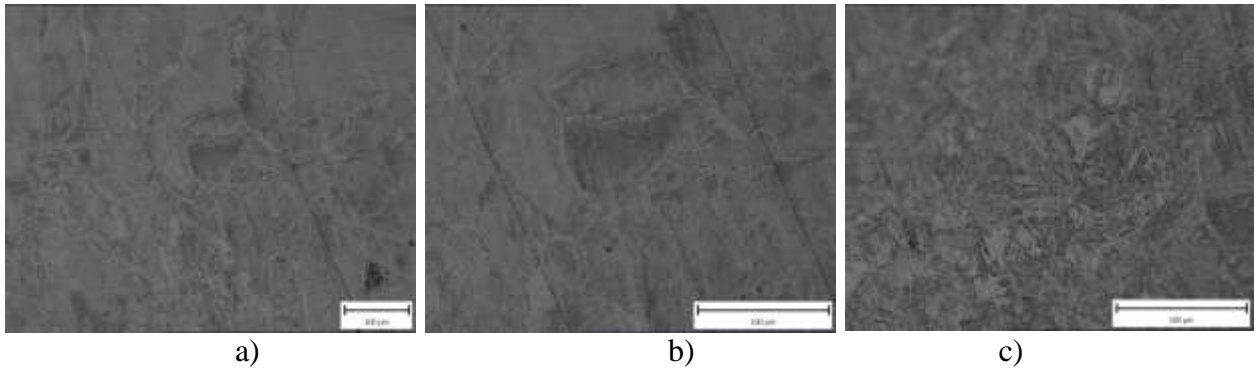


Fig. 4.8. Imbinări sudate tablă 2,5mm (în partea de jos a imaginilor) și 0,8mm (în partea de sus a imaginilor): a) MS x100; b) MO x200; c) MO x200

Totodată, în ZIT, unde temperatura de încălzire a fost între temperaturile de transformare A_{c1} și A_{c3} , structura este numai parțial martensitică (fig. 4.9).

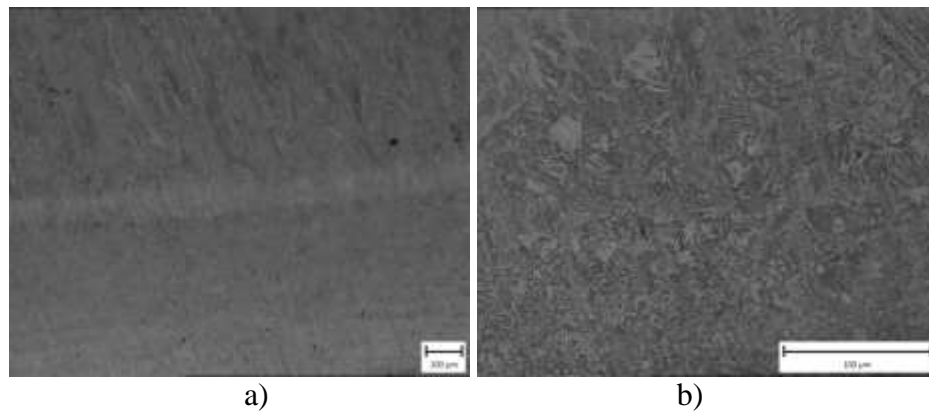


Fig. 4.9. ZIT la tabla de 2,5mm: a) MS x50; b) MO x100; c) MO x200

4.3. Cercetari experimentale pentru incercarile mecanice ale punctelor sudate

In vederea incercarilor la tractiune-forfecare a punctelor sudate *au fost executate un numar de 7 probe* pentru fiecare combinatie de grosimi de table, prin realizarea unui singur punct sudat pe fiecare combinatie. Incercarea la tractiune a punctelor sudate urmareste determinarea rezistentei la forfecare a punctelor, a fortei la care are loc ruperea punctului, locul ruperii imbinarii sudate (in sudura sau in metalul de baza) respectiv caracterul acestei ruperi, prin smulgerea punctului (prin debutonare) sau prin forfecarea acestuia, etc.

Parametrii tehnologici principali de sudare, specifici sudarii prin presiune in puncte, care au fost masurati si inregistrati pentru fiecare combinatie, respectiv pentru fiecare punct sudat sunt:

- Curentul de sudare;
- Timpul de sudare;
- Forta de apasare (presiunea aerului comprimat);

La executia punctului sudat au fost respectate elemente constructiv – tehnologice pentru fiecare imbinare, respectiv punctul sudat a fost amplasat la mijlocul suprapunerii celor doua table.

Tehnologiile de sudare utilizate la executia punctelor in conditiile prezentate mai sus sunt prezentate in tabelele 4.6, 4.7, 4.8, ,4.23, 4.24, 4.25.

Pentru fiecare combinatie de grosimi cele sapte probe au fost notate de la 1 la 7 si marcate cu P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7. Numarul tehnologiei de sudare din tabelele tehnologice, notate de la 1 la 7, corespunde cu numarul de marcaj al probei.

Tabelul 4.6. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 0,8+0,8mm

jet. IV 29.09.2017
0,8+0,8mm. SMART AUTO

1.	$I_s = 9583A$ $F = 367 \text{ dalt} - 66 \text{ bini}$ $t_f = 469 \text{ ms}$
2.	$9583A$ $367 \text{ dalt} - 6,5 \text{ bini}$ 382 ms
3.	$9583A$ $367 \text{ dalt} - 6,4 \text{ bini}$ 373 ms
4.	$9583A$ 367 dalt 373 ms
5.	$9583A$ 367 dalt 371 ms
6.	$9583A$ $367 \text{ dalt} p = 6 \text{ bini}$ 369 ms
7.	$9583A$ $367 \text{ dalt} p = 6 \text{ bini}$ 369 ms

Tabelul 4.7. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 0,8+1,0mm

Act. V	27.09.2012
0,8+1,0 mm SMART.	
1.	$I_s = 9583 A$ $F = 368 \text{ det}$ $t_s = 375 \text{ ms}$
2.	$9616 A$ $366 \text{ det} (72 \text{ bar})$ 382 ms
3.	$9583 A$ $367 \text{ det} (70 \text{ bar})$ 358 ms
4.	$9583 A$ 367 det 354 ms
5.	$9583 A$ 367 det 353 ms
6.	$9583 A$ 367 det 336 ms
7.	$9583 A$ $367 \text{ det} (6,5 \text{ bar})$ 336 ms

Tabelul 4.8. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 0,8+1,2mm

03.10.2017

Unghi	Parametri	Parametri
1°	$I_s = 9910 A$ $F = 468 daN$ ($p = 7,2 km$) $t_s = 540 ms$	$(d_{el} = 22,15 mm)$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> 17.11.2017 la LAG C-și Melbico Sud. la poziție vert. </div>
2°	$I_s = 9878 A$ $F = 466 daN$ ($p = 7,2 km$) $t_s = 540$	$d_1 + d_2 = 0,8 + 1,2 mm$ $I_s = 9518 A$ $F = 369 daN$ $t_s = 370 ms$ $p = 8 km$
3°	$I_s = 9878 A$ $F = 466 daN$ $t_s = 540 daN$	
4°	$I_s = 9845 A$ $F = 467 daN$ ($p = 6,8 km$) $t_s = 540 ms$	
5°	$I_s = 9845 A$ $F = 483 daN$ $t_s = 540 ms$	
6°	$I_s = 9845 A$ $F = 477 daN$ ($p = 6,5 km$) $t_s = 540 ms$	
7°	$I_s = 9845 A$ $F = 468 daN$ ($p = 6,5 km$) $t_s = 540 ms$	

Tabelul 4.9. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 0,8+1,5mm

03.10.2017

Setulii	0,8+1,5mm
1°	$I = 9878A$ $F = 4522eH (\rho = 6,46mm)$ $t_s = 540ms$
2°	$= 9845A$ $= 4512eH (6,36mm)$ $= 540ms$
3°	$= 9878A$ $= 4502eH$ $= 540ms$
4°	$9878A$ $= 4462eH (6,4mm)$ $= 540ms$
5°	$= 9878A$ $= 4382eH$ $= 540ms$
6°	$= 9878A$ $= 4322eH$ $= 540ms$
7°	$= 9878A$ $= 4272eH$ $= 540ms$

Tabelul 4.10. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 0,8+2,0mm

03, 10.2017

detaliu	0,8+2,0mm
1°	$I_p = 10663A$ $F = 538 \text{ daN} (7,5 \text{ ton})$ $t = 610 \text{ ms}$
2°	$9778 A$ $469 \text{ daN} (7,3 \text{ ton})$ 590 ms
3°	$10695 A$ 511 daN 610 ms
4°	$9878 A$ $468 \text{ daN} (7 \text{ ton})$ 590 ms
5°	$9845 A$ 466 daN 590 ms
6°	$9845 A$ 466 daN 590 ms
7°	$9845 A$ $485 \text{ daN} (p = 6,8 \text{ ton})$ 585 ms

Tabelul 4.11. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 0,8+2,5mm

04.10.2017

Setul \bar{V} 0,8+2,5

1°	$I_f = 10663A$
	$F = 469 \text{ daN} (6,5 \text{ kn})$
	$t_b = 484 \text{ ms}$
2°	$= 10663A$
	464 daN
	496 ms
3°	$= 10697A$
	459 daN
	477 ms
4°	$= 10663A$
	453 daN
	488 ms
5°	$= 10697A$
	447 daN
	469 ms
6	$= 10697A$
	441 daN
	486 ms
7	$I_f = 10718A$
	$F = 430 \text{ daN}$
	$t_b = 493 \text{ ms}$

Tabelul 4.12. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 1,0+1,0mm

setul III

29.04.2017

1,0 + 1,0 mm SMAW auto.

1.

$$I_s = 9845 A$$

$$F = 468 \text{ daN} - 7,2 \text{ km}$$

$$t_s = 140 \text{ ms}$$

2.

$$9845 A$$

$$469 \text{ daN} - 7,2 \text{ km}$$

$$121 \text{ ms}$$

3.

$$9845 A$$

$$468 \text{ daN} - 7,15 \text{ km}$$

$$519 \text{ ms}$$

4.

$$9845 A$$

$$466 \text{ daN} - 7 \text{ km}$$

$$504 \text{ ms}$$

5.

$$9812 A$$

$$462 \text{ daN} - 6,8 \text{ km}$$

$$495 \text{ ms}$$

6.

$$9845 A$$

$$480 \text{ daN} - 6,7 \text{ km}$$

$$516 \text{ ms}$$

7.

$$9845 A$$

$$482 \text{ daN} - 6,7 \text{ km}$$

$$516 \text{ ms}$$

Tabelul 4.13. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 1,0+1,2mm

Setul		29.09.2017
1.	1,0+1,2 mm	SMART AUTO (EUROPEI KAI)
	$I_a = 9845A$	
	$F = 467 \text{ daN}$ (6,9 bar)	
	$t_s = 540 \text{ ms}$	
2.		
	9845A	
	468 daN (6,9 bar)	
	540 ms	
3.		
	9845A	
	489 daN (6,8 bar)	
	540 ms	
4.		
	9845A	
	484 daN (6,8 bar)	
	540 ms	
5.		
	9845A	
	477 daN (6,6 bar)	
	540 ms	
6.		
	9845A	
	471 daN (6,5 bar)	
	513 ms	
7.		
	9845A	
	467 daN (6,4 bar)	
	497 ms	

Tabelul 4.14. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 1,0+1,5mm

03, 10.2017

Setul III	1,0+1,5 mm	(d _{cl} = 22,5 mm)
1°	$I_p = 9878A$ $F = 467 daN (7,2 km)$ $t = 590 ms$	
2°	$= 9845A$ $= 468 daN$ $= 590 ms$	
3°	$= 9877A$ $= 469 daN$ $= 590 ms$	
4°	$= 9845A$ $= 467 daN$ $= 590 ms$	
5°	$= 9877A$ $= 468 daN (6,8 km)$ $= 590 ms$	
6°	$= 9877A$ $= 468 daN$ $= 590 ms$	
7°	$= 9845A$ $= 479 daN (6,7 km)$ $= 590 ms$	

Tabelul 4.15. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 1,0+2,0mm

04.10.2017

Setul I.	1,0+2,0 mm	Sinter AUTO	ELECTROPI NOI
1°.	$I_s = 10663A$	$F = 512 \text{ daN}$ ($p = 7,2 \text{ km}$)	$t_s = 512 \text{ ms}$
2°.	$I_s = 10665A$	508 daN ($p = 7,1 \text{ km}$)	539 ms
3°.	$10663A$	502 daN	513 ms
4°.	$10663A$	495 daN	510 ms
5°.	$10663A$	489 daN	493 ms
6°.	$10663A$	482 daN	498 ms
7°.	$10663A$	476 daN ($p = 6,5 \text{ km}$)	490 ms

Tabelul 4.16. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 1,0+2,5mm

04.10.2017

Setul III P.	1,0+2,5mm 1
	$I_s = 10663 A$
	$P = 513 \text{ daH } (r = 7,26 \text{ mi})$
	$t_f = 456 \text{ ms}$
2 ^o	$I_s = 10663 A$
	570 daH
	470 ms
3 ^o	$10663 A$
	503 daH
	483 ms
4	$10663 A$
	490 daH
	478 ms
5	$10663 A$
	489 daH
	478 ms
6.	$10663 A$
	484 daH
	466 ms
7	$I_s = 10697 A$
	477 daH
	454 ms

Tabelul 4.17. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 1,2+1,2mm

Setul	29.09.2017
II	1,2+1,2 mm SEMI -SMART AUTO.
1.	$I = 9845 A$ $F = 457 \text{ daN} (6,3 \text{ km})$ $t_s = 590 \text{ ms}$
2.	9845 A $456 \text{ daN} (6,3 \text{ km})$ 590 ms
3.	$9845 A$ $449 \text{ daN} (6,1 \text{ km})$ 590 ms
4.	$9845 A$ $444 \text{ daN} (p = 6,1 \text{ km})$ 589 ms
5.	$9845 A$ $438 \text{ daN} (p = 6 \text{ km})$ 580 ms
6.	$9845 A$ $432 \text{ daN } p = 5,9 \text{ km}$ 577 ms
7.	$9845 A$ $427 \text{ daN} (p = 5,85 \text{ km})$ 560 ms

Tabelul 4.18. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 1,2+1,5mm

03.10.2017

Setul IV	1,2+1,5mm
1°.	$I_s = 10663A$ $F = 525 \text{ daN} (746 \text{ Nm})$ $t_f = 610 \text{ ms}$
2°.	$= 9878A$ $= 468 \text{ daN} (726 \text{ Nm})$ $= 590 \text{ ms}$
3°.	$= 9878A$ $= 466 \text{ daN}$ $= 590 \text{ ms}$
4°.	$= 9878A$ $= 468 \text{ daN} (746 \text{ Nm})$ $= 590 \text{ ms}$
5°.	$9847A$ 466 daN 590 ms
6°.	$9847A$ $486 \text{ daN} (6,8 \text{ Nm})$ 590 ms
7°.	$9878A$ $482 \text{ daN} (6,8 \text{ Nm})$ 590 ms

Tabelul 4.19. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 1,2+2,0mm

04.10.2017.

Unghi β	Grosime	Intensitate I_j	Viteza v	Timp t_j
1°	1,2+2,0 mm	$I_j = 10663 A$	$F = 462 \text{ dmH}$ ($p = 44 \text{ dmH}$)	$t_j = 485 \text{ ms}$
2°		$= 10663 A$	462 dmH	489 ms
3°		$= 10663 A$	456 dmH	479 ms
4°		$= 10663 A$	450 dmH	479 ms
5°		$= 10663 A$	444 dmH	467 ms
6°		$10663 A$	439 dmH	467 ms
7°		$10663 A$	428 dmH ($p = 41 \text{ dmH}$)	502 ms

Tabelul 4.20. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 1,2+2,5mm

04.10.2013

Setul nr 1, 2 + 2,5 mm	
1°	1 I _g = 11028 A F = 120 daN (7,5 bar) t _g = 542 ms
2°	11121 A 57 daN 538 ms
3°	= 11028 A 511 daN 543 ms
4°	10691 A 507 daN 482 ms
5°	11028 A 500 daN 528 ms
6°	10635 A 494 daN 485 ms
7°	= =

Tabelul 4.21. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 1,5+1,5mm

04.10.2011

Setul \bar{x}	1,5+1,5 mm	!!! EL. noi !!!	!!!
1°	$\bar{I} = 10695A$ $F = 526 \text{ daN}$ ($p = 7,4 \text{ daN}$) $t_j \geq 610 \text{ ms}$!!!
2°	$= 10728A$ 518 daN ($7,2 \text{ daN}$) 610 ms		
3°	$= 10728A$ 513 daN 610 ms		
4°	$10695A$ 508 daN 600 ms		
5°	$10695A$ 501 daN 596 ms		
6°	$10695A$ 494 daN ($p = 6,9 \text{ daN}$) 591 ms		
7°	$= 10695A$ 488 daN ($6,8 \text{ daN}$) 579 ms		

Tabelul 4.22. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 1,5+2,0mm

04.10.2017

Satel VI. 1,5+2,0 mm

1°.	$I_s = 10728 A$
	$F = 536 \text{ dcm} (7,5 \text{ km}^2)$
	$t_s = 610 \text{ ms}$
2°	
	$= 10728 A$
	518 dcm
	610 ms
3°	
	$= 10729 A$
	$512 \text{ dcm} (7,2 \text{ km}^2)$
	610 ms
4°.	
	$10695 A$
	509 dcm
	610 ms
5°.	
	$10695 A$
	$501 \text{ dcm} (6,9 \text{ km}^2)$
	610 ms
6°.	
	$10695 A$
	496 dcm
	610 ms
7°	
	$10695 A$
	$488 \text{ dcm} (6,7 \text{ km}^2)$
	610 ms

Tabelul 4.23. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 1,5+2,5mm

04.10.2017

Detal	Vari	1,5+2,5mm
1 ^o	$I_s = 11121A$	
	$F = 481 \text{ daN } (p = 6,7 \text{ bar})$	
	$t_s = 630 \text{ ms}$	
2 ^o	$= 11121A$	
	$= 475 \text{ daN}$	
	$= 630 \text{ ms}$	
3 ^o	$= 11121A$	
	$= 469 \text{ daN } (p = 6,5 \text{ bar})$	
	$= 630 \text{ ms}$	
4	$= 11121A$	
	463 daN	
	630 ms	
5 ^o	$= 11088A$	
	457 daN	
	630 ms	
6	$= 11121A$	
	451 daN	
	630 ms	
7	$= 11088A$	
	$= 446 \text{ daN } (p = 6,1 \text{ bar})$	
	$= 630 \text{ ms}$	

Tabelul 4.24. Tehnologii de sudare pentru combinatia de grosimi 2,0+2,0mm

04.10.2017

Setul VIII	2,0+2,0mm	El. vâslui - 50, rate sudate
1°		↳ 4 probe
	$I_s = 1112 \text{ A}$	
	$F = 525 \text{ daN}$ ($p = 7,4 \text{ bar}$)	
	$t_f = 630 \text{ ms}$	
2°		
	$= 11088 \text{ A}$	
	517 daN	
	630 ms	
3°		
	$= 11086 \text{ A}$	
	$= 512 \text{ daN}$	
	$= 630 \text{ ms}$	
4°		
	$= 11088 \text{ A}$	
	507 daN	
	630 ms	
5°		Electroni noi
	$= 11088 \text{ A}$	
	425 daN	
	542 ms	
6°		
	$= 11088 \text{ A}$	
	469 daN ($p = 6,4 \text{ bar}$)	
	523 ms	
7°		
	$= 11088 \text{ A}$	
	463 daN ($p = 6,4 \text{ bar}$)	
	$= 535 \text{ ms}$	

Tabelul 4.25. Tehnologii de sudare pentru combinatia de groaimi 2,0+2,5mm

04.10.2014

Setul \overline{K}	2,0+2,5mm	(el. vechi 65 mm de 4 probe)
1°	$I_s = 11088A$ $F = 497 \text{ daN}$ ($p = 6,8 \text{ bar}$) $t_s = 630 \text{ ms}$	
2°	$= 11121A$ 491 daN 630 ms	
3°	$= 11111A$ $= 485 \text{ daN}$ $= 630 \text{ ms}$	
4°	$= 11121A$ $= 477 \text{ daN}$ $= 630 \text{ ms}$	
5°	$11088A$ 570 daN ($p = 7,2 \text{ bar}$) 576 ms	electrozi HOI
6°	$11088A$ 508 daN 529 ms	
7°	$= 11121A$ $= 501 \text{ daN}$ $= 534 \text{ ms}$	

Valorile diferite ale parametrilor principali de sudare din tabellele tehnologice de mai sus, care pot aparea de la un punct sudat la altul, sunt determinate diferentele dintre conditiile locale de contact care pot surveni la sudare si care afecteaza si influenteaza

parametrii efectivi de sudare la executia fiecarui punct si anume, diferente de grosime a tablelor, diferente de grosimea a stratului de zinc, starea suprafetelor, uzura la virf a electrozilor de contact, modificarea presiunii aerului comprimat, etc.. Sudurile au fost realizate cu instalatia de sudare *Inverspotter 14000* folosind functia **SMART AUTO** (vezi Capitolul 3) care permite reglarea automata a parametrilor tehnologici de sudare, *current de sudare, timp de sudare, forta de apasare*, in functie de conditiile concrete care intervin in circuitul de sudare ca urmare a proprietatilor termofizice ale materialului de baza al tablelor si a conditiilor locale de contact dintre table respectiv dintre table si electrozi, care actioneaza asupra rezistentei totale din circuitul de sudare ca urmare a introducerii tablelor de sudat intre electrozi. In functie de rezistenta totala care intervine in circuit, instalatia modifica automat parametrii de sudare in asa fel incit sa se dezvolte constant, prin efect Joule-Lenz, aceeasi caldura echivalenta care sa asigure incalzirea si formare corecta a nucleului, respectiv a dimensiunilor pentru fiecare punct sudat.

Corectitudinea tehnologiilor de sudare folosite vor fi probate prin incercarea de tractiune-forfecare la care vor fi supuse probele sudate si rezultatul dat de aceasta incercare prin rezistenta punctului sudat reprezentata de forta maxima de forfecare respectiv locul ruperii si caracterul acesteia.

5. INVESTIGAȚII EXPERIMENTALE PE GRINZI COMPUSE DIN TABLĂ CUTATĂ PENTRU INIMĂ ȘI TĂLPI DIN PROFILE DE OȚEL FORMATE LA RECE, ÎMBINATE PRIN SUDURĂ ÎN PUNCTE

5.1 INTRODUCERE

Grinzile din oțel compuse, cu tablă cutată sinusoidal sau trapezoidal, reprezintă un sistem structural relativ nou dezvoltat în ultimele două decenii, în special în Germania și Austria. Un interes crescut pentru această soluție a fost observat pentru cadrele principale ale clădirilor cu un nivel și respectiv pentru podurile de oțel. Principalul avantaj al acestui tip de element este efectul cunei în probleme de stabilitate, acesta conducând la creșterea rezistenței la flambaj, cu un consum de material mult mai redus. Utilizarea materialelor mai subțiri conduce la scăderea costurilor materialelor, economisind 10-30% față de grinzile sudate convenționale și peste 30% în comparație cu cele laminate la cald. Efectul grosimii unei foi de oțel ondulate sinusoidale utilizate ca inimă este comparabil cu efectul unei foi de tablă groasă de 12 mm sau chiar mai mult. În soluțiile dezvoltate până acum, tălpile sunt realizate din table plate, sudate pe table cutată sinusoidal, implicând o tehnologie specifică de sudare. Pentru aceste elemente, tălpile asigură rezistența principală la încovoiere, cu o mică contribuție a tablei sinusoidale care oferă rezistență la forfecare. Proiectarea grinzilor ondulate este inclusă în anexa D la EN 1993-1-5 [1], împreună cu aspectele specifice cuprinse în EN 1993-1-1 [2] și EN 1993-1-3 [3]

O nouă soluție tehnologică a unei astfel de grinzi compuse, constând din tablă cutată pentru inimă și secțiuni C cu pereți subțiri, cu rebord, formate larece pentru tălpi paralele, a fost dezvoltată în cadrul Centrului de Cercetare CEMSIG (<http://www.ct.upt.ro/cemsig>) al Universității Politehnica din Timișoara [4,5], în care îmbinările dintre tălpi și inimă au fost realizate prin șuruburi autoforante. Este important de subliniat faptul că noua soluție este compusă 100% din componente de oțel formate la rece, evitând combinarea a două tipuri de produse, și anume elementele formate la rece pentru inimă și elemente laminate la cald pentru tălpi. Soluția tehnică prezentată mai sus a fost extinsă și pentru grinzile din oțel trapezoidale [6]. În ultimul caz, s-au efectuat teste experimentale pe două grinzi cu o deschidere de 12 m, cu diferite configurații pentru îmbinările dintre tălpi și inimă.

O prezentare detaliată privind grinzile compuse folosind elementele de oțel formate la rece a fost realizată în [4,5].

Un aspect foarte important legat de elementele sau structurile de oțel formate la rece este soluția de îmbinare.

Pentru a îndeplini standardele înalte ale industriei auto, noi procese de sudare au fost dezvoltate, împingând în continuare limitele fizice și mecanice ale tehnologiei de sudare. Fronius este lider de piață în domeniul sistemelor de sudura robotizate, cu o experiență de peste 50 de ani în industria de aprovizionare cu autovehicule și componente. Aceste tehnologii, datorită avantajelor lor, au început, de asemenea, să fie utilizate în domeniul structurilor de oțel. Printre aceste tehnologii se remarcă: (1) Sudarea CMT care garantează cel mai stabil arc electric și un control precis al procesului, permitând sudarea fără stropiri, posibil de aplicat la grosimi de material de minim 0,6 mm; (2) Sudarea hibridă cu laser, combinând avantajele unui proces MIG / MAG complet digital cu cele ale sudării cu laser într-un singur proces, dar fără dezavantajele acestora. Aceasta permite îmbinarea automată a diferitelor piese de oțel cu o viteză de până la 8 metri pe minut, cu o îmbinare de înaltă calitate; (3) Sudarea în puncte, tehnică pentru îmbinarea a două sau mai multe table, prin efectul Joule-Lenz, fără material de adaos. În zona de sudare, prin utilizarea a doi electrozi din aliaj de cupru, se aplică o forță de compresiune și se transmite un curent electric, care încălzește local piesele, prin efectul Joule-Lenz, într-un

timp foarte scurt. Astfel, materialul dintre electrozi de la interfața zonei de contact dintre foi, este topit sub forma unui nucleu, iar după ce curentul de sudură s-a oprit, materialele se solidifică și rezultă îmbinarea, creând un punct de sudură.

Briskham et al. [7] a efectuat un studiu comparativ cu privire la electronituire, sudarea în puncte și sudarea prin frecare FSW, identificând sudura în puncte drept opțiunea cea mai favorabilă.

Guenfoud et al. [8] a testat specimene sudate din două sau patru straturi de foi de oțel subțiri, utilizând rezistența la forfecare și rezistența la întindere a sudurilor cu arc multistrat.

Snow [9] a realizat cercetări pentru a stabili o relație între rezistența la forfecare a sudurii în puncte cu arc electric și timpul de sudare folosit în timpul formării sudurii. Testarea a fost efectuată pe plăci de oțel de 0,85 mm, 1 mm, 1,3 mm și 1,6 mm. Fiecare calibru de material a fost testat în configurații cu un singur, două și patru straturi. Cercetările au demonstrat că timpul de arc are o influență extraordinară asupra rezistenței la forfecare a sudurii în puncte.

Încercări de rezistență au fost efectuate de către Chao [10] pentru a descoperi mecanismele de cedare ale sudurii în puncte pe specimene supuse la forfecare și tensiune transversală. Pe baza mecanismului de cedare observat, s-a presupus distribuția de efort unitar, dezvoltându-se un model teoretic pentru solicitări mixte normale / transversale.

În [11] s-au folosit modelare cu elemente finite și mecanica ruperii pentru a prezice modul de cedare a sudurii în puncte și capacitatea îmbinărilor realizate din oțeluri de înaltă rezistență. Rezultatele lucrării au confirmat existența a două moduri diferite de cedare, și anume debutonarea completă și ruperea la interfață. Studiul indică faptul că capacitatea portantă a sudurilor nu este afectată de modul de rupere. Prin urmare, modul de cedare nu ar trebui să fie singurul criteriu utilizat pentru a evalua calitatea sudurilor în puncte. Capacitatea portantă a sudurii ar trebui să fie concentrată în evaluarea rezultatelor testului de forfecare-tensiune.

Miyazaki și Furusako [12] au cercetat dependența poziției de cedare și a încărcării maxime a îmbinărilor sudate cu laser prin teste de forfecare - tracțiune a îmbinărilor și a fost elaborat un model de predicție mecanică pentru rezultatele testelor.

Progresele în ceea ce privește tehnicile de sudare cu arc sunt descrise de Kodama et al. [13], axându-se pe elemente din industria automotive. Rezistența statică și rezistența la oboseală a îmbinărilor sudate sunt îmbunătățite pentru oțelurile de înaltă rezistență prin sudarea cu arc aplicată pe CMT.

În [14] s-au investigat plăci din oțel cu conținut scăzut de carbon, îmbinate cu sudură prin frecare (FSSW) cu elemente suprapuse. S-a constatat că adâncimea de penetrare are un efect puternic asupra modului de cedare al specimenelor îmbinate și un efect slab asupra rezistenței la forfecare a îmbinării. Cu o adâncime mai mare a penetrării dispozitivului și cu o adâncime mai mare a umărului dispozitivului apăsat în proba superioară, modul de cedare într-un test de forfecare-tracțiune se schimbă de la fragil la ductil și s-a concentrat în apropierea orificiului amplasat departe de sudură spre materialul de bază.

Cercetări experimentale ample au fost efectuate și asupra îmbinărilor sudate cu laser, bazate atât pe îmbinări suprapuse supuse la tracțiune, efectuate de Landolfo et al. [15].

Rusinski et al. [16] prezintă o selecție de probleme care au rezultat în urma testelor de compresiune axială ale barelor cu pereți subțiri, îmbinate prin sudură în puncte. Au fost studiate efectul mărimii diametrului sudurii și al pasului sudurii asupra cantității de energie absorbită. S-a construit un model discret și s-au efectuat calcule de rezistență cu ajutorul elementelor finite pentru grinzilor cu pereți subțiri, ținând cont de neliniaritățile fizice și geometrice.

Pentru sudura în puncte, pentru a adopta o tehnologie adecvată, este imperios necesar să existe un echipament care să controleze parametrii sudurii: forța, timpul, curentul, în timp ce utilizatorul trebuie să acorde atenție diametrului vârfului electrodului, deoarece grosimea plăcilor sudate variază și aceste 4 variabile influențează calitatea sudurii [17].

Studiul realizat de Pouranvari et al. [18] a condus la un model analitic pentru a prezice modul de cedare al sudurii în puncte. Cu toate acestea, caracteristicile metalurgice ale sudurilor ar trebui luate în considerare pentru a prezice și analiza mai precis modul de cedare a sudurii.

Investigațiile privind materiale diferite de tablele de oțel, cum ar fi oțelurile inoxidabile, care sunt îmbinate prin sudură în puncte, sunt de asemenea analizate în [19,20].

Prezentul studiu prezintă rezultatele programului experimental efectuat pe specimene mici, teste de forfecare-tracțiune pe specimene suprapuse îmbinate prin sudură în puncte, precum și pe grinzi la scară reală, compuse din tablă cutată pentru inimă și profile de oțel formate la rece ca tălpi, îmbinate prin sudură în puncte.

5.2 DE LA TESTE DE TRACȚIUNE LA ÎNCERCARI LA SCARĂ REALĂ

În cadrul Centrului de Cercetare CEMSIG se desfășoară în prezent proiectul de cercetare WELLFORMED, finanțat de Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării și Inovării (UEFISCDI), care propune o nouă soluție de îmbinare, și anume sudura în puncte, pentru a fi utilizată la grinzi compuse din elemente de oțel formate la rece, având secțiunea transversală realizată cu inimă din tablă cutată și tălpi din bare de oțel cu pereți subțiri format la rece.

Proiectul de cercetare implică un amplu program experimental privind teste de întindere-forfecare pe specimene din table suprapuse îmbinate cu sudură în puncte, considerând diferite combinații de foi de oțel cu diferite grosimi și teste pe grinzi la scară reală, pentru a demonstra fezabilitatea soluțiilor propuse, pentru a evalua performanța acestora și pentru a extinde cunoștințele prin simulări numerice pentru optimizarea soluției actuale și să definească limitele aplicabilității soluției prin studii parametrice.

Această soluție nouă poate fi utilizată pentru cadre de susținere de oțel în construcția clădirilor: ca grinzi pentru acoperișuri, portale și cadre cu mai multe etaje, poduri scurte pentru pietoni. De asemenea, poate fi o alternativă sigură la pane sau grinzi secundare, unde acestea trebuie să acopere deschideri mari. Se așteaptă ca această soluție să acopere lungimi de până la 24 m.

Soluția nouă propusă se bazează pe un program experimental dezvoltat anterior în cadrul Centrului de Cercetare CEMSIG, în care au fost testate cinci grinzi cu inimă din tablă cutată și tălpi din profile din oțel format la rece, având o deschidere de 5157 mm și o înălțimea de 600 mm, cu aranjamente / configurații diferite pentru poziția șuruburilor autoforante și pentru panourile de forfecare suplimentare, așa cum se arată în [4,5].

Așa cum este prezentat în secțiunea anterioară, sudura în puncte este o tehnică fezabilă pentru îmbinarea a două sau mai multe table, fără material suplimentar. Sudura este creată de doi electrozi din aliaj de cupru, care transmit o forță de compresiune și un curent electric. Prin căldura dezvoltată la interfața zonei de contact dintre foi, materialul este topit și după ce curentul de sudură s-a oprit, materialele se solidifică, creând un punct sudat.

Pentru a investiga pe deplin răspunsul grinzilor compuse la scară reală, îmbinate prin sudură în puncte, testele experimentale au cuprins: a) testele de întindere-forfecare pe probe cu diferite combinații de grosimi de tablă îmbinate prin suprapunere, b) încercări de întindere pe materialul de bază și c) teste pe grinzi la scară reală solicitate la încovoiere.

5.2.1 Încercări de tracțiune - forfecare pe epruvete îmbinate prin suprapunere, sudate cu puncte de sudură

Pentru a înțelege comportamentul grinzilor construite din grinzi cu inimă cutată și profile de oțel formate la rece ca tălpi, îmbinate prin sudură în puncte și pentru caracterizarea comportamentului tuturor tipurilor de îmbinări, au fost efectuate teste de tracțiune-forfecare pe specimene din table suprapuse, sudate în puncte.

Combi-națiile dintre grosimea diferitelor table, testate experimental, sunt prezentate în tabelul 1. Notațiile t_1 și t_2 reprezintă grosimea plăcilor de oțel îmbinate și d_s este diametrul punctului de sudură (vezi Tabelul 1). Diametrul punctului de sudură, d_s , a fost determinat în conformitate cu EN 1993-1-3 [3] pentru cazul sudurii de rezistență, adică $d_s = 5\sqrt{t}$, unde t este cea mai mică grosime a tablelor de oțel conectate. Au fost testate un număr total de 140 de specimene. Dimensiunile specimenelor, reprezentate generic în Figura 1, au fost alese în conformitate cu specificațiile date în capitolul 8.4 din EN 1993-1-3 [3]. În conformitate cu EN 1993-1-3 [3], toate eșantioanele au fost îmbinate folosind un singur punct de sudură. Eșantioanele au fost realizate utilizând echipamentul Inverspotter 14000 Smart Aqua de la firma Telwin, capabil să controleze variabilele unei mașini de sudură ca: curentul de sudură, timpul de sudare și forța între electrozii în modul Smart Auto.

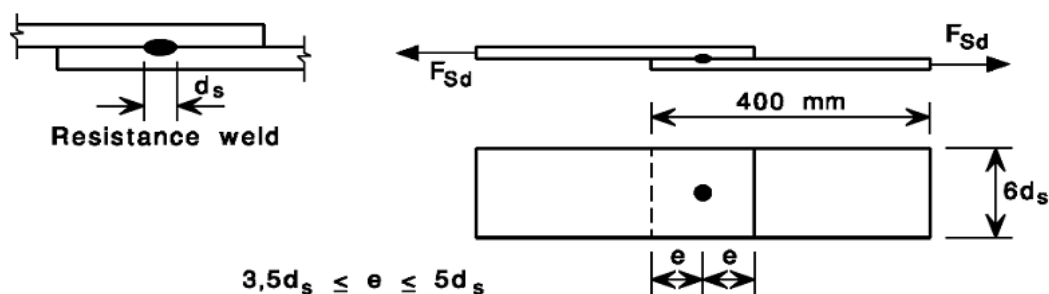


Figura 1: Dimensiunile epruvetelor conform EN 1993-1-3 [3].

Tabelul 1: Epruvete cu sudura în puncte (un punct de sudură pe epruvetă).

Nume	t_1 [mm]	t_2 [mm]	d_s [mm]	Nr. de teste
SW-0.8-0.8	0.80	0.80	4.5	7
SW-0.8-1.0	0.80	1.00	4.5	7
SW-0.8-1.2	0.80	1.20	4.5	7
SW-0.8-1.5	0.80	1.50	4.5	7
SW-0.8-2.0	0.80	2.00	4.5	7
SW-0.8-2.5	0.80	2.50	4.5	7
SW-1.0-1.0	1.00	1.00	5.0	7
SW-1.0-1.2	1.00	1.20	5.0	7
SW-1.0-1.5	1.00	1.50	5.0	7
SW-1.0-2.0	1.00	2.00	5.0	7
SW-1.0-2.0	1.00	2.50	5.0	7
SW-1.2-1.2	1.20	1.20	5.5	7
SW-1.2-1.5	1.20	1.50	5.5	7
SW-1.2-2.0	1.20	2.00	5.5	7
SW-1.2-2.5	1.20	2.50	5.5	7
SW-1.5-1.5	1.50	1.50	6.1	7
SW-1.5-2.0	1.50	2.00	6.1	7
SW-1.5-2.5	1.50	2.50	6.1	7
SW-2.0-2.0	2.00	2.00	7.1	7
SW-2.0-2.5	2.00	2.50	7.1	7

Trebuie menționat faptul că un program experimental similar, dar axat doar pe grosimi de 0,7 și 0,8 mm, a fost realizat de Benzar et al. [21] la Centrul de Cercetare CEMSIG. Combinațiile de grosime de foi de mai sus au vizat numai legarea tablelor cutate de oțel ale inimii, pentru a asigura continuitatea acesteia.

Testele experimentale au fost efectuate cu ajutorul mașinii de încercări universală UTS. Distanța dintre palpatorii extensometrului a fost de 80 mm. Figura 2 prezintă un eșantion testat, cu un singur punct de sudură a setului SW-1.2-1.5, care dezvoltă o debutonare completă.

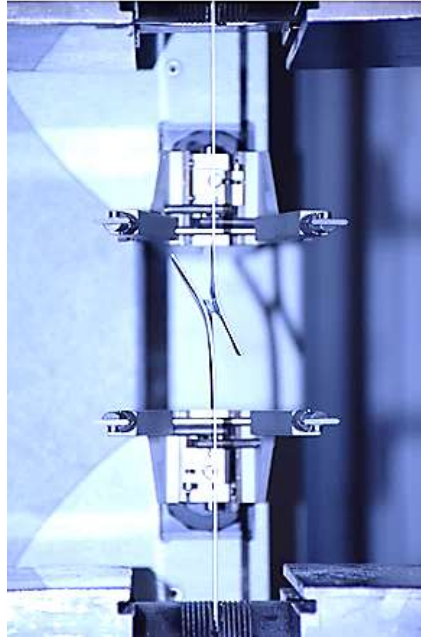


Figure 2: Cedarea prin debutonare totala.

Un alt aspect important al studiului a fost regimul de sudare. Echipamentul de sudare are setările implicite din fabrică pentru diferite combinații de grosime, așa-numita setare "SMART AUTO", dar permite, de asemenea, utilizarea programelor definite de utilizator. Tabelul 2 prezintă, ca exemplu, parametrii analizați pentru setul de specimen SW-1.2-1.5.

Tabelul 2: Regimuri de sudare pentru grupul SW-1.2-1.5.

	Nume	I_s [A]	Putere [%]	F [daN]	Presiunea aerului [bar]	t_s [ms]
REG 1	SW-1.2-1.5-1	10366	70	365	6	380
REG 2	SW-1.2-1.5-2	10336	70	365	-	380
REG 3	SW-1.2-1.5-3	11088	75	483	6.8	600
REG 4	SW-1.2-1.5-4	11088	75	472	6.6	600
REG 5	SW-1.2-1.5-5	11055	-	457	6.4	600
REG 6	SW-1.2-1.5-6	11775	80	449	6.2	600

Au fost luați în considerare următorii parametri: curentul de sudare (A), forța dintre electrozi F (daN), presiunea aerului (bar) și timpul de sudare, t_s (ms), pentru electrozi cu diametrul de 13 mm și raza vârfului de 32 mm.

Figura 3 prezintă setul celor șase probe SW-1.2-1.5 cu parametrii arătați în Tabelul 2, înainte și după testare. Se poate observa că, în toate cazurile, modul de defectare a fost debutonarea completă.



Figura 3: Epruvete SW-1.2-1.5 înainte și după încercare, utilizând diferite regimuri de sudare.

Figura 4 prezintă comparația curbelor de deplasare a forței pentru setul de probe prezentat mai sus, folosind diferite regimuri de sudare. Se poate observa că specițiile au o capacitate precum și o ductilitate, forța maximă înregistrată depășind 12 kN.

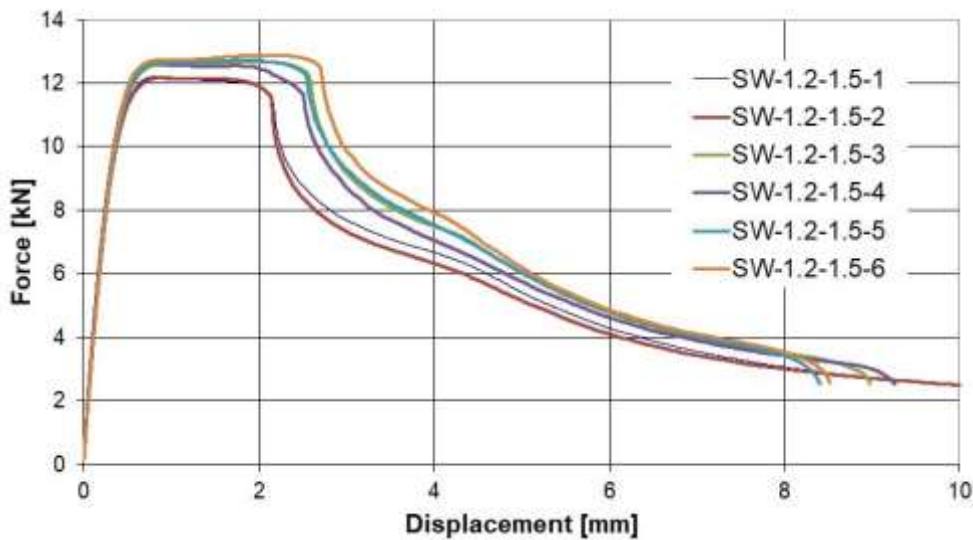


Figura 4: Curbe forța deplasare pentru epruvete SW-1.2-1.5.

Efectuând testele pe toate probele prezentate în tabelul 1, concluzia generală care se poate trage este că atât capacitatea cât și ductilitatea specițiilor testate sunt foarte bune. Mai mult decât atât, în comparație cu aceleași speciții testate cu șuruburi autoforante [4,5], capacitatea eșantioanelor testate este dublă, dar ductilitatea este scăzută.

Testele au scos la iveală două moduri de cedare, adică smulgerea completă a butonului (debutonare) și ruperea interfacială (vezi Figura 5). Pentru combinațiile de grosimi investigate, cele mai multe dintre ele au cedat prin smulgerea completă a butonului, după cum se arată în Tabelul 3.

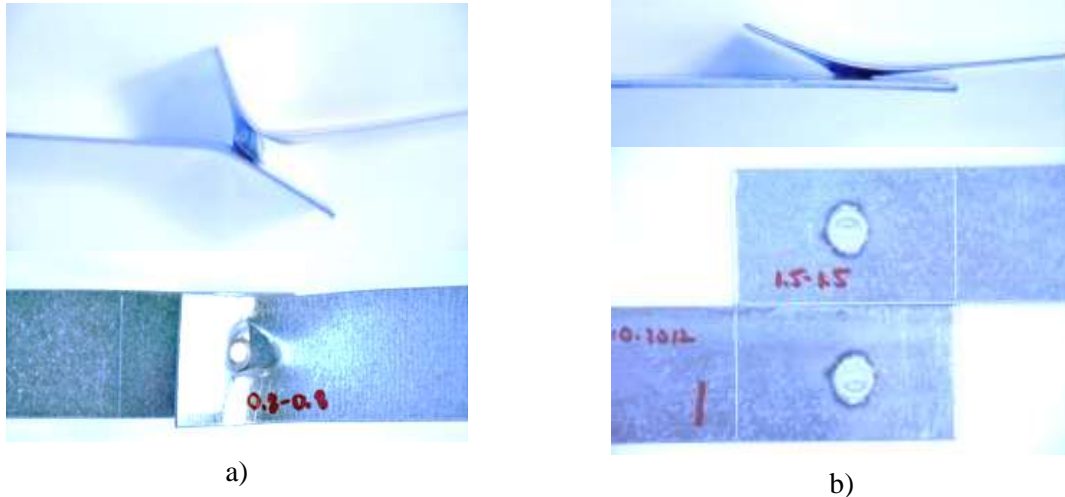


Figura 5: Moduri de cedare pentru sudură în puncte: a) debutonare, b) forfecarea punctului de sudură.

Tabelul 3: Dimesniuni măsurate și moduri de cedare pentru epruvete SW (pentru dimensiuni, vezi Figura 1).

Epruvete	$\min(t)$ (mm)	d_s , măsurat (mm)	$b = 6 d_s$ (mm)	e (mm)	Mod de cedare
SW-0.8-0.8	0.80	5.10	27.02	19.92	Debutonare
SW-0.8-1.0	0.81	5.10	27.30	20.60	Debutonare
SW-0.8-1.2	0.80	5.30	27.76	20.64	Debutonare
SW-0.8-1.5	0.80	5.50	27.47	20.45	Debutonare
SW-0.8-2.0	0.80	5.50	27.74	21.41	Debutonare
SW-0.8-2.5	0.79	6.00	27.57	21.38	Debutonare
SW-1.0-1.0	0.99	5.40	30.48	25.15	Debutonare
SW-1.0-1.2	1.00	5.40	30.48	27.54	Debutonare
SW-1.0-1.5	1.01	5.50	30.69	25.42	Debutonare
SW-1.0-2.0	1.01	6.00	30.85	26.31	Debutonare
SW-1.0-2.5	1.01	6.20	30.60	27.73	Debutonare
SW-1.2-1.2	1.19	5.60	33.13	24.70	Debutonare
SW-1.2-1.5	1.21	5.80	33.07	26.00	Debutonare
SW-1.2-2.0	1.21	6.00	33.46	27.55	Debutonare
SW-1.2-2.5	1.20	6.40	33.33	27.23	Debutonare
SW-1.5-1.5	1.53	6.50	37.24	29.75	Forfecare
SW-1.5-2.0	1.54	7.00	37.32	31.00	Debutonare
SW-1.5-2.5	1.52	7.50	37.48	31.57	Debutonare
SW-2.0-2.0	1.99	7.50	42.15	36.28	Forfecare
SW-2.0-2.5	1.97	7.80	42.61	35.99	Forfecare

La smulgerea completă a butonului, ruperea are loc în metalul de bază sau în perimetrul sudurii. În acest mod de cedare, materialul este rupt complet pentru una dintre table, sudura rămânând intactă. Acesta este cel mai frecvent mod de defecțiune pentru eșantioanele testate.

Un alt tip de mod de cedare este ruperea interfețe în care sudura cedează la interfața celor două table, lăsând jumătate din punctul de sudură într-o tablă și jumătate în cealaltă.

Ca o concluzie, în cazul smulgerii complete a butonului, presiunea din materialul de bază din exteriorul punctului de sudură este mai mare decât tensiunea dezvoltată la interfața de sudură, iar opusul este valabil în cazul unei cedări interfaciale. În plus, din rezultatele experimentale, se observă că capacitatea portantă a sudurii nu este afectată de modul de rupere.

Rezultatele cantitative, în ceea ce privește forța și deplasările, sunt prezentate în Figura 6.

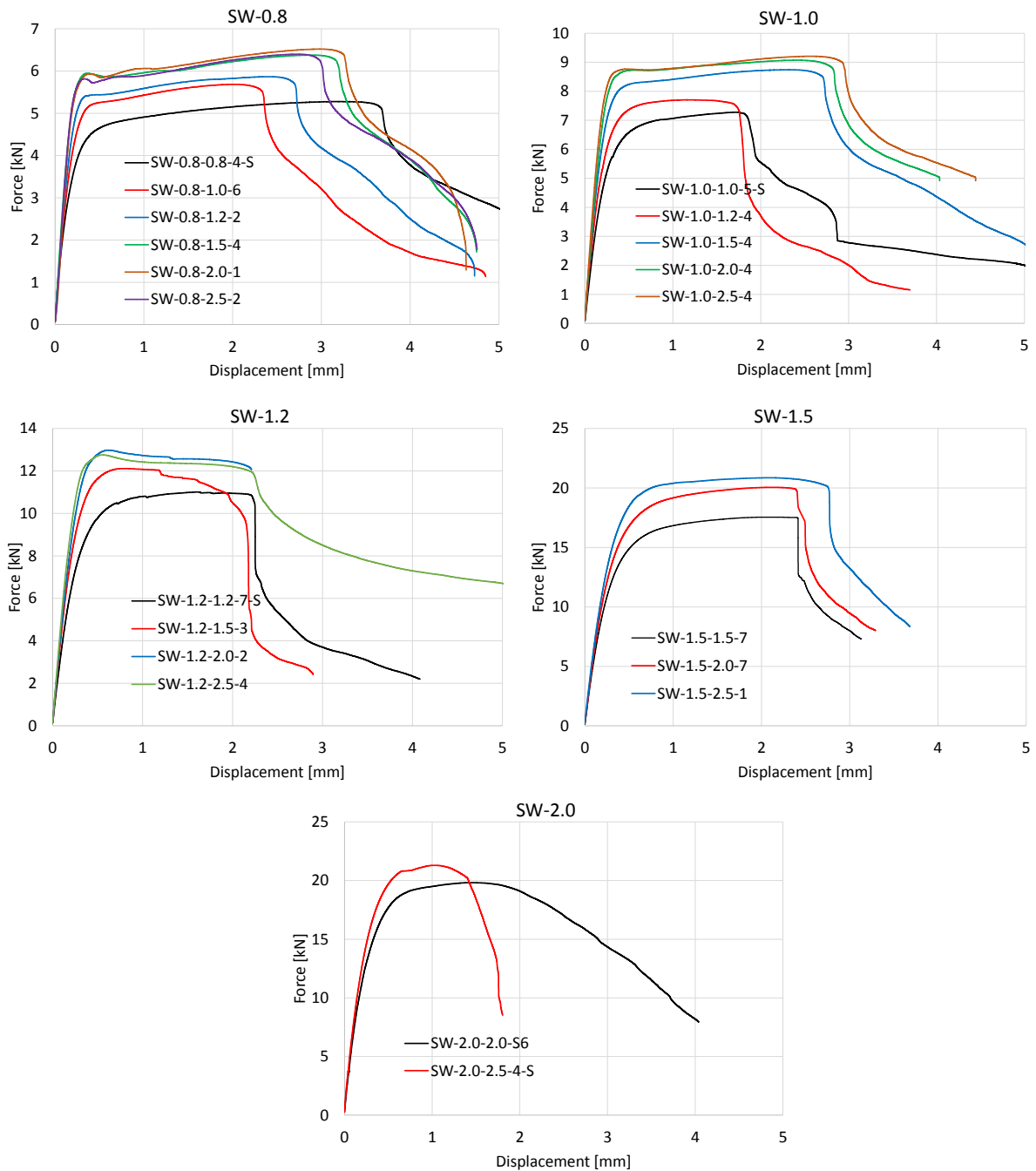


Figura 6: Răspunsul epruvetelor îmbinate prin suprapunere SW.

Se poate observa că, pentru fiecare combinație, forța maximă nu este limitată de grosimea minimă, deoarece forța crește atunci când o grosime mai mică este legată la o foaie mai groasă, dar există o limită superioară a capacității portante a conexiunii sudate care este echivalentul unei forțe plastice a grosimii mai mică.

5.2.2 Teste de tracțiune

Pentru testele de tracțiune cu lățimea nominală de 20 mm s-au pregătit probe pentru toate grosimile plăcilor care au fost considerate în grinzile compuse, și anume 0,8 mm, 1,0 mm, 1,2 mm, 1,5 mm, 2,0 mm și 2,5 mm. Au fost luate în considerare 5 exemplare pentru fiecare grosime.

Caracteristicile mecanice ale materialului de bază au fost obținute în conformitate cu standardul internațional ISO 6892-1, Materiale metalice. Încercarea la tracțiune. Partea 1: Metodă de încercare la temperatura ambiantă [25]. Testele experimentale au fost efectuate cu ajutorul mașinii de testat universală UTS. Figura 7 prezintă un specimen de fiecare grosime înainte și după testare.

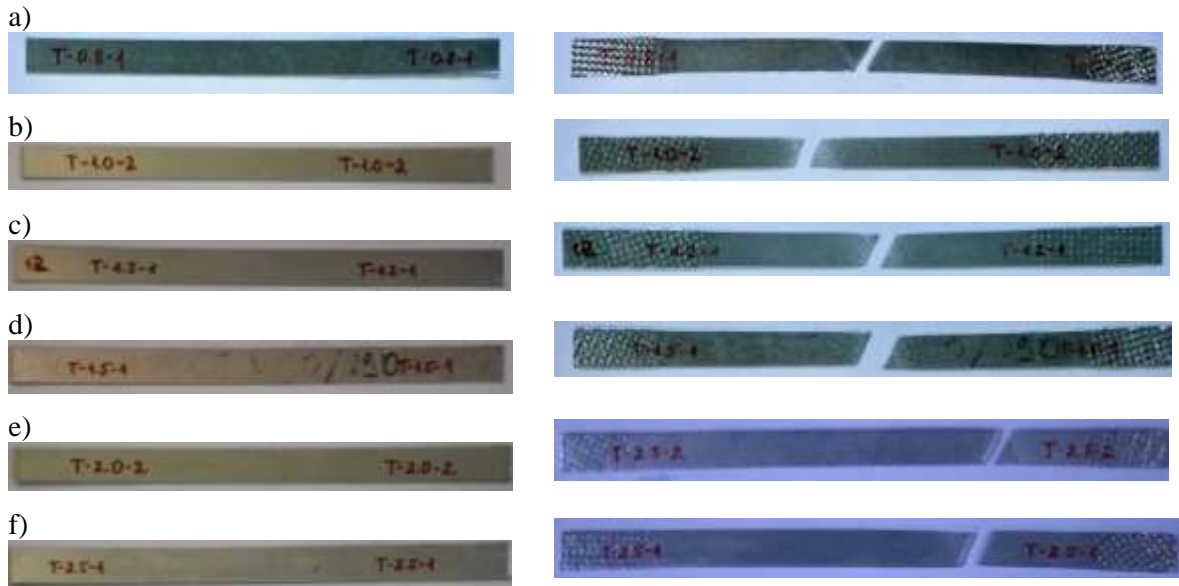


Figura 7: Epruvete pentru tracțiune– înainte și după testare
a) $t = 0.8$ mm, b) $t = 1.0$ mm, c) $t = 1.2$ mm, d) $t = 1.5$ mm, e) $t = 2.0$ mm, f) $t = 2.5$ mm.

Testele de tracțiune au evidențiat relațiile de efort unitar - deformație specifică pentru fiecare grosime. Eșantioanele pentru 1,2, 1,5 și 2,0 mm au arătat un platou clasic cedare, așa cum se arată în Figura 8 (a), în timp ce probele pentru 0,8, 1,0 și 2,5 mm au un platou redus, așa cum este prezentat în Figura 8 (b).

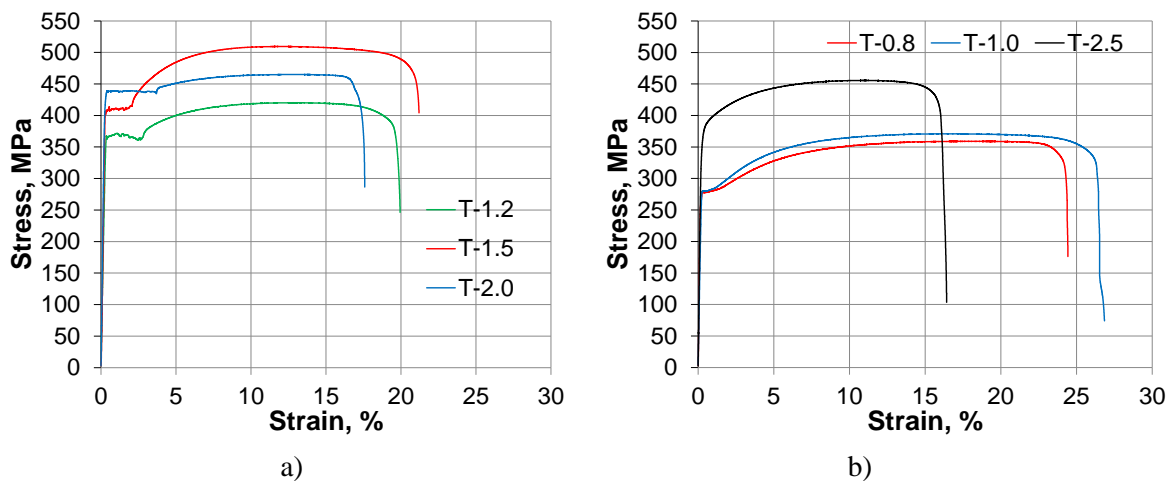


Figura 8: Curbe efort unitar + deformație specifică.

Curbele prezentate în Figura 8 reprezintă o selecție din teste, în timp ce valorile medii ale testelor pentru fiecare grosime sunt date în Tabelul 4.

Tabelul 4: Proprietățile materialului.

t (mm)	$R_{p0.2}$ (MPa)	R_{eH} (MPa)	R_m (MPa)	A_g %	A_{gt} %	A_t %
0.8	279.64	282.67	361.76	18.23	18.41	26.60
1.0	281.33	-	373.50	16.40	16.70	26.14
1.2	366.82	367.81	420.68	12.77	13.15	19.83
1.5	407.70	409.00	497.12	12.80	13.06	20.38
2.0	431.78	430.43	464.46	11.55	11.79	19.70
2.5	374.68	-	452.98	11.16	11.40	16.76

unde:

$R_{p0.2}$ efortul unitar la 0.2% deformație specifică

R_{eH} valoarea maximă a efortului unitar înainte de prima descreștere a forței

R_m efortul unitar corespunzător forței maxime

A_g alungirea plastică la forță maximă

A_{gt} alungirea totală la forță maximă

A_t alungirea totală la rupere

5.2.3 Încercări pe grinzi la scară reală

Pentru testele la scară reală, au fost construite două grinzi, denumite CWB SW-1 și CWB SW-2, având o deschidere de 5157 mm și o înălțime de 600 mm. Procesul de fabricație constă din 4 etape: a) îmbinarea tablelor cutate de oțel pentru inimă, b) prinderea panourilor de forfecare la capetele grinzii, c) prinderea tălpilor superioare și inferioare și d) prinderea tablelor de la capetele grinzii pentru îmbinarea rigidă de cadrul experimental, așa cum este prezentat în figura 9. Prima etapă este necesară numai dacă tabla cutată nu este disponibilă într-o singură bucată. Pentru cazul actual, plăcile din oțel ondulat au o lungime maximă de 1,05 m.



a)



b)



c)



d)

Figura 9: Etapele realizării grinzii compuse.

Componentele grinzilor construite sunt prezentate în Figura 10 și detaliate mai jos:

- două secțiuni C cu șuruburi pentru tălpi - $2 \times C120 / 2.0$;
- table cutate de oțel (panouri de 1.05 m lungime cu grosimi de 0.8 mm și 1.2 mm);
- panouri de forfecare suplimentare - table plate de 1,0 sau 1,2 mm;
- profile de întărire U150 / 2.0 utilizate în punctele de aplicare a încărcării;
- șuruburi M12 grupa 8.8 pentru prinderea ansamblului de capăt.

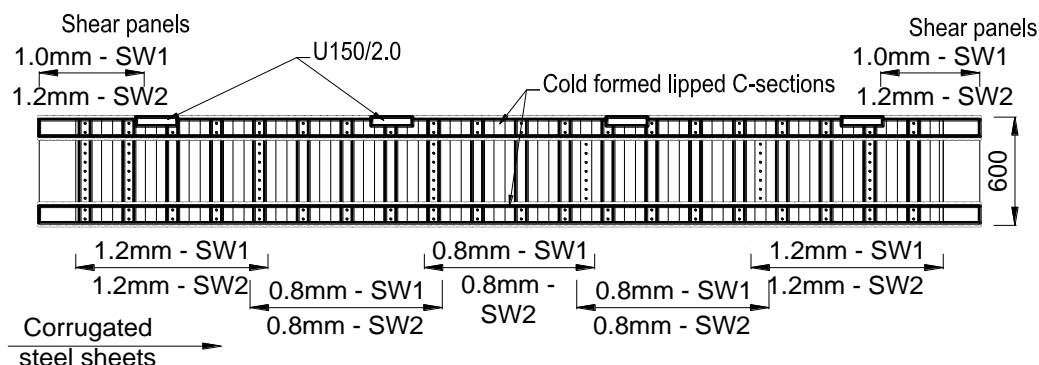


Figure 10: Componentele grinzii compuse.

Detaliile referitoare la îmbinările grinzii sunt: (1) sudarea în puncte pentru suprapunerea plăcilor cutate de oțel; (2) sudarea în puncte pentru îmbinarea dintre tablele cutate de oțel și panourile de forfecare; (3) sudarea în puncte între tălpi și tabla cutată (4) sudarea în puncte între panourile de forfecare și tălpi; (5) prinderea dintre plăcile de forfecare și suporturile de capăt, bolțurile M12 gr 8,8; și (6) prinderea dintre tălpi și suporturile de capăt, bolțuri M12 gr 8,8.

Cu excepția diferențelor dintre grosimea panourilor de forfecare a celor două grinzi, așa cum se arată în Figura 10 și Tabelul 5, un alt aspect de interes a fost legătura dintre tablele cutate ale inimii. Prin utilizarea aceleiași număr de suduri la fața locului, tablele cutate ale grinzii CWB SW-1 au fost sudate pe două rânduri (Figura 11 (a)), în timp ce foile ondulate ale grinzii CWB SW-2 au fost sudate pe un singur rând, Figura 11 (b).

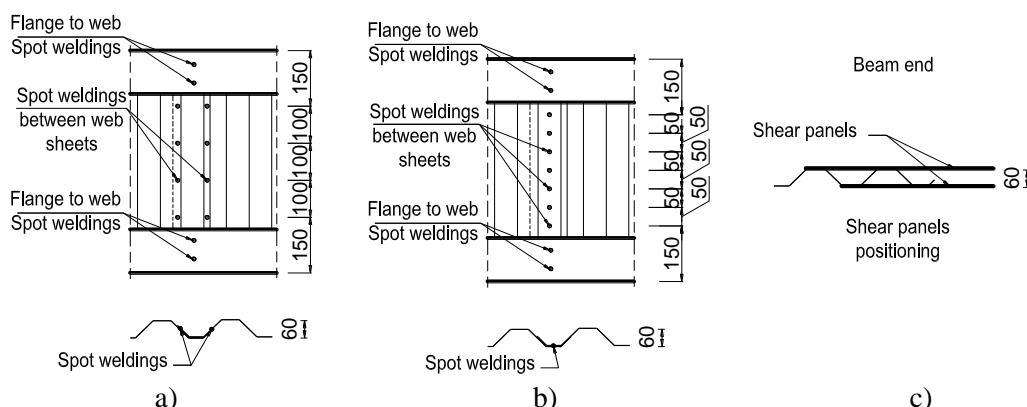


Figura 11: a) Îmbinări între tablele cutate ale grinzii CWB SW-1, b) Îmbinări între tablele cutate ale grinzii CWB SW-2, c) Poziția panourilor de forfecare.

Tabelul 5: Distribuția tablelor de oțel folosite pentru inima grinzii cu sudura în puncte.

Name	Thickness			Lungimea panourilor de forfecare*
	Table exterioare	Table interioare	Panouri de forfecare	
CWB SW-1	1.2 mm	0.8 mm	1.0 mm	470 mm; 570 mm
CWB SW-2	1.2 mm	0.8 mm	1.2 mm	510 mm; 630 mm

* lungimea panourilor de forfecare este diferită datorită poziției variabile a onduleului

În final, grinzile cu configurația și detaliile prezentate în Figura 12 (a), au fost încărcate într-un cadru de încărcare 2D, cu configurația de testare reprezentată în Figura 12 (b). Grinzile au fost încărcate de un actuator de 500 kN care a transmis forța asupra grinzii printr-un sistem capabil să distribuie sarcina în 4 puncte. Pentru a evita problemele de stabilitate în timpul încărcării, a fost folosit un cadru independent pentru preluarea deplasărilor în afara planului.

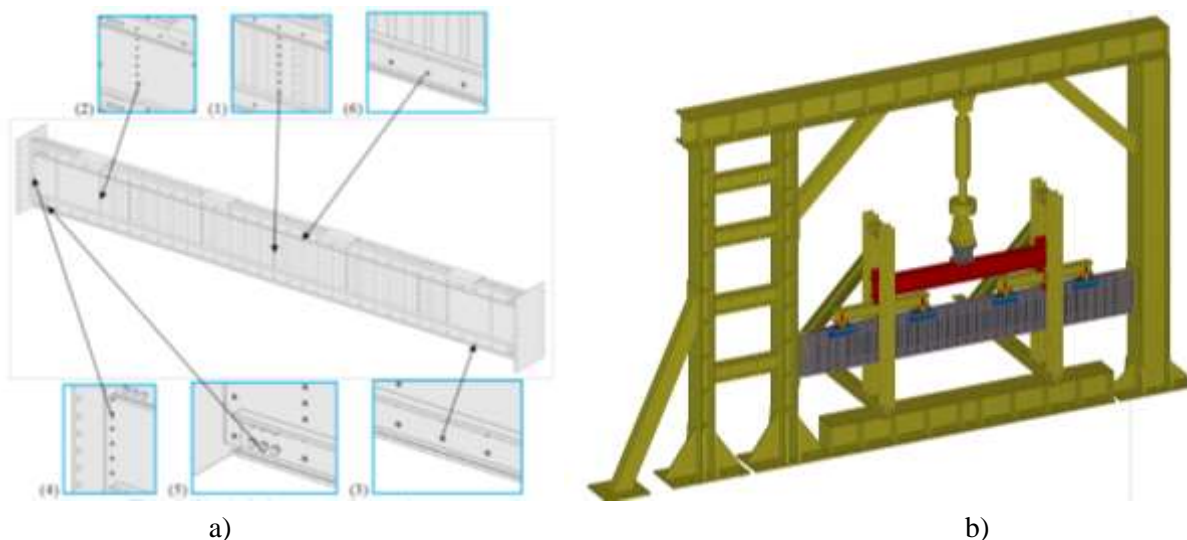


Figure 12: a) Tipul și poziția îmbinării folosite pentru grinzile cu sudură în puncte, b) Organizarea încercării.

Înregistrările de date au avut rolul de a monitoriza deplasările la fiecare capăt al tălpiilor superioare sau inferioare, între talpă și placa de capăt, precum și între placa de capăt și cadrul rigid, așa cum se arată în figura 13 (a). Deformația verticală a grinzii a fost monitorizată la fiecare sfert al deschiderii prin două traductoare de deplasare cu fir conectate la fiecare parte a tălpii inferioare (vezi Figura 13 (b)). Forța a fost înregistrată prin intermediul celulei de sarcină a pistonului.

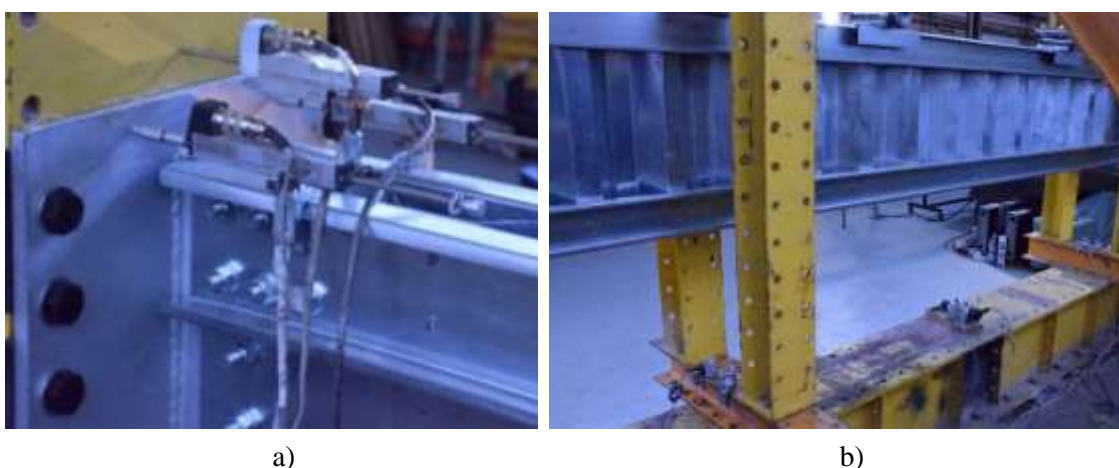


Figure 13: a) Flange ends instrumentation, b) Vertical deflection instrumentation.

Un sistem de monitorizare optică a fost utilizat pentru a evalua comportamentul panourilor de forfecare în timpul încărcării. Panourile de forfecare au fost monitorizate utilizând un sistem digital de corelare a imaginii (DIC) furnizat de isi-sys GmbH. Două camere de înaltă rezoluție

(29 megapixeli) GT6600 din seria Prosilica, cu obiective de 35 mm, au înregistrat imagini pentru evaluarea 3D a deplasărilor în afara planului și a deformației panoului de forfecare, la o frecvență de achiziție de 1 Hz.

Procesul de calibrare a generat o eroare medie de 0.038 pixeli. Pentru o prelucrare inițială au fost luate în considerare „facet size” (numărul de pixeli pe subset) și dimensiunea pasului (distanța dintre punctele analizate în timpul corelării) de 10×10 și, respectiv, 5.

Figura 14 prezintă evoluția în timpul încercării deformațiilor în afara planului (a, b, c) și a sușelor principale corespunzătoare (d, e, f) ale unui panou de forfecare dat.

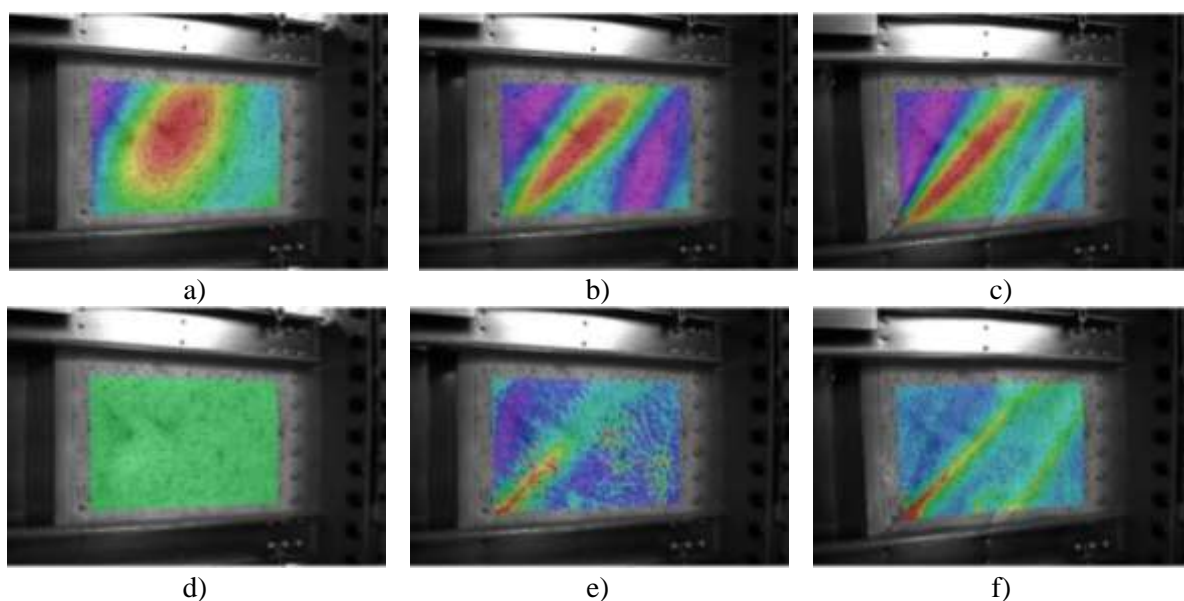


Figure 14: Evoluția deplasărilor în afara planului (a, b, c) și deformațiile specific principale (d, e, f) pentru unul din panourile de forfecare.

Deși deformațiile de la începutul încercărilor sunt nule, imaginile pentru deplasări în afara planului au înregistrat imperfecțiuni datorită procesului de fabricare în intervalul de -1,4 mm și 2,0 mm. De asemenea, dezvoltarea deformațiilor maxime s-au dezvoltat după două direcții înclinare, ce unesc fixarea în punctele de sudură ale părții inferioare a grinzii și prinderea cu șuruburi pe ansamblul de capăt, observate pe suprafața panoului de forfecare pentru cazul respectiv.

5.3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

În cele ce urmează, sunt prezentate și discutate observațiile din timpul experimentelor.

Pentru prima grindă testată, CWB SW-1 (vezi figura 15), modul de cedare al acesteia a început cu flambajul panoului de forfecare (vezi figura 16), urmată de distorsiunile tablei cutate prezentate în figura 17 și, după atingerea forței maxime, ruperea unor puncte de sudură (vezi Figura 18). Comportamentul fasciculului CWB SW-1 a fost ductil, cu o rigiditate inițială de $K_{0-Exp} = 11352,6 \text{ N / mm}$ și sarcina maximă de $F_{max} = 283,8 \text{ kN}$. Colapsul apare pentru o deplasare de aproximativ 123 mm. Curba forță - deplasare înregistrată la mijlocul deschiderii este prezentată în Figura 23.



Figure 15: Grinda CWB-SW1 – deformația globală în timpul testării.

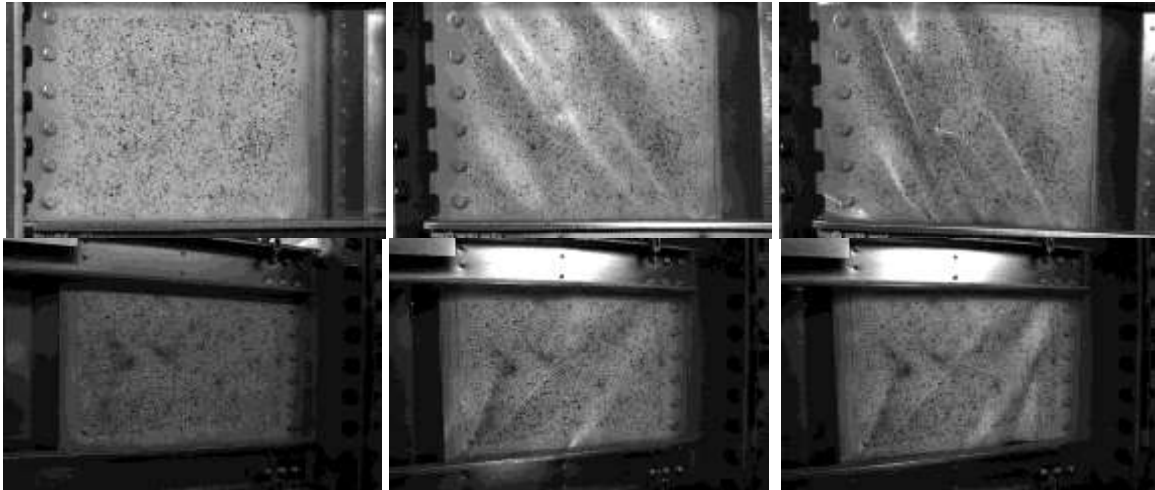


Figure 16: Dezvoltarea voalării in panourile de forfecare de la capetele grinzii CWB SW-1.

Figura 16 prezintă câteva detalii despre distorsiunea inimii. Datorită celor două puncte conectate între țesătură și flanșă (vezi Figura 11), sub tensiunile de forfecare, cutele au fost distorsionate între cele două tălpi față de axa dintre cele două puncte de sudură.



Figure 17. Distorsiunea cutelor inimii grinzii CWB SW-1.



Figure 18: Cedarea punctelor de sudură între inimă și talpă - CWB SW-1.

Cea de-a doua grindă, CWB SW-2 (a se vedea Figura 19) a prezentat un mecanism similar de cedare, începând cu voalarea panoului de forfecare (vezi Figura 20) la un capăt al grinzii, urmată de distorsiunile tablei cutate, așa cum este prezentată în Figura 21 și, după atingerea forței maxime, ruperea unor puncte de sudură (vezi Figura 22). Comportamentul a fost ductil, cu o rigiditate inițială de $K_{0-Exp} = 15846,5 \text{ N/mm}$ și capacitatea maximă de $F_{max} = 276,0 \text{ kN}$. Colapsul apare pentru o deplasare de aproximativ 69,5 mm. Curba forță - deplasare înregistrată la mijlocul deschiderii este prezentată în Figura 23.



Figura 19: Grinda CWB SW-2 – Deformarea globală în timpul testului.



Figura 20: Dezvoltarea voalării datorată forfecării, a panourilor de forfecare de la capetele grinzii CWB SW-2.



Figura 21: Distorsiunea cutelor inimii pentru grinda CWB SW-2.



Figura 22: Cedarea punctelor de sudură dintre inimă și talpă – grinda CWB SW-2.

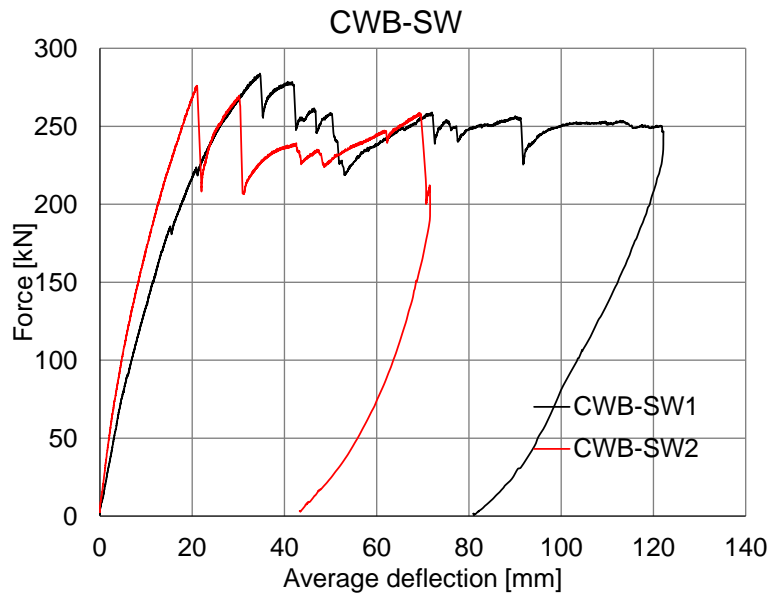


Figura 23: Curbe forță-deplasare pentru grinzile compuse realizate cu sudura în puncte.

În etapa finală a testelor, ambele grinzi au prezentat deformări locale sub punctele de aplicare a încărcării, așa cum este prezentat în Figura 24.



Figura 24: Deformații locale în punctele de aplicare a încărcării.

În comparație cu soluția studiată anterior, grinzile construite cu șuruburi autoforante [4,5], se poate observa că grinzile compuse cu ajutorul sudurii în puncte prezintă o rigiditate mai mare (vezi Tabelul 6), precum și o capacitate mai mare (vezi Figura 25).

Tabelul 6. Rezultate pentru grinzile cu inimă cutată: sudura în puncta vs. șuruburi.

Beam type	K_{0-Exp} (N/mm)	F_{max} (kN)
CWB SW-1	11352.6	283.8
CWB SW-2	15846.5	276.0
CWB-1 [4,5]	6862.2	219.0
CWB-2 [4,5]	7831.5	230.6
CWB-3 [4,5]	7184.9	211.9
CWB-4 [4,5]	3985.0	161.8
CWB-5 [4,5]	5516.2	215.5

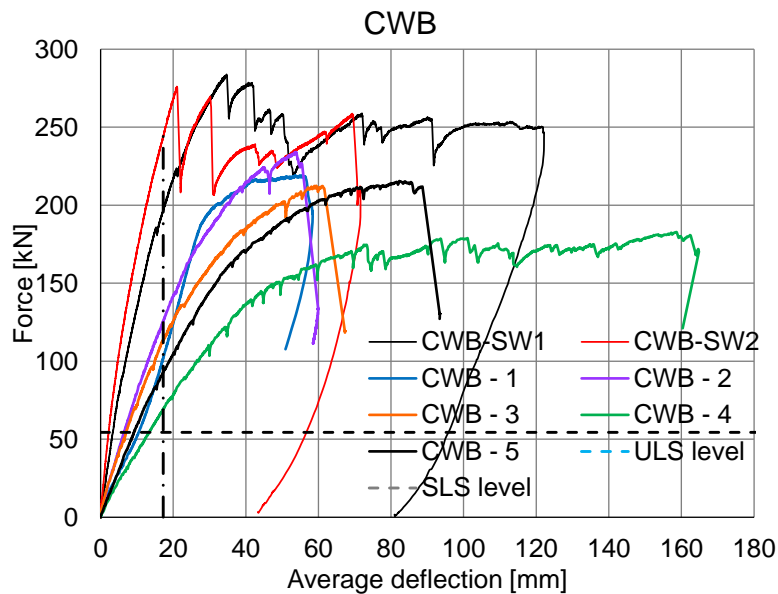


Figura 25: Curbe forță-deplasare pentru grinzile compuse: sudura în puncte vs. șuruburi.

5.4 CONCLUZII

În cadrul proiectului de cercetare WELLFORMED, desfășurat la Centrul de Cercetare CEMSIG al Universității Politehnica din Timișoara, a avut loc un program experimental extins privind grinzile de oțel compuse din bare formate la rece, folosind sudura în puncte ca tehnologie de îmbinare.

Capitolul prezintă rezultatele experimentale ale testelor de întindere-forfecare pe probe realizate din table suprapuse sudate cu puncte de sudură, pentru a caracteriza comportamentul acestor conexiuni și pentru testele pe scară largă ale celor două grinzi supuse la încovoiere. Experimentele au fost însoțite de teste de tracțiune, pentru a determina comportamentul materialului.

Cel mai obișnuit mod de cedare pentru testele de întindere-forfecare pe eșantioanele sudate în puncte a fost smulgerea completă a punctului de sudură. De asemenea, se poate observa că pentru fiecare combinație de grosimi, forța maximă nu este limitată de grosimea minimă; forța crește dacă o grosime mai mică este conectată la o grosime, dar există o limită superioară care este dată de forța plastică a unei grosimi mai mici. Atât capacitatea, cât și ductilitatea obținute pentru probele testate sunt foarte bune și, comparând cu specimene similare îmbinate cu ajutorul șuruburilor autoforante [4,5], capacitatea este dublă, dar ductilitatea este scăzută.

Rezultatele experimentale la scară reală au prezentat:

- atât capacitatea, cât și ductilitatea obținute pentru speciamele testate sunt foarte bune;

- în comparație cu soluția studiată în [4,5], ele prezintă o capacitate crescută, dar deformarea este mai mică decât deformarea grinzilor construite utilizând șuruburi autoforante.

Rezultatele sunt încurajatoare și demonstrează potențialul acestei soluții pentru standardizare și producție industrială. Cu toate acestea, cercetarea experimentală va fi urmată de simulări numerice, de optimizare a repartiției / aranjării conexiunilor de sudare în puncte, și de studii parametrice pentru a vedea dacă aceste grinzi sunt adecvate pentru deschideri mai mari și pentru limitele sistemului.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the grant no. 57PED/2017, WELLFORMED - *Fast welding cold-formed steel beams of corrugated sheet web*, Project type PN-III-P2-2.1-PED-2016, financed by the Executive Agency for Higher Education, Research, Development and Innovation Funding (UEFISCDI), Romania.

REFERENCES

- [1] EN 1993-1-5, *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-5: Plated structural elements*, CEN, Brussels, 2006.
- [2] EN 1993-1-1, *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*, CEN, Brussels, 2005.
- [3] EN 1993-1-3, *Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General Rules. Supplementary rules for cold-formed thin gauge members and sheeting*, CEN, Brussels, 2006.
- [4] Dubina D., Ungureanu V. and Gîlia L., “Experimental investigations of cold-formed steel beams of corrugated web and built-up section for flanges”, *Thin-Walled Structures* **90**, 159-170, 2015.
- [5] Dubina D., Ungureanu V. and Gîlia L., “Cold-formed steel beams with corrugated web and discrete web-to-flange fasteners”, *Steel Construction*, 6(2) (2013) 74-81.
- [6] Nagy Zs., Ungureanu V., Dubina D. and Ballok R., “Experimental investigations of cold-formed steel trapezoidal beams of screwed corrugated webs”, *Proc. of the International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures - SDSS'2016*, Timisoara, Romania, 30/05-01/06, 387-394, 2016.
- [7] Briskham P., Blundell N., Han L., Hewitt R., Young K. and Boomer D., “Comparison of self-pierce riveting, resistance spot welding and spot friction joining for aluminum automotive sheet”, *SAE 2006 Congress*, Technical paper, 2006-01-0774, 2006.
- [8] Guenfoud N., Tremblay R. and Rogers C.A., “Arc-Spot Welds for Multi-Overlap Roof Deck Panels”, *Twentieth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, St. Louis, Missouri, USA, 3-4/11, 535-549, 2010.
- [9] Snow G., “Strength of arc spot welds made in single and multiple steel sheets”, *MsC Thesis*, Blacksburg, Virginia, USA, 2008.
- [10] Chao Y.J., “Ultimate Strength and Failure Mechanism of Resistance Spot Weld Subjected to Tensile, Shear or Combined Tensile/Shear Loads”, *Journal of Engineering Materials and Technology*, **125**, 125-132, 2003.
- [11] Radakovic J. and Tumuluru M., “Predicting Resistance Spot Weld Failure Modes in Shear Tension Tests of Advanced High-Strength Automotive Steels”, *Welding Journal*, **87**, 96-105, 2008.
- [12] Miyazaki Y. and Furusako S., “Tensile Shear Strength of Laser Welded Lap Joints”, *Nippon Steel Technical Report*, No. 95, 28-34, 2007.
- [13] Kodama S., Ishida Y., Furusako S., Saito M., Miyazaki Y. and Nose T., “Arc Welding Technology for Automotive Steel Sheets”, *Nippon Steel Technical Report*, No. 103, 83-90, 2013.

- [14] Baek S.-W., Choi D.-H., Lee C.-Y., Ahn B.-W., Yeon Y.-M., Song K. and Jung S.-B., “Structure-Properties Relations in Friction Stir Spot Welded Low Carbon Steel Sheets for Light Weight Automobile Body”, *Materials Transactions*, **51**(2), 399-403, 2010.
- [15] Landolfo R., Mammanna O., Portioli F., DiLorenzo G. and Guerrieri M.R., “Laser welded built-up cold-formed steel beams: Experimental investigations”, *Thin-Walled Structures*, **46**(7-9), 781–91, 2008.
- [16] Rusinski E., Kopczynski A. and Czmochowksia J., “Tests of thin-walled beams joined by spot welding”, *Journal of Materials Processing Technology*, 157–158, 405–409, 2004.
- [17] Jeffus L.F., *Welding: Principles and Applications*. C Delmar Publishers, Technology & Engineering, 1992.
- [18] Pouranvari M., Marashi P., Goodarzi M. and Abedi A., “An analytical model predicting failure mode of resistance spot welds”, *Metal*, Hradec nad Moravicí, 13–15/5, 2008.
- [19] Pouranvari M., Marashi P., Goodarzi M. and Abedi A., “Failure Mode Transition in AISI 304 Resistance Spot Welds”, *Welding Journal*, **94**, 303-309, 2012.
- [20] Darwish S. M., Soliman M. S. and Al-Faheed A. M., “Characteristics and Variables of Spot Welding and Weldbonding Bimaterials”, *Materials and Manufacturing Processes*, **12** (2), 175-186, 1997.
- [21] Bazar S., Ungureanu V., Dubina D. and Burca M., “Built-up cold-formed steel beams with corrugated webs connected with spot welding”, *Advanced Materials Research*, **1111**, 157-162, 2015.
- [22] EN ISO 6892-1, *Metallic materials - tensile testing. Part 1: Method of test at room temperature*, CEN, Brussels, 2009.